

A CLIMATOLOGIA APLICADA AO AMBIENTE CONSTRUÍDO:
uma contribuição à caracterização climática
de Porto Alegre / RS

LILIAN LÜTZ UBER

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre
Dezembro de 1992

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Miguel Aloysio Sattler
Orientador



Prof. Ademar Gilberto Groehs
Coordenador do Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. Miguel Aloysio Sattler (Orientador)
Ph. D. pela Universidade de Sheffield

- Profa. Lúcia E. A. Raffo de Mascaró
Dra. pela FAU/USP

- Prof. Roberto Lamberts
Ph. D. pela Universidade de Leeds

AGRADECIMENTOS

Agradeço o privilégio de ter podido contar com:

- O auxílio financeiro dado pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, na forma de bolsa de estudo, durante o período de março de 1991 a agosto de 1992;
- A dedicada orientação do Prof. Miguel Aloysio Sattler, pautada por valiosas sugestões e incansáveis receptividade e bom humor;
- A simpatia e boa vontade das bibliotecárias da Escola de Engenharia, em especial na Seção de Periódicos;
- O desprendimento do Sr. Juraci Smidt, que gentilmente viabilizou o acesso aos Sumários Climatológicos de Porto Alegre, produzidos sob a responsabilidade do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento do Ministério da Aeronáutica;
- A carinhosa ajuda do amigo Paulo Binotto, na confecção e emprego dos programas computacionais utilizados;
- O indispensável apoio moral e espiritual de amigos e familiares;
- A agradável convivência de todo o pessoal do NORIE, entre alunos, professores, funcionários e auxiliares de pesquisa, traduzida em inestimável enriquecimento técnico e afetivo.

Sem o que, este trabalho não teria sequer iniciado.

*Aos colegas que, mesmo sabendo-se passageiros,
souberam transformar-se em amigos permanentes.*

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO.....	1
1 - CAMPOS DE APLICAÇÃO DA CLIMATOLOGIA.....	5
1.1 - Considerações Gerais.....	5
1.2 - Aplicações no Urbanismo.....	10
1.3 - Aplicações no Projeto de Edificações....	17
1.3.1 - O microclima.....	17
1.3.2 - Parâmetros do projeto climático.	20
1.4 - Aplicações na Execução de Obras.....	24
1.5 - Aplicações na Manutenção e Uso das Construções.....	27
2 - A ABORDAGEM BIOCLIMÁTICA DO PROJETO.....	33
2.1 - Histórico.....	33
2.2 - O Consumo e a Conservação de Energia....	34
2.3 - O Conforto e a Saúde do Usuário.....	39
3 - DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES CLIMATOLÓGICAS.	46
3.1 - A Formação Profissional na Área.....	46
3.2 - Análise e Representação de Dados Climáticos.....	51
4 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE/RS...	61
4.1 - Estudos Precedentes.....	61
4.2 - Implantação do Banco de Dados Climáticos	65

4.3 - Sumário Climatológico.....	67
4.3.1 - Origem dos dados utilizados.....	67
4.3.2 - Apresentação dos parâmetros - climáticos.....	69
4.3.3 - Análise conjunta dos parâmetros climáticos.....	82
4.4 - Avaliação do conforto térmico.....	85
4.4.1 - Metodologia adotada.....	85
4.4.2 - Identificação de períodos críticos.....	86
4.4.3 - Recomendações para projeto.....	91
CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXO A - DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS.....	106
ANEXO B - EXEMPLO DE APLICAÇÃO: metodologia para projeto de dispositivo de sombreamento..	119
B.1 - Caracterização Geral do Método....	120
B.2 - Aplicação do Método à Localidade de Porto Alegre/RS.....	123
B.3 - Conclusões.....	130

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- 1.1 - Fluxograma representativo da metodologia de pesquisa em climatologia aplicada ao ambiente construído..... 7
- 1.2 - Impacto dos elementos climatológicos sobre o planejamento regional, urbano e o projeto de edificações..... 9
- 1.3 - Relação entre possível desconforto e as condições meteorológicas dominantes, influentes na evolução urbana do ponto de vista climatológico..... 13
- 1.4 - Esquema para determinação de áreas com possível desconforto térmico..... 14
- 1.5 - Esquema para determinação de áreas com possível desconforto quanto à qualidade do ar..... 15
- 1.6 - Efeito de prédio projetado (10 pavimentos) sobre as isolíneas da velocidade do vento em seu entorno..... 21
- 1.7 - Efeito chaminé de indução da ventilação..... 24
- 1.8 - Condições adversas do tempo para pintura externa em Birmingham (Inglaterra), computando-se a ocorrência de baixas temperaturas, alta umidade e/ou precipitação. 26
- 1.9 - Comprovação da precipitação como sendo a causa real do atraso verificado em obra do leste inglês, em maio de 1983..... 26

CAPÍTULO 2

- 2.1 - Proporção entre a quantidade de energia consumida durante a utilização dos edifícios (sua vida útil) e a consumida na sua produção (direta e indireta)... 36
- 2.2 - Temperaturas superficiais preferenciais de conforto em diferentes regiões do corpo humano..... 40
- 2.3 - Equilíbrio térmico do corpo humano..... 41

CAPÍTULO 3

- 3.1 - Exemplo de projeto climático adequado a condições extremas de velocidade do vento..... 50
- 3.2 - Organograma da geração de dias típicos climáticos... 56

CAPÍTULO 4

4.1	-	Avaliação bioclimática de Porto Alegre.....	62
4.2	-	Média e desvio padrão da temperatura do ar em Porto Alegre.....	70
4.3	-	Média e desvio padrão da umidade relativa em Porto Alegre.....	71
4.4	-	Velocidade e direção predominante do vento médio em Porto Alegre.....	75
4.5	-	Frequência da direção do vento em Porto Alegre.....	76
4.6	-	Frequência da velocidade do vento em Porto Alegre...	77
4.7	-	Anemogramas médios mensais da frequência da direção do vento em Porto Alegre.....	78
4.8	-	Média e desvio padrão do total de nuvens (em oitavos) em Porto Alegre.....	80
4.9	-	Sumário de nebulosidade em Porto Alegre.....	81
4.10	-	Gráfico circular das condições médias de umidade, temperatura, velocidade e direção do vento em Porto Alegre.....	83
4.11	-	Relação entre o voto médio estimado e a porcentagem de pessoas insatisfeitas.....	86
4.12	-	Direções predominantes médias do vento, no período crítico de verão em Porto Alegre.....	92

ANEXO B

B1	-	Dados necessários para o cálculo do dispositivo de sombra.....	120
B2	-	Construção do dispositivo de sombra a partir de um ponto M.....	121
B3	-	Projeto do dispositivo de sombra, quando $ x > x/2$, realocando-se o ponto M ao ponto M_0	122
B4	-	Construção do dispositivo de sombra suficiente para atender o período crítico de verão, em janela de dimensões 140x140, orientada para o Norte, em Porto Alegre.....	127
B5	-	Dispositivo de sombra em janela de dimensões 140x50cm, para 8 orientações em Porto Alegre.....	129
B6	-	Sugestão para dispositivo de sombra em abertura de altura H, calculado para uma altura H/n e repetido n vezes (Ex: n=3).....	131

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

1.1	-	Dados climatológicos úteis ao urbanismo.....	11
1.2	-	Elementos climáticos relevantes e seus múltiplos parâmetros para o planejamento do uso do solo.....	12
1.3	-	Dados climatológicos úteis ao projeto de edificações.....	18
1.4	-	Comparação do consumo de energia em quatro apartamentos idênticos, com diferentes orientações, localizados no subúrbio de Tel Aviv (kWh).....	22
1.5	-	Comparação de temperaturas no verão, entre duas edificações idênticas, localizadas em Israel, variando a cor da cobertura (concreto e=20cm).....	23
1.6	-	Dados climatológicos úteis na execução de obras.....	25
1.7	-	Dados climatológicos úteis na manutenção e uso de edificações.....	28
1.8	-	Efeitos degradadores dos principais elementos climáticos sobre os materiais de construção.....	30
1.9	-	Comportamento frente ao intemperismo dos principais materiais de construção.....	31

CAPÍTULO 2

2.1	-	Consumo energético total (direto e indireto) incluído no processo de construção de 1m ² de edifício habitacional padrão.....	35
2.2	-	Potencial econômico dos benefícios advindos de pesquisas em conservação energética.....	38
2.3	-	Identificação de poluentes do ar, conforme relatório da ASHRAE sobre a qualidade do ar interno a ambientes construídos.....	43

CAPÍTULO 3

3.1	-	índices de "stress térmico" e "degree-days" para calefação nas sub-regiões de Negev, e necessidade de refrigeração ou calefação nos diversos cômodos de quartéis das forças armadas israelenses.....	58
3.2	-	Desconforto do pedestre em relação ao vento.....	59

CAPÍTULO 4

4.1	- Dia típico de verão em Porto Alegre, a um nível de probabilidade de 5%.....	63
4.2	- Dia típico de inverno em Porto Alegre, a um nível de probabilidade de 5%.....	64
4.3	- Resumo das condições climáticas médias de umidade, temperatura, velocidade e direção do vento em Porto Alegre.....	84
4.4	- Porcentagem de pessoas insatisfeitas, quanto ao conforto térmico de ambientes externos em Porto Alegre.....	88
4.5	- índice de resistência térmica (clo) simulado, para ocupantes de ambientes externos em Porto Alegre.....	88
4.6	- Porcentagem de pessoas insatisfeitas, quanto ao conforto térmico de ambientes internos em Porto Alegre.....	89
4.7	- índice de resistência térmica (clo) simulado, para ocupantes de ambientes internos em Porto Alegre.....	89

ANEXO A

A1	- Valores horários-mensais médios da temperatura do bulbo seco (°C) em Porto Alegre.....	107
A2	- Valores horários-mensais do desvio padrão da temperatura do bulbo seco (°C) em Porto Alegre.....	108
A3	- Valores horários-mensais médios da umidade relativa (%) em Porto Alegre.....	109
A4	- Valores horários-mensais do desvio padrão da umidade relativa (%) em Porto Alegre.....	110
A5	- Valores horários-mensais da velocidade média escalar do vento (m/s) em Porto Alegre.....	111
A6	- Valores horários-mensais da persistência do vento (%) em Porto Alegre.....	112
A7	- Valores horários-mensais da velocidade do vento vetor médio (m/s), reconstituídas a partir das médias do vento escalar e sua persistência, em Porto Alegre.....	113
A8	- Freqüência da velocidade do vento (%) em Porto Alegre.....	114
A9	- Valores horários-mensais da direção predominante (em graus) do vento médio em Porto Alegre.....	115
A10	- Freqüência da direção do vento (%) em Porto Alegre..	116
A11	- Valores horários-mensais médios do total de nuvens (em oitavos) em Porto Alegre.....	117
A12	- Valores horários-mensais do desvio padrão do total de nuvens (em oitavos) em Porto Alegre.....	118

ANEXO B

- B1 - Azimute e altura solar nas horas críticas do verão portoalegrense.....124
- B2 - Coordenadas do "ponto chave" (M), para projeto de dispositivo mínimo de sombra, em abertura de dimensões 140x140cm, que atenda o período crítico de verão, para oito orientações em Porto Alegre.....125
- B3 - Horas críticas para cálculo de dispositivos de sombra em Porto Alegre.....128

RESUMO

Com caráter informativo, inicia-se apresentando a relação entre a climatologia e o ambiente construído, em seus campos específicos de aplicação (urbanismo, projeto de edificações, execução de obras, e manutenção e uso das construções), considerando-se os aspectos históricos, econômico-ecológicos e os ligados à saúde e ao conforto do usuário, abrangidos por tal relação. A importância da disponibilidade de informações climatológicas é então comentada, bem como diversas metodologias de análise e representação de dados climáticos.

Com caráter aplicativo, apresenta-se uma contribuição à caracterização climática da cidade de Porto Alegre, RS. São analisados os valores médios horários-mensais dos principais parâmetros climáticos disponíveis (temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, e nebulosidade), propondo-se uma representação gráfica sintética alternativa para os mesmos. A análise é complementada pela execução de dois procedimentos técnicos: avaliação do conforto térmico, com identificação do período crítico de verão, e projeto de dispositivo de sombreamento de aberturas retangulares. Embora esteja em foco o caso específico de Porto Alegre, tais metodologias encontram-se descritas de modo a serem aplicadas a qualquer outra localidade, procurando-se ampliar a utilidade prática do presente estudo.

ABSTRACT

The relationship between climatology and buildings in its specific application fields (urban planning, building design, building construction and maintenance) is presented, considering the historical, economical and ecological aspects, as well as its linking with user health and comfort. The importance of the availability of climatological data is commented, together with the methodologies for climatic data analysis and representation.

A contribution to the climatic characterization of Porto Alegre, RS (Brazil) is given in two ways: with a hourly-monthly average values analysis of the main climatic parameters (temperature, humidity, wind velocity and direction, and nebulosity), and with an alternative synthetical graphical representation proposal. In addition, two technical procedures are illustrated: a thermal comfort evaluation, with identification of the summer critic periods, and a procedure for the design of shading devices for rectangular windows. Although these methods are presented for the specific case of Porto Alegre, they are described so as to be applied to any other particular place.

INTRODUÇÃO

Desde sempre a humanidade sofreu a influência das condições climáticas sobre suas diversas atividades. Tanto que os meios desenvolvidos para evitar, amenizar ou mesmo favorecer esta interferência foram rapidamente incorporados às culturas regionais.

No caso particular das construções, existem inúmeros exemplos, cristalizados na arquitetura vernacular de cada povo e sua época, de como a edificação individual ou em grupo se submete às peculiaridades do meio ambiente no qual está inserida.

Contudo, por diversas razões, observa-se que os assentamentos humanos não têm mais obedecido ao princípio universal e tradicional da adequação climática. E mesmo a explicação das causas do fenômeno não pode justificar os resultados desta negligência. Como muito bem percebe PAGE (1976), esta, em comunidades mais pobres, representa um desnecessário sofrimento, especialmente em relação ao frio e/ou calor e, em comunidades mais ricas, uma desnecessária dissipação de grandes quantidades de energia, no controle artificial das condições ambientais de espaços construídos.

Na tentativa de melhor entender o clima, surge um ramo da geografia física, a climatologia, como uma ciência de síntese aplicada a um determinado local. Enquanto a meteorologia é basicamente prospectiva, procedendo à observação e explicação dos fenômenos ocorrentes visando à previsão do tempo, a climatologia é retrospectiva, subdividindo o clima em uma série de elementos (temperatura, umidade, etc.) e procurando entender suas variações através do estudo de suas causas determinantes: os fatores climáticos (radiação solar, topografia, etc.). (SATTLER, 1990)

Da preocupação com o sistemático desperdício de recursos naturais materiais e humanos, ambos traduzidos em decréscimo geral da qualidade de vida, surge uma nova aplicação para a climatologia, numa relação direta com o setor de edificações. Persegue-se, portanto, não só o respeito a conceitos empiricamente já consagrados, através de seu estudo e divulgação, mas também a produção de conhecimento científico, que venha a caracterizar a evolução da área.

Para exemplificar a crescente importância adquirida pela conexão entre estudos climatológicos e os problemas da edificação nos últimos vinte anos, cita-se:

- o trabalho do CIB (Conseil International du Bâtiment pour la Recherche, L'Etude et la Documentation) que, em 1972, publicou uma lista de elementos meteorológicos básicos úteis à indústria da construção civil em seus vários estágios, e desde então vem se ocupando da questão de harmonização de métodos de produção e disposição dessas informações meteorológicas. (LACY, 1979)

- a iniciativa da WMO (World Meteorological Organization) que, como agência especializada das Nações Unidas para coordenar, padronizar e aperfeiçoar os serviços prestados pela meteorologia através do mundo, nas diversas atividades humanas, incluiu em sua programação, a partir de 1979, a Climatologia Urbana e Predial. Assim, deu-se ênfase especial aos aspectos meteorológicos, visando o melhor uso da energia e da água, assim como a elevação das condições de saúde em áreas urbanas. (JOVICIC, 1984)

- os diversos simpósios e congressos internacionais já ocorridos sobre o tema, organizados pelo CIB, pela International Federation for Housing and Planning, etc.

Visto isso, a primeira dificuldade que se impõe, no caminho de quem se interessa e deseja contribuir na divulgação da climatologia, enquanto geradora de parâmetros e critérios no auxílio à tomada de decisões no âmbito do ambiente construído, é, justamente, a escolha da melhor abordagem sobre o tema.

Assim, no presente estudo, os primeiros esforços se concentraram na própria estruturação do trabalho que, objetivando abranger o maior número possível de interessados, foi desenvolvida como se comenta a seguir.

Inicialmente, é apresentada uma das raras propostas genéricas de abordagem metodológica do tema, elaborada com o intuito de facilitar, agilizar e aumentar a eficiência da aplicação climatológica no ambiente construído. Os quatro grandes grupos ou campos de aplicação, identificados como Urbanismo, Projeto de Edificações, Execução de Obras, e Manutenção e Uso das Construções, encontram-se individualmente comentados e ilustrados com exemplos de casos internacionalmente experienciados.

O segundo capítulo se atém à abordagem bioclimática do projeto de edificações, por se tratar do interesse específico para o qual se voltará o restante do trabalho. Aí são abordados os aspectos históricos, econômicos, ecológicos e de saúde e conforto do usuário, implicados no planejamento e execução de qualquer projeto predial.

Visto isso, a conscientização e formação profissional do projetista, bem como as diversas metodologias já desenvolvidas tentando diminuir a distância entre os dados climatológicos disponíveis e os critérios práticos de projeto, são considerados no terceiro capítulo.

No quarto e último capítulo, a atenção é focalizada sobre a cidade de Porto Alegre / RS, onde são citadas algumas iniciativas precedentes em relação à caracterização do clima e sua conseqüente influência sobre as decisões de projeto. Neste sentido, uma contribuição é oferecida na forma de sumário climatológico, analisando-se o comportamento dos principais parâmetros climáticos disponíveis (temperatura, umidade relativa, velocidade e direção predominante dos ventos, e nebulosidade) no decorrer de cada dia médio mensal. Em um esforço de síntese, é fornecida uma alternativa gráfica de representação concisa dos dados, objetivando capacitar o profissional-usuário a uma avaliação climática global da capital do Estado do Rio Grande do Sul. Como complemento de

análise, uma avaliação do conforto térmico identifica o período crítico de verão, aplicando-se metodologia proposta por P. O. Fanger, e tecendo-se algumas recomendações úteis ao projeto de edificações locais.

O item destinado às conclusões aglutina as principais recomendações dispersas ao longo do trabalho, conforme o caráter geral, específico ou pertinente a estudos de caso locais, a que se refiram.

Em anexo, encontram-se os valores tabelados dos dados climáticos utilizados (Anexo A), bem como outro exemplo de aplicação climatológica, onde, a partir da metodologia de cálculo para projeto de dispositivo de sombra proposta por Y. Etzion, fica estabelecido o procedimento para previsão de proteção solar em aberturas retangulares (Anexo B). Para aplicações práticas em Porto Alegre, a técnica de sombreamento é amplamente facilitada pela identificação das horas críticas de cálculo, caso as aberturas se encontrem em fachadas orientadas para uma das oito direções consideradas (pontos cardeais e colaterais).

CAPÍTULO 1

CAMPOS DE APLICAÇÃO DA CLIMATOLOGIA

1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Importante passo no sentido da institucionalização do uso das informações climatológicas no ambiente construído foi dado em 1971, como visto anteriormente, ao instituir-se a Comissão de Trabalho do CIB que se propunha a listar os dados meteorológicos básicos, úteis a vários aspectos relacionados ao ambiente construído. Neste amplo levantamento, foram contempladas várias áreas de interesse, desde o comportamento da estrutura e envólucro de uma edificação frente aos extremos do clima, visando garantir segurança e um ambiente interior agradável aos seus ocupantes, passando pela preocupação com a durabilidade dos materiais de construção expostos aos ataques contínuos do tempo. (LACY, 1972)

Entre os resultados desta empreitada está a identificação de 60 dados, dispostos em tabelas, mostrando a combinação necessária entre eles, requerida para a análise de sua influência conjunta sobre o maior número possível de problemas referentes ao ambiente construído. Foram destacados quatro campos de aplicação dos dados como mostram as listagens que aparecem nos subcapítulos correspondentes: Urbanismo, Projeto, Execução de Obras e Manutenção e Uso de Edificações.

Conhecidos os elementos climáticos básicos que devem ser considerados, ainda não fica claro o caminho a ser trilhado pelos profissionais interessados. Mesmo superando-se a difícil tarefa de obtenção, armazenamento, análise e apresentação dos dados qualitativa e quantitativamente confiáveis, ou seja,

dados horários durante um período mínimo de 10 anos, ainda é indispensável seguir-se uma metodologia específica e lógica para a aplicação climatológica.

Como salienta BITAN (1988), as pesquisas nesta área costumam perseguir soluções para erros cometidos no passado, durante trabalhos de planejamento e construção, por não terem levado em conta os elementos climatológicos, ou dirigem-se para a prevenção de possíveis erros numa área específica da climatologia de edificações. Podem ainda ser estudos do tipo concentrado em um único elemento climatológico, como o vento ou a temperatura, de maneira a aproveitar ou evitar seu potencial positivo ou negativo de influência sobre a edificação. De qualquer forma, constata-se uma carência de trabalhos que lidem com uma visão suficientemente global, para, realmente, serem alcançados resultados e eficiência máxima na integração entre elementos climatológicos e o produto edificado em benefício da qualidade de vida.

Visto isso, Bitan propõe um conceito e sistema metodológico que segue dois princípios fundamentais:

1 - Abordagem de caráter universal, podendo ser aplicada a qualquer região climática; e

2 - Possibilidade de ser usado separadamente, aplicado a cada estágio do processo de planejamento, desde o nível regional até a unidade predial.

A metodologia daí resultante encontra-se bem representada pelo fluxograma apresentado na figura 1.1, onde estão identificados os principais estágios no desenvolvimento da pesquisa de aplicação climatológica, comentados a seguir:

- Estágio A (quadros 1, 2 e 3) - reúne detalhes acerca do projeto em questão, como: determinação da natureza climática através da localização, tamanho da unidade planejada, número de habitantes previsto e as funções que os espaços tratados abrigarão, todos de fundamental importância para o início da pesquisa aplicada.

- Estágio B (quadros 4, 5 e 5a) - estuda cuidadosamente todos os dados ambientais da área, como

variações topográficas e presença de dunas de areia, florestas, etc., que podem influir no clima local, e principalmente o próprio clima e suas características.

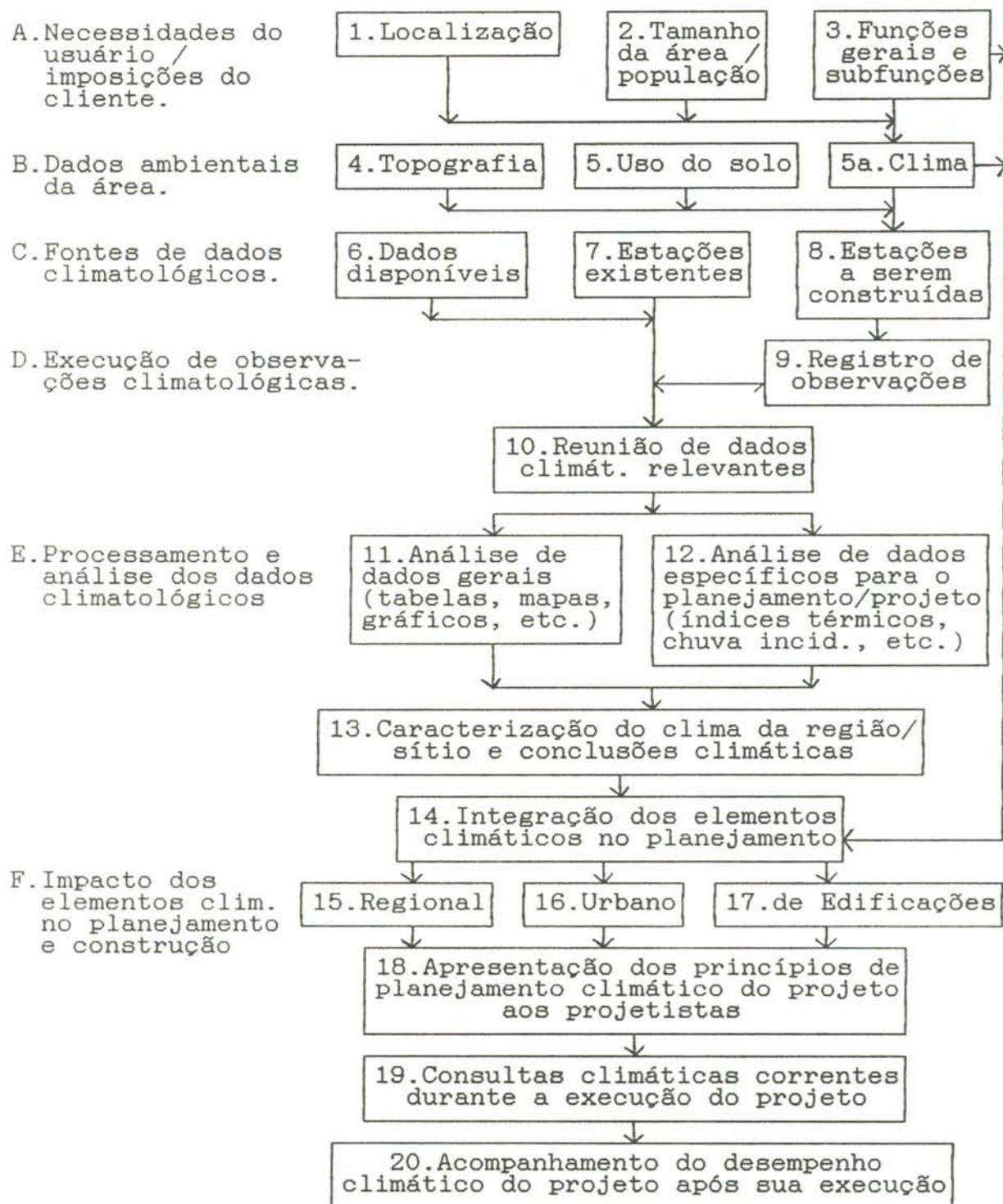


FIGURA 1.1 - Fluxograma representativo da metodologia de pesquisa em climatologia aplicada ao ambiente construído
Fonte: BITAN, 1988.

- Estágio C (quadros 6, 7 e 8) - reservado para a coleta dos dados climatológicos, onde são consultadas as estações meteorológicas e climatológicas em funcionamento na área e, na falta ou insuficiência destas, a previsão de uma nova estação coletora de dados deve suprir a lacuna.

- Estágio D (quadro 9) - procede a medições climatológicas em campo, o qual pode ser omitido, dependendo se a densidade, quantidade e qualidade do material climatológico disponível sobre a área supre a necessidade de informações.

- Estágio E (quadros 10, 11, 12 e 13) - uma vez recolhidos e selecionados os dados, inicia-se a concentração, processamento e análise dos mesmos. Geralmente, os parâmetros de maior impacto são: temperatura, umidade, vento, precipitação, radiação solar e características especiais da área. O processamento e análise deve se dar de forma não só a esclarecer as condições climáticas da área ou sítio, mas também a fornecer critérios específicos úteis ao planejamento e construção. Isto significa que a representação dos dados deve incluir mapas, gráficos, diagramas, tabelas e outras explicações de modo a facilitar o entendimento e uso do material climatológico.

- Estágio F (quadros 14, 15, 16 e 17) - requer cooperação entre o climatologista e o planejador ou arquiteto, visando a máxima utilização dos elementos climáticos e ambientais analisados. Consiste de várias sub-seções, de acordo com os objetivos do projeto em estudo, sendo que a integração dos elementos climatológicos no planejamento pode-se dar, no mínimo, em três níveis: regional, urbano e projeto de edificações. A cada um correspondem detalhes de possíveis impactos climatológicos a serem considerados, como está exemplificado na figura 1.2.

Nos últimos quadros do fluxograma, finalizando a representação metodológica, encontra-se a etapa onde o responsável pela tomada de decisões no empreendimento deve ser conscientizado das vantagens da aplicação climatológica, poupando gastos com refrigeração, calefação ou iluminação e, principalmente, melhorando a qualidade de vida. É o momento de

checagem e discussão do planejamento com o climatologista, na produção conjunta do plano do projeto (quadro 18).

Também é aconselhável o acompanhamento da construção pelo climatologista, sendo informado de qualquer mudança no projeto (quadro 19), além da avaliação pós-ocupação do desempenho das recomendações adotadas, o que pode ser feito através de medições climatológicas e entrevistas com os usuários (quadro 20). Esta última recomendação é fundamental para o aprendizado e eficiência de aplicações futuras.

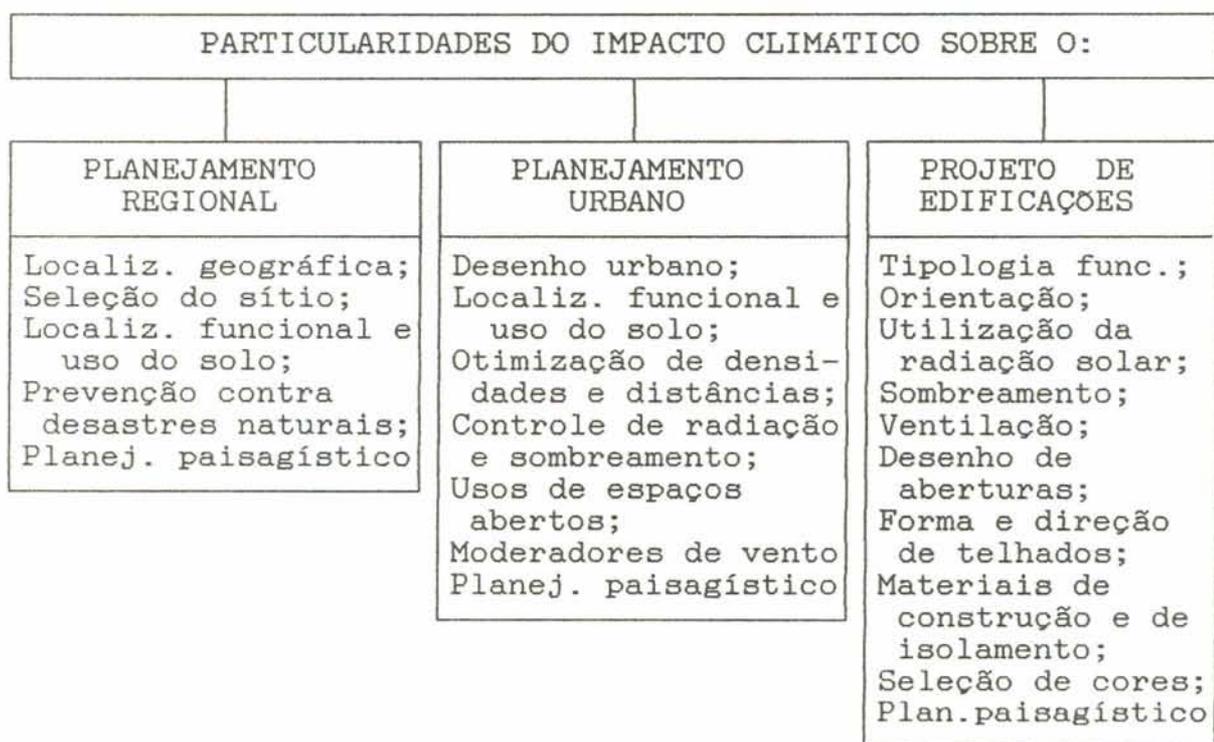


FIGURA 1.2 - Impacto dos elementos climatológicos sobre o planejamento regional, urbano, e o projeto de edificações.

Fonte: BITAN, 1988

1.2 - APLICAÇÕES NO URBANISMO

O campo da climatologia aplicada ao urbanismo inclui o estudo, tanto do impacto da topografia local na produção de diferentes climas para um determinado conjunto edificado, quanto o impacto do próprio conjunto sobre o clima local e arredores. Assim, já no séc. 19, era pesquisado o fenômeno das "ilhas de calor" produzidas pelos grandes centros urbanos, chegando nas décadas de 60 e 70 a um crescente interesse sobre a atmosfera urbana, principalmente no papel do homem frente à modificação do meio ambiente, com ênfase à poluição do ar. (OKE, 1984)

A tabela 1.1 apresenta os dados climatológicos úteis ao urbanismo, segundo as conclusões do CIB.

Mesmo sendo consenso geral que a chamada climatologia urbana, abrangendo uma grande quantidade de conhecimentos, deve fazer parte integral da formação de todo planejador urbano, constata-se que tem sido pouco aproveitada no trabalho destes profissionais. Fazendo um levantamento das causas mais correntes deste desuso, OKE (1984) cita: a complexidade inerente ao tema, sua natureza interdisciplinar, e a falta de diálogo significativo entre os planejadores urbanos e a comunidade de pesquisa climatológica. Considerando que dificuldades semelhantes foram devidamente superadas em outros campos, o autor revisa a possibilidade de o problema ser atribuído à natureza da pesquisa em climatologia urbana e à dificuldade em transformar seus resultados em expressivos instrumentos de trabalho.

SCHIRMER (1984) ressalta que, do ponto de vista do climatologista, os múltiplos objetivos do planejamento podem ser descritos como:

- aumentar a qualidade de vida, pelo planejar de acordo com critérios climatológicos;
- reduzir ou eliminar condições climáticas existentes desfavoráveis;
- evitar efeitos climáticos desfavoráveis quando o planejamento é realizado com outras prioridades.

TABELA 1.1 - Dados climatológicos úteis ao urbanismo.

	Nevoeiro: circulação e controle de poluição	Irradiação	Vento (a baixas temperaturas)	Exposição a chuvas	Exposição à neve	Umidade do solo	Drenagem, perigo de inundação	Disponibilidade de ilum. natural dos edifícios	Obstrução por neve	Regulamentação de alturas: ventos ao nível do solo	Regulamentação de alturas: acúmulo de gelo	Regulamentação de alturas: nuvens baixas
Irradiância solar direta sobre sup. horiz.		•				•						
Irradiância solar difusa sobre sup. horiz.		•				•						
Luminância direta sobre uma sup. horiz.							•					
Luminância difusa sobre uma sup. horiz.							•					
Período de insolação		•										
Trajetoária solar		•										
Radiação ultra-violeta total sobre sup. horiz.												
Temperatura radiante equivalente do céu												
Temp. do ar à altura normalizada (1m do solo)			•			•				•	•	
Temperatura do ar a diferentes alturas	•										•	
Temperatura do solo												
Umidade do ar	•					•						
Nevoeiro (visibilidade a 50 e 200m)	•										•	
Nuvens baixas (por ex.: 100m do solo)											•	•
Teor de poluição do ar	•											
Velocidade do vento (10m do solo)	•		•	•	•	•			•	•	•	
Direção do vento (10m do solo)	•		•	•	•				•	•	•	
Variação vertical da velocidade do vento										•	•	
Quantidade de chuva						•	•					
Intensidade de chuva				•			•					
Duração de chuvas							•					
Quantidade de neve					•				•			
Evaporação												

Fonte: LACY, 1972.

TABELA 1.2 - Elementos climáticos relevantes e seus múltiplos parâmetros para o planejamento do uso do solo.
 Recursos úteis: M = mapas, C = cartas, T = tabelas

ELEMENTO	PARAMETROS (RECURSOS)	EFEITOS RELEVANTES NO PLANEJAMENTO
Vento	Velocidade média (M)	Ventilação, trocas de ar, canalização de ar puro (correntes de ar fresco) energia eólica, erosão
	Freqüência e duração de períodos com veloc. mínima estabelecida (T)	Condições de calma, planej. urbano, especificidades na localização
	Apresentação da veloc. média em cada direção (C,T)	Ampliações, proteção dos ambientes habitados
Temperatura	Freqüência e duração da ocorrência de valores dentro de certos limites (<0°C, >40°C, etc.) (M)	Épocas de plantio/colheita em agricultura; freqüência de geadas, administração de obras, ventilação, planejamento de assentamentos (localização)
	"Degree-days" (M)	Tecnologia de calefação/refrigeração, demandas e consumo de energia
Precipitação	Quantidade média anual e sazonal (M)	hidrologia, agricultura, planej. da administração de recursos hídricos, construção de diques, utilização de energia hídrica
	Data média inicial e final da estação chuvosa (M)	Agricultura, especialmente em regiões áridas e semi-áridas
	Freqüência de certas quantidades de precipitação (C,T)	Agricultura, administração de recursos hídricos
	Número médio de dias com precipitação <10mm (M)	Hidrologia, erosão

Fonte: SCHIRMER, 1984

A tabela 1.2 reproduz os elementos climáticos relevantes e seus múltiplos parâmetros para o planejamento do uso do solo regional, o que fornece somente uma primeira amostra das muitas possibilidades de aplicação.

Uma demonstração prática do uso de conceitos climatológicos no planejamento de assentamentos humanos pode ser dada pelas recomendações citadas num estudo de caso, onde o desconforto térmico e a qualidade do ar são considerados (ver figura 1.3).

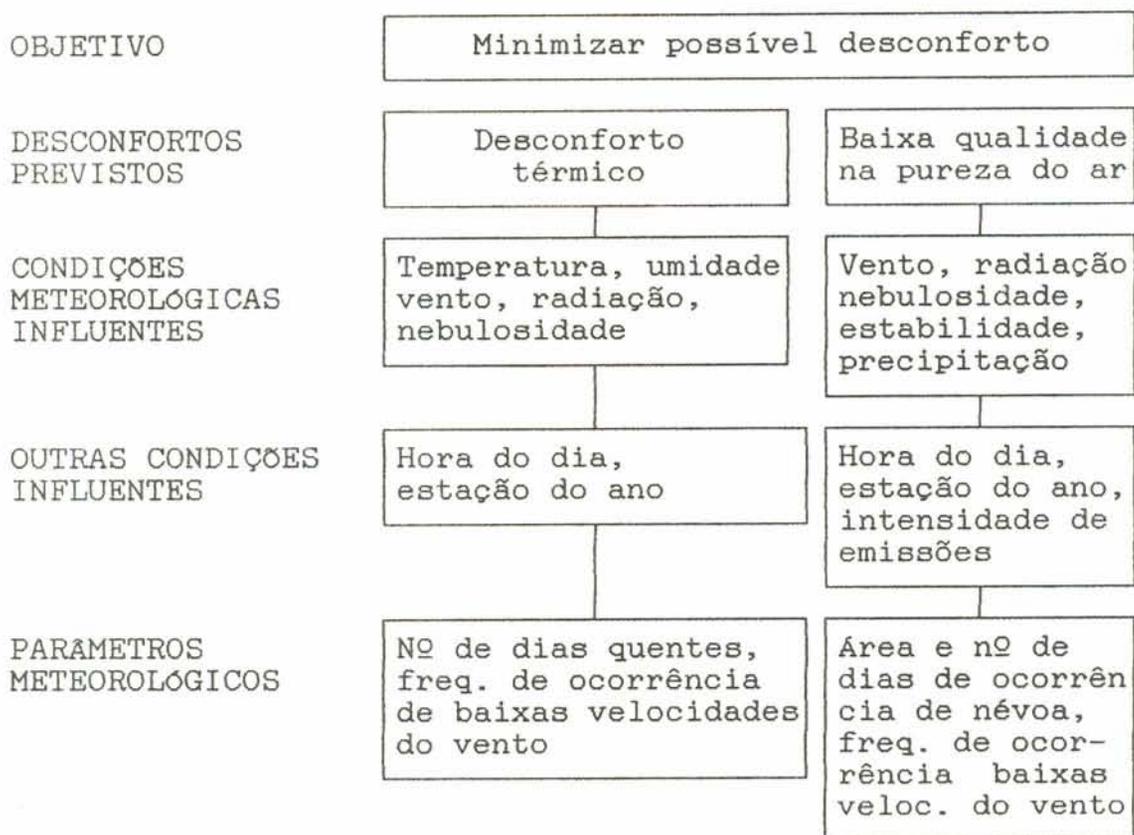


FIGURA 1.3 - Relação entre possível desconforto e as condições meteorológicas dominantes, influentes na evolução urbana do ponto de vista climatológico.
Fonte: SCHIRMER, 1984

Em relação ao desconforto térmico de verão, as medidas preventivas possíveis para reduzi-lo ou eliminá-lo são:

- proteger e conservar fluxos existentes de ar frio e áreas que possam capturá-lo;

- obter alto índice de penetração de ar frio noturno através de artifícios construtivos;

- evitar assentamentos em áreas que apresentam grande desconforto térmico.

A parametrização do desconforto térmico pode ser feita pela computação da média anual do número de dias de verão (quentes) e a freqüência de situações com baixa velocidade de vento (menores que 1,5 m/s) (ver figura 1.4).



FIGURA 1.4 - Esquema para determinação de áreas com possível desconforto térmico.
Fonte: SCHIRMER, 1984.

Em relação ao desconforto causado por precárias condições da qualidade do ar, pode-se tomar as seguintes medidas:

- proteger e conservar fluxos de ar fresco para a renovação de ar poluído;

- planejar áreas industriais em locais bem ventilados;

- projetar e erigir áreas e barreiras de proteção ao redor de fontes de forte emissão industrial, ao longo de rodovias, etc.

Na parametrização deste desconforto é usada a média anual do número de dias com névoa e a freqüência de ocorrência de ventos fracos (figura 1.5).

Área de ocorrência e nº de dias com névoa ("fog")

Freqüência de ocorrência de baixa veloc. do vento ≤ 1 Beaufort (1.5 m/s)

Índice de impureza do ar de acordo com as condições meteorológicas

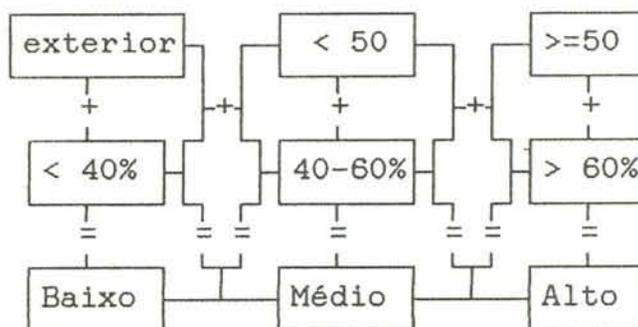


FIGURA 1.5 - Esquema para determinação de áreas com possível desconforto quanto à qualidade do ar.

Fonte: SCHIRMER, 1984

Para se ter idéia da tecnologia empregada entre os diversos exemplos de aplicação climatológica urbana encontrados na literatura disponível a respeito, pode-se destacar:

a) O desenvolvimento urbano no caso específico de climas extremamente frios, como:

- série de abordagens políticas e de planejamento ao dilema imposto por climas severos no contexto do norte canadense (PRESSMAN, 1988);

- planejamento de assentamentos urbanos na região ártica do norte norueguês, incluindo um sistema completo de proteção climática considerando-se o vento, neve acumulada e duração da insolação (STERTEN, 1988);

- projeto residencial para regiões polares da Noruega, com delimitação de áreas residenciais e alinhamento de ruas, definidos conjuntamente com barreiras de neve e cinturões de vegetação (BORVE, 1988);

- descrição de abordagem metodológica para o planejamento de cidades árticas, onde vários especialistas trabalham simultaneamente (ZRUDLO, 1988).

b) Assentamentos urbanos em condições desérticas, como:

- operação desenvolvida pelo estado de Israel no Vale Jordão, sendo a pesquisa conduzida em três níveis: o regional,

o local (ou de estrutura do assentamento) e o de projeto da unidade edificada (POTCHTER, 1988);

- estudo sobre a fronteira sul do deserto do Saara, caracterizada por extrema vulnerabilidade ecológica e submetida a um rápido processo de urbanização, onde fica demonstrado como princípios climatológicos básicos devem ser levados em conta na seleção de áreas para expansão urbana, na alocação e desenhos de ruas, na proteção contra enxurradas e esgotamento de águas servidas. (HERZ, 1988)

c) Pesquisas visando o bem estar de pedestres e moradores de centros densamente povoados, como o estudo de OKE (1988), que demonstra a existência de úteis relações entre a geometria e o microclima de ruas que formam "canyons", tendo o mérito especial de serem relações quantitativas, dependendo apenas de simples medidas.

d) Pesquisas relacionadas à poluição do ar urbano, como:

- resultados obtidos na Universidade de Karlsruhe (Alemanha) determinando o padrão da dispersão de gases acidentalmente postos em circulação em áreas construídas, utilizando-se de simulações em túneis de vento. (BACHLIN & PLATE, 1988)

- estudo polonês (NOWICKI, 1988) que aponta a indústria, transporte e calefação como as maiores causas da poluição do ar urbano, sendo o seu controle amplamente determinado pela escolha da localização e distância de áreas industriais em relação à área residencial, pela concentração ou dispersão de indústrias em vários distritos, e pela forma concêntrica ou linear da cidade, todas as alternativas dependendo fortemente das condições climáticas locais.

- em Israel, as principais características dos climas predominantes na planície costeira do Mediterrâneo foram analisadas, tendo sido indicadas as zonas potencialmente críticas em relação à poluição, contribuindo na otimização de estratégias de localização de fontes poluidoras. (MANES et al., 1984)

e) Várias técnicas de análise ambiental também vêm sendo desenvolvidas, principalmente na Alemanha, como:

- o programa de pesquisa STADTKLIMA BAYERN, desenvolvido na Universidade de Munique, que utiliza como instrumentos de caracterização e análise urbana mapas do tipo grelha, para a identificação de coberturas superficiais, além de imagens térmicas, para a determinação de temperaturas superficiais médias, resultados de medições da distribuição da temperatura do ar, características do vento e poluição do ar (MAYER, 1988 e BRÜNDL, 1988).

- na Universidade de Mainz o controle das condições higiênicas e bioclimáticas do ar ganha nova dimensão com o uso de bio-indicadores (vegetais) na determinação dos efeitos de agentes poluidores em organismos vivos, conjuntamente com o monitoramento das condições climáticas, como direção e velocidade do vento e consideração da topografia local para a correta avaliação das transmissões aéreas. (HEIDT, 1984)

No curso de pós-graduação em ecologia da UFRGS foi desenvolvido o trabalho de HASENACK (1989), que estudou a influência de três variáveis ambientais (ângulo de obstrução do horizonte, cobertura vegetal e superfície com edificações) sobre a temperatura do ar (médias das temperaturas mínimas e máximas durante um período de 12 meses) na área urbana de Porto Alegre. Entre suas conclusões, destaca-se que a obstrução por edificações pareceu ter sido a variável ambiental de maior influência sobre as temperaturas mínimas observadas. Já a superfície com edificações, dentre as variáveis que representaram a cobertura do solo, mostrou melhor correlação com as temperaturas do que a área com cobertura vegetal.

1.3 - APLICAÇÕES NO PROJETO DE EDIFICAÇÕES

1.3.1 - O Microclima

O campo da climatologia aplicada ao projeto de edificações abrange, como pode ser visto na tabela 1.3, a estabilidade estrutural, o funcionamento frente às intempéries, e o conforto higrotérmico e lumínico do ambiente construído.

TABELA 1.3 - Dados climatológicos úteis ao projeto de edificações.

	Sobrecarga por vento	Sobrecarga por neve	Sobrecarga por gelo	Temp. extremas admitidas pelos materiais	Fundações: migração de umidade	Fundações: tensões por congelamento	Congelamento de tubulações enterradas	Penetração de chuva por fissuras	Absorção de água de chuva pelos materiais	Penetração de neve por fissuras	Passagem de ar por fissuras	Ventilação natural	Tiragem de chaminés	Escoramento de água pelos telhados	Escoramento de chuva sobre paredes	Calefação	Refrigeração	Isolamento térmico	Noites quentes	Iluminação de compartimentos	Distrib. da claridade da abóbada celeste	Valor da illum. natural: repartição espectral	Rendimento luminoso	Insolação de edifícios
Irradiância solar direta sobre sup. horiz.				•	•											•	•						•	
Irradiância solar difusa sobre sup. horiz.				•	•											•	•							
Luminância direta sobre uma sup. horiz.				•																•	•			
Luminância difusa sobre uma sup. horiz.																				•	•	•		
Período de insolação																				•	•	•		
Trajectoria solar																				•				
Radiação ultra-violeta total sobre sup. horiz.																								
Temperatura radiante equivalente do céu				•													•	•						
Temp. do ar a altura normalizada (1m do solo)			•	•	•	•	•			•	•					•	•	•	•					
Temperatura do ar a diferentes alturas			•							•						•	•							
Temperatura do solo						•	•																	
Umidade do ar					•												•	•						
Nevoeiro (visibilidade a 50 e 200m)			•																					
Nuvens baixas (por ex.: 100m do solo)			•																					
Teor de poluição do ar																								
Velocidade do vento (10m do solo)	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•				
Direção do vento (10m do solo)	•	•	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•				•				
Variação vertical da velocidade do vento	•		•							•	•	•												
Quantidade de chuva			•	•					•					•										
Intensidade de chuva							•	•						•	•									
Duração de chuvas																								
Quantidade de neve		•	•							•														
Evaporação																								

Fonte: LACY, R. 1972.

Passando da abordagem da climatologia urbana para um aspecto mais focal, temos o estudo do microclima como o próximo passo na determinação dos parâmetros climatológicos que influenciam o desempenho da edificação.

Nem sempre é possível optar-se por um terreno agraciado com microclima favorável, tendo-se muitos outros fatores a interferir e mesmo ditar a escolha da localização de um empreendimento imobiliário. Com isso em mente, KEEBLE (1985) defende a idéia da administração microclimática de cada local, aproveitando-se seu potencial natural na criação de um entorno abrigado, onde são exploradas as condições climáticas favoráveis e minimizadas as desfavoráveis.

É fundamental, portanto, que providências neste sentido sejam tomadas desde os estágios iniciais de lançamento do projeto, já que o "lay-out" geral de um prédio ou conjunto de prédios limita bastante intervenções ou adaptações posteriores. Valorizar o microclima local inclui cuidados econômicos e ambientais tais como: reduzir custo com refrigeração e calefação (também propiciando conforto nos espaços circundantes ao ar livre), maximizar a durabilidade dos materiais de construção utilizados, facilitar secagem de roupas e o crescimento de plantas.

Keeble relaciona as seguintes medidas de controle para atingir os objetivos anteriormente citados. Quanto ao acesso solar, permitir o máximo de iluminação natural sempre, e o máximo de radiação solar no inverno, além de proteger ambientes e vidraças de prolongada exposição solar no verão. Quanto ao vento, proteger espaços e edifícios de ventos fortes, contínuos ou com turbulência, além de proteção contra a chuva incidente. Outras medidas são: uso de boa massa térmica externa, suficiente para provocar retardo térmico e moderar temperaturas extremas, uso de vegetação para sombreamento e como barreira ao vento, etc...

Como exemplo de aplicação, pode-se citar o projeto vencedor de concurso nacional israelense, voltado para considerações climáticas e energéticas, descrito por RAHAMIMOFF (1984), onde 100 unidades residenciais foram projetadas obedecendo critérios climatológicos, tanto na disposição do conjunto, condicionando o microclima, quanto na disposição individual das unidades e seus componentes arquitetônicos.

A preocupação sobre como a edificação pode atuar negativamente no microclima do entorno é exposta por LOHMEYER et al.(1988). A figura 1.6 mostra os resultados experimentais obtidos em túnel de vento, onde se determina quantitativamente a influência de um novo edifício projetado (10 pavimentos) sobre o conforto de pedestres em relação à velocidade do vento.

1.3.2 - Parâmetros do projeto climático

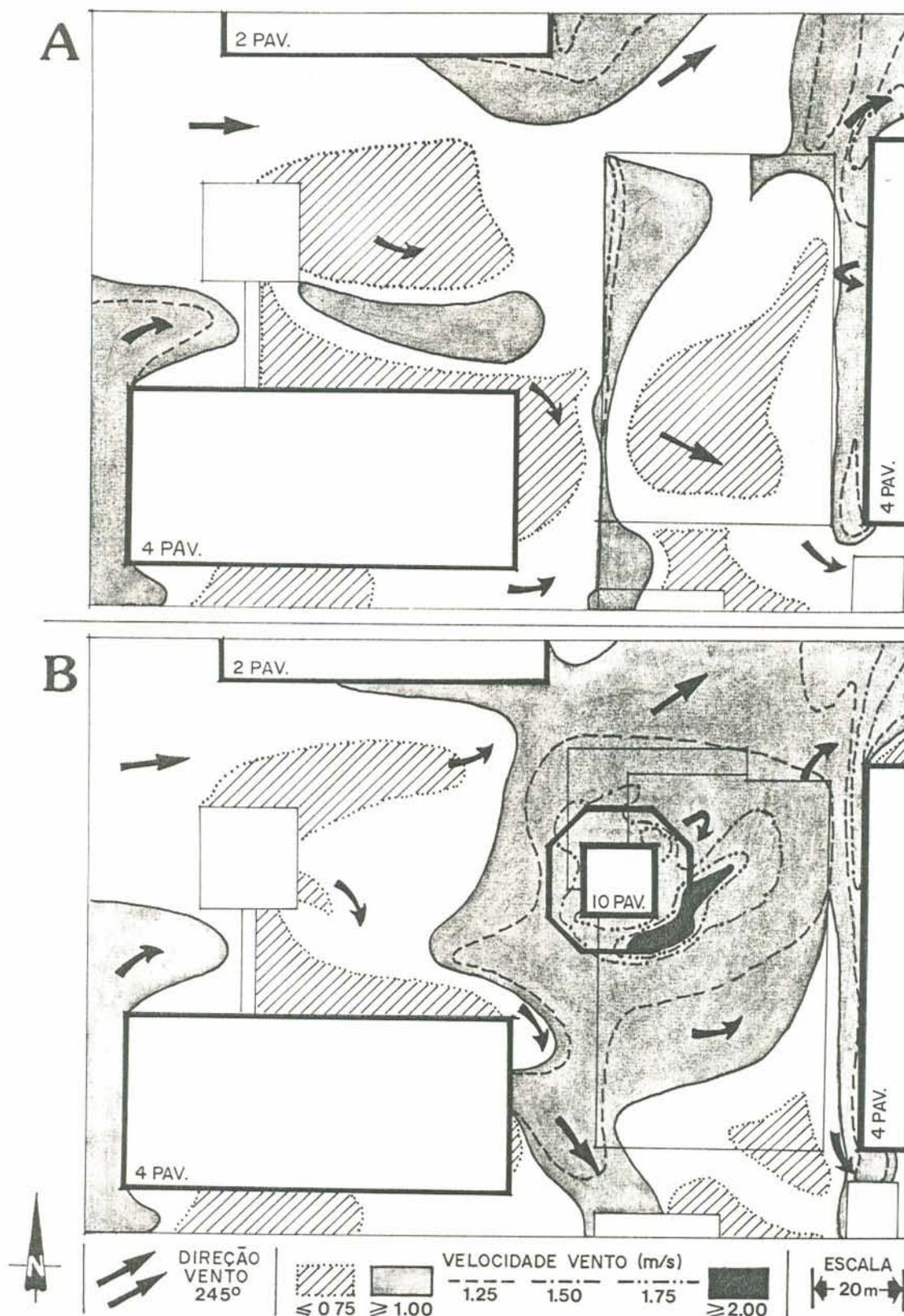
Conforme SHAVIV (1984), entre os diversos parâmetros de projeto que afetam o comportamento térmico da edificação pode-se destacar:

- a orientação geral, que atua sobre o período de insolação e o impacto da velocidade do vento;
- a área da superfície externa (envólucro);
- a localização de aberturas e suas dimensões;
- o sombreamento de aberturas e do envólucro;
- cores e texturas utilizadas;
- distâncias entre prédios e existência de pátios internos;
- propriedades termofísicas dos materiais de construção, como condutividade e capacidade térmica.

Para a adequada manipulação destes parâmetros, um bom número de modelos computacionais têm sido desenvolvidos, para a simulação e previsão do comportamento térmico de edificações.

Enfatizando o uso apropriado destes parâmetros para a refrigeração passiva em climas quentes, Shaviv também discute as seguintes ferramentas de projeto:

a) Ventilação - possui tripla função no controle das condições térmicas internas: mistura o ar interior e exterior (em geral com conseqüências indesejáveis tanto no inverno quanto no verão); gera movimentação do ar (auxiliando na evaporação da transpiração, fator importantíssimo em climas quente e úmidos); e remove o excesso de umidade interior (particularmente maior no inverno), prevenindo o excesso de vapor d'água e a condensação.



Caso A (superior): antes da construção do edifício projetado.
 Caso B (inferior): depois da execução do projeto, apresentando alteração do zoneamento e acréscimo na velocidade do vento.

FIGURA 1.6 - Efeito de prédio projetado (10 pavimentos) sobre as isolíneas da velocidade do vento em seu entorno
 Fonte: LOHMEYER et al., 1988.

b) Evaporação - tradicionalmente usada em climas quentes e secos para a refrigeração natural de ambientes, com inúmeros exemplos encontrados nas arquiteturas arábica, egípcia, hispânica e indiana.

c) Sombreamento - largamente utilizado como um dos mais importantes parâmetros de projeto em climas quentes (secos ou úmidos). De forte expressão arquitetônica, os dispositivos de sombra se popularizaram, mas nem sempre têm o tamanho e forma exatos de modo a evitar a radiação direta no verão e permitir a máxima insolação no inverno. Para tanto, alguns métodos de cálculo foram desenvolvidos. (SHAVIV, 1984 e ETZION, 1985)

d) Orientação - determinante no comportamento térmico da edificação, já que afeta o conforto de duas maneiras: pela quantidade de radiação incidente no envólucro, e pelo aproveitamento dos ventos locais para ventilação no verão, bem como para evitar infiltrações no inverno. Sua atuação pode ser comprovada pelo exame da tabela 1.4 que compara a energia consumida na climatização mecânica de apartamentos idênticos dispostos em diferentes orientações.

TABELA 1.4 - Comparação do consumo de energia em quatro apartamentos idênticos com diferentes orientações, localizados no subúrbio de Tel Aviv. (kWh)

Especificação	S & E	S & O	N & E	N & O
Consumo para calefação	<u>2388</u>	2735	3729	3981
Consumo para refrigeração	4843	5087	<u>4599</u>	4749
Consumo total de energia	<u>7231</u>	7822	8328	8730

Obs: Os valores sublinhados representam o menor consumo, indicando que o apartamento com fachadas para o Sul e Leste, apresenta o menor consumo total de energia, para as condições climáticas locais.

Fonte: SHAVIV, 1984.

e) Cor do envólucro - afeta a absorção da radiação de onda curta (solar), a qual é mais absorvida por superfícies escuras e mais refletida por superfícies claras. O efeito da cor de uma cobertura horizontal sobre a temperatura interna pode tornar-se insignificante quando é utilizado isolamento ou

sombreamento adequados, contudo, sempre será mais importante do que o efeito da cor do envólucro vertical (paredes externas). A tabela 1.5 compara as temperaturas obtidas com o uso de uma cobertura branca e outra preta.

TABELA 1.5 - Comparação de temperaturas no verão, entre duas edificações idênticas localizadas em Israel, variando a cor de uma cobertura de concreto de 20cm de espessura. (°C)

ESPECIFICAÇÃO	COR PRETA	COR BRANCA	TEMP. EXTERIOR
Temp. média interior	27.3	26.5	27.0
Temp. máxima interior	30.0	28.1	31.2
Temp. mínima interior	25.0	24.9	23.0
Variação temp. interior	5.0	3.2	8.2
Lapso de tempo (h)	4	5	
Temp. máxima cobertura	35.1	28.3	31.2
Temp. mínima cobertura	23.2	25.2	23.0
Variação temp. cobert.	11.9	3.1	8.2

Fonte: SHAVIV, 1984.

f) Resfriamento por radiação noturna - constitui uma promissora possibilidade de resfriamento natural em climas quentes, considerando-se que a emissão de qualquer objeto é proporcional a sua temperatura elevada à quarta potência. Representando-se a radiação incidente proveniente do céu noturno como uma temperatura equivalente de radiação, tem-se que, quando esta temperatura for inferior à temperatura superficial externa da edificação, haverá uma troca de calor que resultará no resfriamento da edificação.

g) Materiais de Construção - influem no comportamento térmico da edificação através de duas propriedades físicas: a capacidade de conduzir e de armazenar calor. Assim, se o envólucro da edificação constituir-se em um mau condutor de calor, haverá um amortecimento na transferência de calor do espaço exterior para o interior, o que auxiliará a manutenção das condições de conforto. O mesmo benefício obtém-se com a capacidade de armazenar calor, importante tanto no inverno quanto no verão, principalmente em climas secos.

h) Efeito Chaminé - ocorre quando a diferença de temperatura externa e interna é aproveitada para induzir a

movimentação do ar interior, provocando uma ventilação natural. No verão, a manipulação de aberturas na parte superior (ver figura 1.7) permite a saída do ar quente.

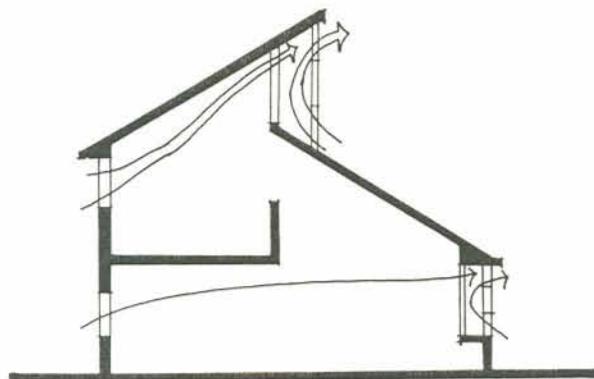


FIGURA 1.7 - Efeito chaminé de indução de ventilação.

Fonte: SHAVIV, 1984.

1.4 - APLICAÇÕES NA EXECUÇÃO DE OBRAS

A climatologia encontra aplicação direta em inúmeros aspectos da indústria da construção civil, fato este comprovado pela tabela 1.6.

Destacando-se usualmente como um dos maiores empreendimentos em qualquer país, decisões em termos de planejamento, projeto e métodos construtivos freqüentemente requerem informação acurada sobre as previsões do tempo e condições climáticas locais. (LACY, 1979)

Em termos mundiais, essa afirmação é comprovada através das informações especializadas dos profissionais do serviço meteorológico inglês (THE METEOROLOGICAL OFFICE, 1985). Assim, garantem que a indústria da construção civil pode economizar milhões de libras a cada ano com a redução dos custos de materiais, mão-de-obra e equipamentos, aumentando a segurança do canteiro de obras, aperfeiçoando projetos e poupando energia.

TABELA 1.6 - Dados climatológicos úteis na execução de obras.

	Quantidade de luz natural disponível	Precipitações (efeitos sobre os trabalhadores)	Efeitos térmicos sobre os trabalhadores	Riscos de acidentes	Inundação do canteiro	Estado do solo (umidade)	Estado do solo (neve e gelo)	Circulação no canteiro de obras e arredores	Funcionamento de guindastes	Períodos frios (abaixo de 0°C)	Períodos quentes (acima de 30°C)	Períodos secos	Molhagem excessiva do concreto	Fissuramento por retração do concreto
Irradiância solar direta sobre sup. horiz.			•			•								
Irradiância solar difusa sobre sup. horiz.			•											
Luminância direta sobre uma sup. horiz.														
Luminância difusa sobre uma sup. horiz.	•													
Período de insolação														
Trajectoria solar	•													
Radiação ultra-violeta total sobre sup. horiz.														
Temperatura radiante equivalente do céu														
Temp. do ar à altura normalizada (1m do solo)		•	•	•						•	•	•		•
Temperatura do ar a diferentes alturas														
Temperatura do solo						•				•	•			
Umidade do ar			•	•										•
Nevoeiro (visibilidade a 50 e 200m)								•						
Nuvens baixas (por ex.: 100m do solo)														
Teor de poluição do ar														
Velocidade do vento (10m do solo)		•	•	•					•	•	•	•		•
Direção do vento (10m do solo)									•					
Variação vertical da velocidade do vento									•					
Quantidade de chuva						•						•	•	
Intensidade de chuva		•	•	•										
Duração de chuvas		•												
Quantidade de neve							•	•						
Evaporação						•								

Fonte: LACY, 1972.

Os dados podem ser utilizados nos mais diferentes estágios da obra, como a média esperada de horas de trabalho em pintura externa perdidas pela ocorrência de chuvas em cada mês (figura 1.8) ou em justificativas de atraso de prazos em obra (figura 1.9).

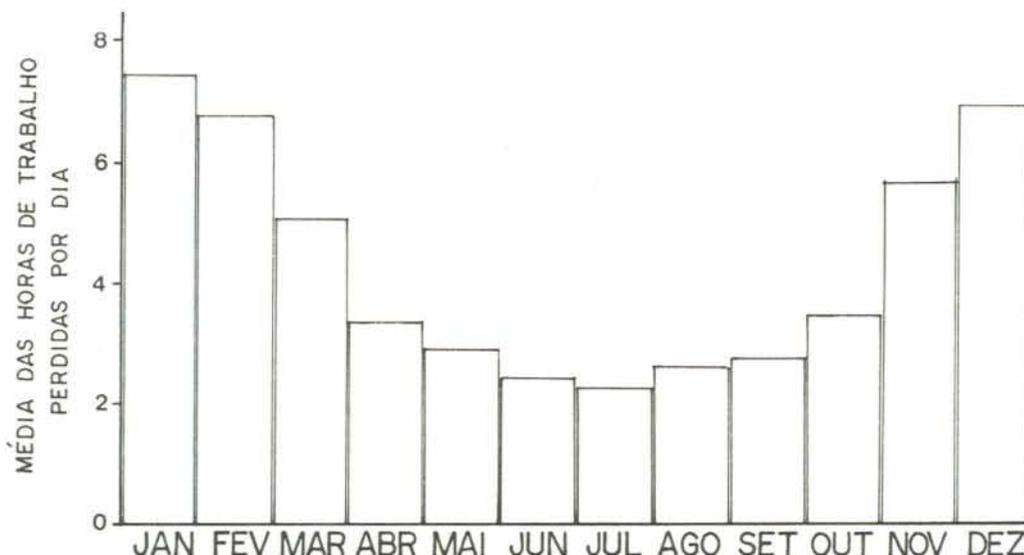
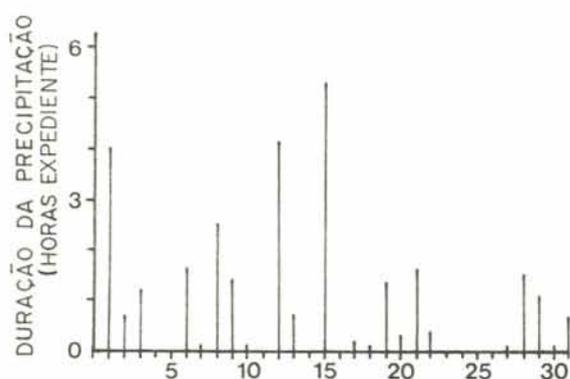
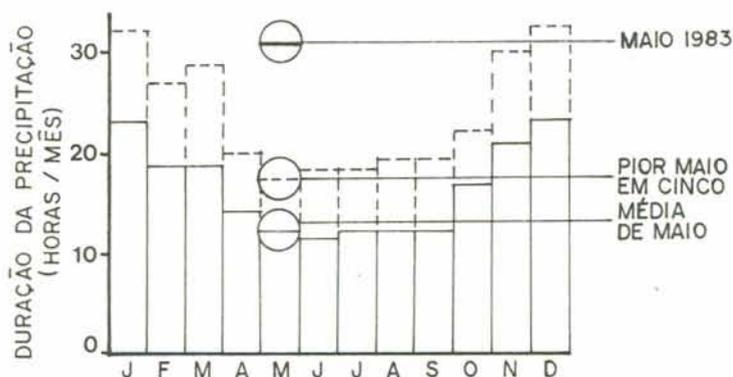


FIGURA 1.8 - Condições adversas do tempo para pintura externa em Birmingham (Inglaterra), computando-se a ocorrência de baixas temperaturas, alta umidade e/ou precipitação.
Fonte: THE METEOROLOGICAL OFFICE, 1985.



DIAS DE MAIO DE 1983



Obs: Comprova-se que as 30.5h de chuva ocorridas em maio de 1983 não são apenas superiores à média estatística (12h), mas também superam a ocorrência de chuvas no pior mês de maio em cinco anos (aprox. 18h), podendo, assim, ser o atraso da obra atribuído a causas não previsíveis, sendo justificado perante o cliente.

Figura 1.9 - Comprovação da precipitação como sendo a causa real do atraso verificado em obra do leste inglês em maio de 1983.

Fonte: THE METEOROLOGICAL OFFICE, 1985.

Outra interessante aplicação climatológica na construção é a relação entre a produtividade da mão-de-obra e as condições do tempo. Com este objetivo, um estudo foi feito examinando-se a influência da temperatura e umidade sobre a produtividade, riscos para a saúde, medidas preventivas possíveis e aclimatação dos trabalhadores a condições ambientais adversas (KOEHN e BROWN, 1985). Dentro da mesma linha, pode-se citar o estudo de GRIMM e WAGNER (1974), no qual é analisada especificamente a produtividade na execução de alvenarias.

Partindo-se destes poucos exemplos ilustrativos, pode-se avaliar a amplitude do leque de possibilidades de pesquisa neste campo da construção.

1.5 - APLICAÇÕES NA MANUTENÇÃO E USO DAS CONSTRUÇÕES

Dentre os aspectos relacionados à manutenção e uso de edificações que se encontram diretamente dependentes das condições climáticas locais (ver tabela 1.7), dois são merecedores de maior atenção: os gastos de energia necessários durante o funcionamento do sistema construído como um todo (abordado no sub-capítulo 2.2) e a durabilidade dos materiais de construção, tanto do ponto de vista do seu desempenho funcional, quanto do da conservação de sua aparência externa.

A severidade do clima é citada por KEEBLE (1986), como sendo o fator de maior influência na taxa de degradação de vários tipos de materiais de construção, salientando que o estudo da degradação destes materiais sob a ação do intemperismo e os modos de limitá-la é um dos mais antigos ramos da ciência dos materiais. A extensão deste conhecimento é coberta por:

1- Processos ou mecanismos envolvidos na degradação dos materiais de construção;

2- Qualidades ou propriedades requeridas para uma longa durabilidade, quando as condições de exposição são conhecidas;

3- Modos de encorajar projetistas a oferecerem alguma medida de proteção a materiais vulneráveis contra a ação direta do intemperismo ou efeitos secundários como a condensação.

TABELA 1.7 - Dados climatológicos úteis na Manutenção e Uso de edificações.

	Efeitos de congelamento	Fotodegradação	Movimentação térmica	Migração de umidade	Corrosão de metais	Condensação e formação de mofo e/ou bolor	Despesas com calefação	Despesas com refrigeração	Despesas com iluminação	Comprometimento da aparência externa
Irradiância solar direta sobre sup. horiz.			•				•	•		
Irradiância solar difusa sobre sup. horiz.			•				•	•		
Luminância direta sobre uma sup. horiz.										
Luminância difusa sobre uma sup. horiz.									•	
Período de insolação									•	
Trajectoria solar										
Radiação ultra-violeta total sobre sup. horiz.		•								
Temperatura radiante equivalente do céu							•	•		
Temp. do ar à altura normalizada (1m do solo)	•		•	•		•	•	•		
Temperatura do ar a diferentes alturas										
Temperatura do solo										
Umidade do ar				•	•	•		•		
Nevoeiro (visibilidade a 50 e 200m)										
Nuvens baixas (por ex.: 100m do solo)										
Teor de poluição do ar					•					
Velocidade do vento (10m do solo)			•	•		•	•	•		
Direção do vento (10m do solo)										
Variação vertical da velocidade do vento										
Quantidade de chuva	•		•							
Intensidade de chuva										•
Duração de chuvas										
Quantidade de neve										
Evaporação										•

Fonte: LACY, 1972.

A pesquisa neste campo pode ser enfocada sob o prisma macroclimático ou do ponto de vista da exposição ao microclima, que determina formas de proteção contra alguns agentes degradadores presentes por características locais ou adjacentes ao prédio ou, ainda, através de cuidados de projeto.

KEEBLE (1986) inclui as seguintes facetas na relação entre clima e degradação de materiais:

- a vulnerabilidade de alguns materiais a ações climáticas cíclicas;
- a influência da seqüência de eventos climáticos, assim como sua amplitude e freqüência;
- a relação não-linear entre ações climáticas e várias formas de degradação;
- a necessidade de considerar os efeitos climáticos no estágio de produção (cura do concreto, compactação do asfalto), pois podem encurtar a vida útil;
- as variações de comportamento de alguns materiais quando usados em diferentes regiões do mundo;
- o papel dos dados e probabilidades climáticas na previsão da vida útil de edificações e materiais;
- a correlação entre estudos de degradação induzida climaticamente e métodos para ensaios acelerados de degradação por intemperismo.

Neste contexto, uma das prioridades é o exame das condições climáticas responsáveis pela deterioração. Assim, os elementos climáticos mais significativos são: umidade, temperatura, radiação solar e ventos marítimos. Em algumas regiões, tempestades de areia ou poeira e a poluição atmosférica de áreas industriais podem afetar a durabilidade dos materiais de construção. A tabela 1.8 sintetiza a atuação dos principais elementos climáticos sobre a durabilidade dos materiais, enquanto a tabela 1.9 descreve o comportamento frente às intempéries dos materiais mais utilizados na indústria da construção civil. (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1980)

TABELA 1.8 - Efeitos degradadores dos principais elementos climáticos sobre os materiais de construção.

ELEMENTO	EFEITOS DEGRADADORES
UMIDADE	<ul style="list-style-type: none"> - Em áreas de alta concentração de umidade, alguns materiais podem reter umidade suficiente para causar efeitos deletérios; - Zonas áridas podem causar desidratação de materiais, alterando propriedades físicas e/ou químicas; - Concentrações ideais encorajam o ataque de fungos e insetos em materiais orgânicos e a corrosão de metais, além de prejudicar as propriedades térmicas de materiais porosos; - Atmosferas secas podem resultar na secagem prematura de manufaturados de cimento, prejudicando sua cura.
TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none"> - Variações de temperatura podem causar mudanças reversíveis em propriedades físicas, tais como dureza, rigidez e resistência, ou mudanças permanentes, resultado da degradação química; - Muitas reações químicas se aceleram com o aumento da temperatura, exemplificando-se com as reações degradantes responsáveis pela ruptura de chapas plásticas, que iniciam sob a ação da radiação ultravioleta, mas cuja taxa de deterioração é largamente dependente da temperatura; - Variações de temperatura também causam variações dimensionais, responsáveis por fissuras, empenamentos ou quebra de componentes.
RADIAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - A radiação ultravioleta compreende, no espectro solar, desde os comprimentos de onda mais curtos até a luz visível (entre 400nm e 40nm). A maior parte dessa emissão solar é absorvida pela atmosfera, mas quanto menos nuvens ou poluição houver, e quanto mais curto for o percurso dos raios solares através da atmosfera, mais alto será o conteúdo ultravioleta da radiação que alcança a superfície terrestre; - Os materiais de construção orgânicos (madeira) são compostos principalmente por moléculas alongadas mantidas juntas por forças secundárias e, muitas vezes, por ligações químicas cruzadas. A energia requerida para romper ligações primárias (mais fortes), deslocando moléculas individuais, é calculada como sendo da mesma ordem da radiação ultravioleta, o que faz tais materiais serem os mais vulneráveis à degradação em atmosferas sem nuvens, livres de poluição, a grandes altitudes e nas horas próximas do meio-dia.
VENTOS	<ul style="list-style-type: none"> - Fortes ventos podem causar a deterioração, pela colisão de chuva, sal, areia ou pó sobre superfícies expostas. A degradação de revestimentos costuma ser mais severa nas fachadas de edifícios que suportam o impacto de tempestades.

O somatório de dois ou mais elementos climáticos resulta em ação combinada, quase sempre acelerando a degradação

por um efeito sinérgico. Por exemplo: a radiação ultravioleta pode romper cadeias poliméricas, produzindo materiais de baixo peso molecular, solúveis em água da chuva; materiais que sofreram radiação oxidam mais prontamente que os não expostos; alguns plásticos amolecidos pelo calor podem ser mais facilmente erodidos por tempestades de areia; rupturas pelo ozônio ocorrem mais rapidamente se o material está sob tensão mecânica imposta, talvez, por mudança dimensional causada por variação de temperatura, etc..

TABELA 1.9 - Comportamento frente ao intemperismo dos principais materiais de construção.

MATERIAL	COMPORTAMENTO FRENTE AO INTEMPERISMO
CONCRETO	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentos térmicos e por variações de umidade podem traduzir-se em fissuras no concreto ou em partes adjacentes à estrutura; - Cuidados devem ser tomados para garantir sua cura, evitando a evaporação excessiva; - Em zonas quentes e secas, é comum o ataque químico de concretos em contato com o solo, já que a escassez de chuva e altas taxas de evaporação propiciam constante migração de soluções salinas do fundo para a superfície do solo. Umidade suficiente para a reação sempre haverá, destacando-se os sulfatos como particularmente perigosos, devido à sua ação desagregadora, formando etringita que, sendo expansiva, provoca tensões internas no concreto.
METAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Principalmente vulneráveis à corrosão, favorecida por condições de alta umidade, que retarda a evaporação da chuva e permite formação de condensação, mesmo em superfícies não expostas. Este fato é agravado por estarem os metais freqüentemente inacessíveis à inspeção em suas aplicações construtivas; - Taxas de corrosão são fortemente intensificadas pela presença de sais, alta temperatura e umidade presentes, por exemplo, em ambientes tropicais marítimos; - Os agentes corrosivos mais comuns são oxigênio, umidade e cloretos, além do dióxido sulfúrico entre os gases industriais e a amônia, que ataca o cobre e o latão.

continua

continuação tabela 1.9

PLÁSTICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Os vários tipos de materiais plásticos úteis à construção civil, conservam uma característica comum entre si, que é seu fraco desempenho frente às intempéries, dependente de sua estrutura baseada no carbono. O processo de degradação sempre inicia com a ação da radiação ultravioleta, sendo posteriormente acelerado por altas temperaturas, chegando a ser 3 ou 4 vezes mais intenso em regiões tropicais despoluídas do que em temperadas e industriais; - Geralmente menos suscetíveis ao ataque biológico do que compostos orgânicos, os plásticos não estão livres, porém, da ação de térmitas e roedores.
REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Pinturas, mesmo sendo materiais poliméricos em forma de emulsão, não se comportam exatamente como plásticos, já que seu desempenho é dependente do material da base sobre a qual foi aplicado; - Estão sujeitos à ação química da radiação solar à ação mecânica da chuva, ao fissuramento e descolamento da película e ao desbotamento dos pigmentos.
ASFALTO E MATERIAIS BETUMINOSOS	<ul style="list-style-type: none"> - Em áreas expostas, as propriedades viscoelásticas de materiais betuminosos são seriamente afetadas por ciclos de molhagem e secagem, além do amolecimento e formação de bolhas causados pelo calor; - Novamente observa-se a ação de radiação ultravioleta, com formação de material solúvel lixiviável pela chuva; - Mantas asfálticas podem apodrecer sob ação de mofo ou ser atacadas por térmitas.
BORRACHA	<ul style="list-style-type: none"> - A borracha natural tem uso limitado em edificações tropicais pois, exposta à radiação solar, sofre rápida oxidação superficial e conseqüente fissuramento; - O ozônio é muito destrutivo, causando endurecimento e quebra da estrutura da borracha; - Borrachas sintéticas são geralmente menos propensas à oxidação e mais usadas em vedações e juntas.
MADEIRA	<ul style="list-style-type: none"> - Sujeita a fendilhamento e empenamento por variações de umidade, requer correto tratamento de secagem; - Preocupante é sua suscetibilidade ao apodrecimento por exposição cíclica a condições de molhagem e secagem, e ao ataque de insetos, incentivado por ambientes climáticos propícios.

CAPÍTULO 2

A ABORDAGEM BIOCLIMÁTICA DO PROJETO

2.1 - HISTÓRICO

A adequação climática do projeto de edificações faz parte da história da humanidade, onde encontra expressivo paralelo na fala de Isomakus, o personagem arquiteto dos Diálogos Socráticos, que define uma casa confortável como sendo aquela orientada para o sul (equador) e protegida com marquise, de modo a garantir insolação no inverno e sombreamento no verão. No primeiro século antes de Cristo, a obviedade da conformação entre projetos residenciais e a diversidade do clima foi textualmente reconhecida por Vitruvio, o famoso arquiteto do império romano, que recomendava a observação dos climas nos diferentes países onde deveriam construir, visando o correto projetar. Cidades das épocas dos gregos e dos romanos foram dotadas de estrutura urbanística tal, que tornava acessível o condicionamento natural de suas habitações. O direito ao sol foi inclusive assegurado por lei no Código Justiniano do séc. VI, aplicado ao Heliocaminus, um tipo de residência aquecida pelo sol. (CORBELLA, 1983)

Pode-se analisar a arquitetura nativa de um povo, perfeitamente sintonizada aos apelos culturais de sua época e às exigências climáticas do sítio, através de uma visão que enfoque a evolução do uso da energia na arquitetura (MASCARÓ, L. 1983). Desse modo, se a disponibilidade de energia é restrita, o que ainda ocorre em climas extremos como nos pólos, regiões desérticas e equatoriais úmidas, o homem otimiza seu uso com a máxima aplicação dos recursos disponíveis, resultando numa

arquitetura de síntese, sem desperdício dos recursos naturais orgânicos empregados.

A medida em que se foi diminuindo essa escassez de energia disponível, com o avanço tecnológico característico do séc. XX, principalmente nos grandes centros urbanos, já era de se esperar uma mudança nas teorias arquitetônicas vigentes.

De fato, o que se observa é a concomitância de significativos acontecimentos históricos. De um lado, a indústria do vidro, depois de atender à premente demanda das cidades arrasadas do período pós guerra, passa também a ser solicitada por uma nova possibilidade aberta por inédita concepção estrutural: uma vez concluído o arcabouço de sustentação do prédio, a fachada encontra-se, pela primeira vez, livre de qualquer comprometimento estrutural, não se obrigando mais à ostentação de vãos de abertura, mas podendo se transformar em transparente divisor virtual entre o agradável aconchego do interior e a intempérie exterior, podendo ser castigada ora pelo sol escaldante, ora por acúmulos de neve. Por outro lado, de forma a garantir a manutenção deste contraste interno/externo, efetivando o domínio humano sobre a natureza inclemente, intensificou-se indiscriminadamente o uso industrial, comercial e residencial de equipamentos condicionadores de ar. (COSTA, 1983)

2.2 - O CONSUMO E A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A produção de energia é freqüentemente um processo que, por si só, agride e polui o meio ambiente. Mesmo o aproveitamento suplementar de energia solar ou eólica, apresentando grande vantagem por constituírem-se em recursos energéticos renováveis (sem ônus ambiental direto), implica na fabricação e manutenção de maquinário específico. Portanto, não parece coerente separarem-se os benefícios econômicos, advindos da conservação de energia, dos benefícios ecológicos daí resultantes. Não obstante, de acordo com o grau de consciência ecológica alcançado pela comunidade alvo, o argumento econômico parece surtir efeitos mais imediatos e duradouros.

O compromisso do setor da construção civil para com a conservação energética deve ser encarado com muita seriedade, considerando-se que as edificações brasileiras, em todas as atividades (residencial, industrial, comercial e de serviços), tanto na área pública quanto privada, registram índices crescentes de consumo. Atualmente, são responsáveis pelo uso de 39% da energia gerada no país, sem que isto signifique melhorias nas condições de conforto ambiental. (CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 1991)

Estudos realizados no setor mostram que, separando-se a fase de produção da fase de uso das edificações, nota-se que, na primeira, o consumo energético é baixo, apresentando como único item significativo a fabricação de alguns de seus materiais (ver tabela 2.1). Como exemplo, pode-se citar o fato de que a produção de uma residência, com área igual a 100 m², equivale energeticamente ao que um automóvel consome num período de 2 anos. O período de utilização dos edifícios, por ser muito mais longo, apresenta consumo de energia bem mais elevado. Assim, as habitações podem consumir, durante sua vida útil, cerca de 50% mais energia do que o gasto em sua produção, o que não chega a ser notório, se comparado ao caso crítico dos edifícios de escritórios providos de fachadas de vidro e climatizados artificialmente, onde essa taxa média salta para 23 vezes o consumo energético de sua produção. A figura 2.1 mostra o quanto esse quadro crítico poderia ser amenizado com simples medidas de proteção. (MASCARÓ, J. 1985)

TABELA 2.1 - Consumo energético total (direto e indireto) incluído no processo de construção de 1 m² de edifício habitacional padrão.

Etapa do Processo Produtivo	Consumo de energia (kWh/m ²)	Porcentagem
Fabricação dos materiais	811.8	96.41
Transporte dos materiais à obra	11.6	1.38
Escavações e Terraplenagem	8.1	0.57
Elevação e Colocação dos materiais	10.5	1.24
Total	842.0	100.00

Obs: Dados originais fornecidos em kcal/m².
Fonte: MASCARÓ, J. 1985.

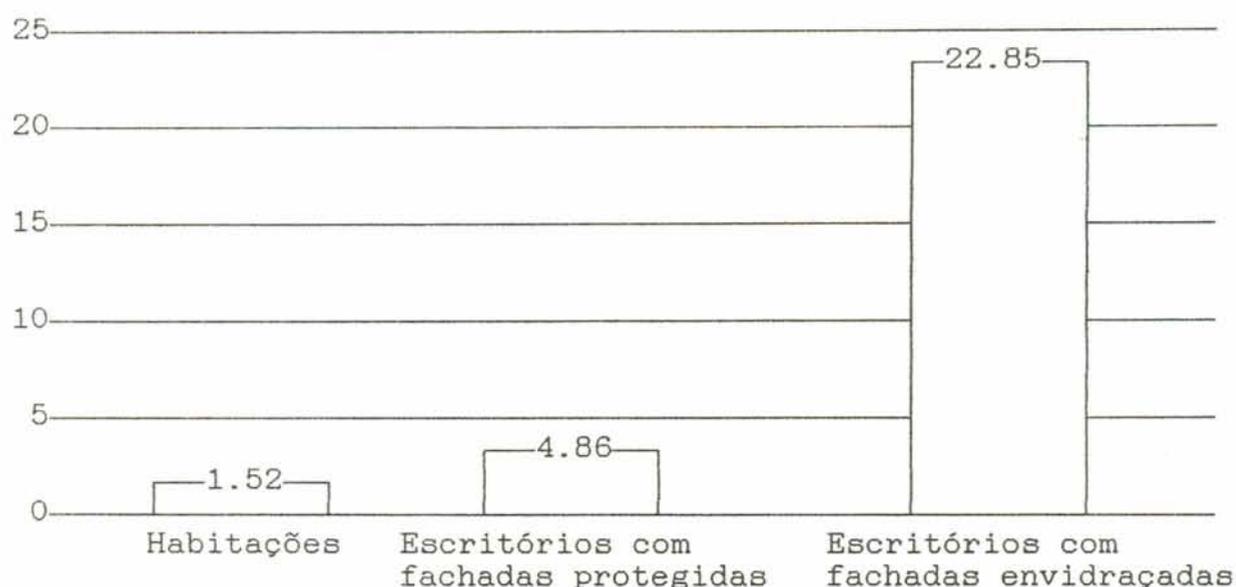


FIGURA 2.1 - Proporção entre a quantidade de energia consumida durante a utilização dos edifícios (sua vida útil) e a consumida na sua produção (direta e indireta).
Fonte: MASCARÓ, J. 1985.

A situação se agrava ao constatar-se que melhorias no setor da construção civil são dependentes de programas a longo prazo, com economias substanciais a serem registradas somente quando já estiverem quase totalmente implementados. Isto se deve à necessidade de se despendar longo tempo na substituição dos edifícios (mais de um século na substituição total em qualquer país), o que torna a melhoria em estruturas já existentes tão importante quanto o projetar, visando o aumento da eficiência de novas estruturas. Outra peculiaridade do setor é que o interesse do construtor do edifício está voltado mais para o menor custo inicial, de construção, do que para o menor custo total, de manutenção e uso, incluindo-se aqui o custo energético de se aquecer, refrigerar e iluminar o edifício. (WILSON, 1978)

Esboçada a gravidade e complexidade da situação, torna-se oportuno citar as três medidas básicas, recomendadas em relatório de pesquisa que procura priorizar as ações no setor: (MASCARÓ, J. et al. 1983)

a) Estabelecimento de legislação adequada para a obtenção de maior aproveitamento das condições favoráveis do clima das cidades, bem como para evitar as desfavoráveis;

b) Reformulação dos currículos de cursos de arquitetura e engenharia civil, visando formar técnicos em condições de criar, promover e aplicar uma estrutura projetual menos depredadora de energia nos edifícios;

c) Conscientização da população e autoridades para a necessidade de um melhor emprego da energia produzida no país.

Muito pode ser aprendido com a experiência de países como a Suécia, por exemplo, cujo clima exigia que, no início dos anos 80, cerca de 40% da energia total consumida fosse exclusivamente utilizada para suprir a necessidade de calefação em edificações. O processo de reversão deste quadro foi então iniciado através de uma severa política energética que investiu massivamente em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e edificações experimentais (OLOFSDOTTER, 1982). Desse modo, o Conselho Sueco para Pesquisas em Construção ficou responsável, dentro do programa nacional de pesquisa energética, pela parte que lida com a energia utilizada no ambiente construído, respondendo pelas medidas de conservação e administração da energia em edificações novas e existentes. (ENERGY 85, 1985)

A preocupação com a eficiência de campanhas de conservação e gerenciamento de energia é, inclusive, tema de estudo que se propõe a criar um modelo de motivação de conservação energética, baseado em fundamentos comportamentalistas e num condicionamento operacional. (JEDLICKA, 1985)

Os resultados desapontadores de certas políticas e programas voltados para o aumento da eficiência energética em edificações nos EUA, têm estimulado a identificação de aspectos comportamentais, que possam explicar as desagradáveis surpresas advindas com a implantação de quatro tipos de intervenções políticas: informação, incentivos, normalização, e pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Portanto, não é recomendável que se ignore a dimensão humana da eficiência energética de edifícios, presente principalmente na necessidade de conhecimento dos processos de escolha entre consumidores,

fabricantes, construtores e outros importantes agentes atuantes neste cenário. (STERN, 1987)

Este conceito pode ser melhor explorado através da análise da tomada de decisão energética, feita em estudo abrangendo 60 residências na Califórnia, revelando aparente anomalia nas estratégias empregadas pelos usuários. Enquanto poucos aproveitaram as vantagens de medidas simples, de baixo custo e alto potencial econômico, muitos gastaram milhares de dólares em outros investimentos mais caros e de longa amortização de custos. Somente através de um modelo etnográfico, que incorpore aspectos sócio-culturais e psicológicos, este quadro torna-se mais compreensivo. O modelo de racionalidade estritamente econômico é, pois, inadequado para explicar o comportamento do consumidor frente à conservação de energia, devendo tal noção ser expandida para incorporar aspectos não-econômicos, sob pena de resultar em sérias consequências para o mercado de produtos e programas poupadores de energia. (WILK e WILHITE, 1985)

De qualquer forma, já está provado o potencial do benefício econômico que uma bem sucedida série de pesquisas em conservação de energia pode acarretar para a sociedade. Na verdade, logram ser tão importantes quanto inovadoras tecnologias de suprimento energético, como pode ser deduzido da tabela 2.2, onde estimativas mostram que, somente no setor de edificações, os EUA poderiam poupar 900 bilhões de dólares na última década deste século, como resultado de medidas de conservação de energia adotadas. (PINE e OLSZEWSKI, 1985)

TABELA 2.2 - Potencial econômico dos benefícios advindos de pesquisas em conservação energética.

Montante do potencial monetário (em bilhões de dólares de 1980) capaz de ser poupado pelos EUA como resultado de pesquisas e desenvolvimento da conservação energética, em medidas a serem implementadas entre 1991 e o ano 2000, em três setores produtivos.

Setor	Recursos a serem poupados (bilhões de dólares, 1980)
Construção	900
Transportes	500
Indústria	200
Total	1600

Fonte: PINE e OLSZEWSKI, 1985.

2.3 - O CONFORTO E A SAÚDE DO USUÁRIO

Outro tema relevante ligado à importância de se promoverem projetos climaticamente bem resolvidos, é a questão dos prejuízos acarretados à saúde dos usuários de ambientes construídos. O primeiro nível de abordagem ao assunto trata das seqüelas produzidas pelo desconforto ambiental, tais como mal-estares, doenças, baixa produtividade e acidentes de trabalho decorrentes da falta de concentração e desânimo. Há algum tempo estes desconfortos podem ser amenizados através do uso de climatização artificial, corrigindo índices insalubres de temperatura, umidade, ventilação e iluminação. Entretanto, atualmente já se contabilizam outros sofrimentos creditados justamente ao uso intensivo e/ou indevido de sistemas mecânicos de controle ambiental.

Desde que o homem primitivo procurou abrigo nas cavernas sabe-se que o meio ambiente interior, além da proteção contra chuvas e ruídos, pode proporcionar um entorno mais constante e termicamente confortável se comparado com as condições exteriores.

Hoje em dia, estima-se que os habitantes de países industrializados despendem mais de 85% de suas vidas em ambientes construídos, o que vem instigando pesquisas na área da biometeorologia objetivando o suprimento de informações necessárias à obtenção de um melhor conforto nestes ambientes. Todavia, a lacuna existente entre o conhecimento já acumulado e a sua aplicação prática só pode ser preenchida com o reconhecimento da matéria por parte de arquitetos e engenheiros. Assim, além dos parâmetros meteorológicos envolvidos no conforto térmico (temperatura, umidade e movimentação do ar ambiente, temperatura média radiante e fontes de radiação assimétrica), devem ser também consideradas as características pessoais que interferem na taxa metabólica dos usuários (como idade, sexo, peso e altura), dentre as quais destacam-se o grau de atividade física exercida e a capacidade isolante do vestuário utilizado pelo indivíduo no ambiente considerado. (HOPPE, 1988)

Com o intuito de se melhor entender a atuação do clima sobre o organismo humano, são a seguir suscintamente apresentados os processos e mecanismos envolvidos. A sensação de conforto térmico só é garantida para homens e mulheres com a manutenção de duas condições essenciais:

- a) Temperatura interna do corpo estável entre 36,5 e 37,5°C e temperaturas superficiais pouco inferiores nas extremidades (ver figura 2.2);
- b) Equilíbrio térmico, zerando-se o somatório entre as fontes de ganhos e de dissipação de calor no organismo, de modo a manter a temperatura ideal interna estável (ver figura 2.3).

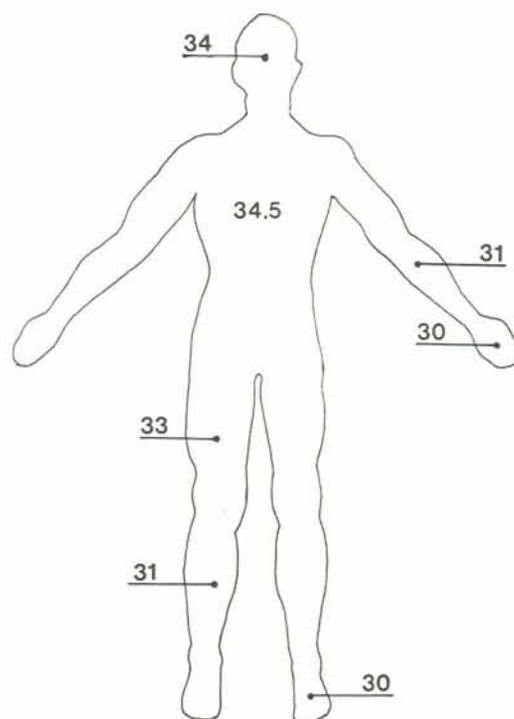
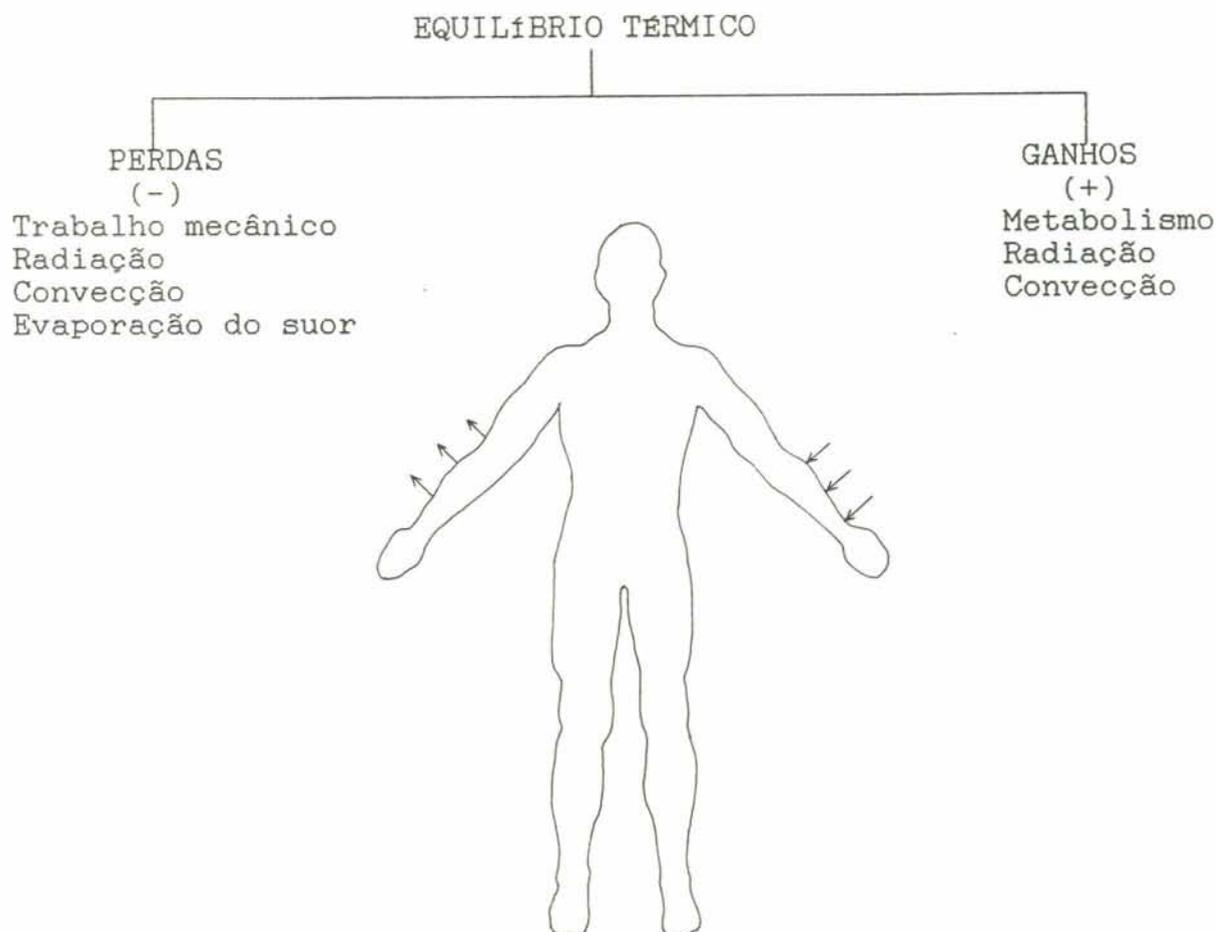


FIGURA 2.2 - Temperaturas superficiais preferenciais de conforto em diferentes regiões do corpo humano. (°C)

Fonte: SHAPIRO e EPSTEIN, 1984.



$$(\text{GANHOS TÉRMICOS}) - (\text{PERDAS TÉRMICAS}) = \text{CALOR ARMAZENADO}$$

FIGURA 2.3 - Equilíbrio térmico do corpo humano.
O calor interno armazenado é zerado quando as perdas térmicas se igualam aos ganhos de calor.
Fonte: SHAPIRO e EPSTEIN, 1984.

Para manter-se dentro destes estreitos limites, o corpo humano tem capacidade para controlar seu balanço térmico utilizando mecanismos de termoregulação, como o vasomotor, que regula o fluxo sanguíneo da pele, compensando pequenas variações de temperatura, ou através da transpiração e do tremor, ativados quando existe um saldo térmico acentuado, respectivamente, positivo ou negativo. Solicitado além desta capacidade, o organismo entra em colapso. (SHAPIRO e EPSTEIN, 1984)

As pesquisas nesta área podem, portanto, vir a facilitar a complexa tarefa do planejamento microclimático,

inclusive evitando-se aquecimentos ou resfriamentos de ambientes a níveis maiores do que os necessários. Assim, dispositivos requintados, como a confecção de manequins em tamanho natural, capazes de simular as diferentes temperaturas superficiais humanas, já podem superar as dificuldades da medição direta em indivíduos, substituindo-os em experiências e reproduzindo inclusive as posturas estratégicas adotadas pelos humanos em tentativas de reter perdas ou ganhos de calor. (WYON, 1982)

Os problemas de saúde decorrentes do uso de climatização artificial parecem estar diretamente ligados à paulatina diminuição das taxas de ventilação praticadas a partir do início da década de 70, em resposta ao aumento dos custos de energia. Concomitantemente, porém, observa-se um aumento geral da poluição do ar, com sensível aperfeiçoamento das técnicas de sua medição, acompanhado de um conhecimento mais apurado dos distúrbios de saúde que pode causar em ambientes construídos.

Tal constatação levou a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) a revisar sua posição frente ao assunto, recomendando alertas em códigos de obras sobre requisitos de ventilação mínima e maior incentivo a pesquisas adicionais. Na tabela 2.3 aparecem os efeitos sobre a saúde e descrição de um grupo de poluentes que mereceram o destaque do órgão. (RESEARCH, 1988)

A documentação sobre as disfunções de conforto, bem-estar e saúde, registradas em edificações equipadas com ar condicionado, é relativamente ampla. Algumas pesquisas, no entanto, destacam-se por perseguir um maior conhecimento acerca da estrutura quantitativa e qualitativa destas disfunções e suas possíveis causas. É o caso, por exemplo, de dois estudos realizados na Universidade de Munique, cuja descrição e resultados são brevemente apresentados a seguir, por parecerem de alta significância. (KROELING, 1988)

TABELA 2.3 - Identificação de poluentes do ar, conforme relatório da ASHRAE sobre a qualidade do ar interno a ambientes construídos ("Indoor Air Quality").

POLUENTE	DESCRIÇÃO / EFEITO SOBRE A SAÚDE
Formaldeído	Emitido na forma de gás, por numerosos materiais de construção, pode causar irritação e produzir odor. Estudos recentes indicam que é cancerígeno em animais.
Radon	Gás produzido pela decomposição radioativa do elemento rádio. A inalação do ar contaminado por radon aumenta o risco de ocorrência de câncer no pulmão.
Fibras de Asbesto	Sua inalação pode causar mesotelioma e câncer no pulmão após vários anos de latência. Não produzem qualquer sintoma notável de imediato, a menos que a concentração de fibras seja muito alta.
Monóxido de Carbono	Gás inodoro que se combina com a hemoglobina no sangue e interfere no suprimento de oxigênio dos tecidos do organismo.
Dióxido Sulfúrico	Irritante, pode agravar problemas respiratórios. É produzido em ambientes internos, quando combustíveis são queimados em aquecedores com ventilação deficiente ou ausente.
Dióxido de Nitrogênio	Produzido em qualquer combustão a altas temperaturas, é um irritante das vias respiratórias capaz de interferir na auto-defesa do organismo contra infecções respiratórias.
Ozônio	Odorífero e irritante, pode causar aguda agonia respiratória. Está presente na atmosfera mas também pode ser produzido em ambientes interiores.
Fumaça de Tabaco	Consiste de matéria particularmente fina e misturas de vapores químicos. A hipersensibilidade à fumaça de tabaco é muito comum, freqüentemente resultando em irritação dos olhos e sistema respiratório.

Fonte: RESEARCH, 1988.

O primeiro estudo (A), compõe-se de um levantamento das queixas de saúde mais freqüentes entre 8000 alemães em seus ambientes de trabalho, além de questões sobre conforto e outros problemas com o entorno. O estudo B compreende a comparação de 47 parâmetros, avaliados por um público aproximado de 3000 usuários de escolas e prédios da administração pública com e sem ar condicionado, com monitoramento simultâneo das condições ambientais.

Através dos resultados do estudo A, estima-se que cerca de 2,5 milhões de pessoas trabalham em ambientes artificialmente climatizados na Alemanha e que, quando comparadas as respostas obtidas em grupo exposto à climatização natural, apresentam reclamações mais freqüentes do tipo: tendência a resfriados (+14.6%), membranas de mucosas secas (+13%), reumatismo (+7.5%), dores de cabeça (+5%), fadiga (+5%), irritabilidade (+4.1%) e entorpecimento (+3.3%); além de serem mais afetadas por: falta de ventilação natural (+24.4%), correntes de ar (+12.8%), ar seco (+12.1%), mudanças de temperatura (+11.3%) e ar viciado ou abafamento (+4.8%).

Como no anterior, o estudo B obteve apreciações consideravelmente piores por parte de pessoas expostas rotineiramente ao ar condicionado, podendo isolar, quantificar e hipoteticamente relacionar grupos de manifestações típicas a certas condições como: aumento da velocidade e turbulência do ar, reações de "stress" a ruídos de baixa frequência (10-100 Hz), distúrbios de origem térmica, reações alérgicas a microorganismos e poeira, insuficiente qualidade do ar, deficiência no controle e regulação de sistemas de ar condicionado e construções de edifícios ineficazes.

Analisando um projeto típico de edifício tipo torre de escritórios, comum a grandes cidades, e dotado de sistema mecânico de controle ambiental, STERLING (1984) encontra várias características construtivas já previamente identificadas como precedentes a sérias reclamações quanto à saúde e conforto dos ocupantes de edifícios, como:

- incapacidade de exaustão total dos poluentes trazidos pela tomada inicial de ar fresco e daqueles gerados

dentro do próprio prédio, sendo disseminados pelo sistema mecânico de ventilação;

- o sistema de ar condicionado, ventilação e aquecimento ajuda na dispersão pelo edifício de poluentes irritantes e espalha fungos, bactérias e vírus, além de seus materiais isolantes se constituírem em grande fonte de filamentos;

- a luz ultravioleta das lâmpadas fluorescentes fornece energia que resulta em reações de oxidação entre poluentes, formando a base da contaminação fotoquímica do ar;

- a incapacidade do usuário em controlar e modificar a climatização artificial pré-estabelecida aumenta sua insatisfação;

- problemas no funcionamento da ventilação mecânica podem causar tomada de ar fortemente contaminado pelo tráfego urbano ou por automóveis em garagens, além de distribuição ineficiente, deixando espaços efetivamente ocupados sem qualquer ventilação, mesmo emergencial, já que o envólucro do edifício costuma ser estanque (lacrado).

Com isso, recomenda-se incisivamente o estabelecimento de estratégias de projeto que privilegiem a ventilação e iluminação naturais e minimizem a necessidade do controle térmico e de umidade do ar, deixando o quanto possível a decisão nas mãos do usuário de cada compartimento. (STERLING et al., 1984)

A extensão deste problema é ainda ampliada em países de climas severos, cuja população se vê obrigada a viver durante períodos prolongados exclusivamente em ambientes construídos. Este fato levou o órgão sueco responsável por pesquisas em construção a lançar uma campanha informativa e educativa específica sobre o tema "Edificação e Saúde", procurando alternativas para compatibilizar condições ambientais saudáveis e os programas governamentais de conservação de energia, que até então restringiam as taxas de ventilação. (SWEDISH..., 1990)

CAPÍTULO 3

DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES CLIMATOLÓGICAS

3.1 - A FORMAÇÃO PROFISSIONAL NA AREA

Uma vez aceita a necessidade da incorporação dos fatores climatológicos em todas as fases do planejamento e projeto de edificações, torna-se imperativa a satisfação das condições essenciais, que irão permitir essa contribuição vital ao incremento da qualidade de vida, que, segundo BITAN e ASSIF (1984), podem ser resumidas em:

- conhecimento prévio da matéria por parte dos projetistas e demais profissionais envolvidos;
- cooperação entre estes e os climatologistas;
- disponibilidade de informações e critérios adaptados à demanda específica de planejadores e arquitetos.

Para a realização da primeira condição é desejável, e até mesmo inevitável, que o fomento e divulgação de um conjunto de conhecimentos suficientemente abrangente comece a ser difundido em escolas e instituições profissionais, capacitando, assim, os futuros responsáveis técnicos a desenvolverem conhecimento e ferramentas de trabalho úteis, de modo a estarem bem equipados quando postos frente a frente a problemas reais. (BITAN & ASSIF, 1984)

Métodos de ensino no campo da climatologia aplicada à edificação já se constituem em preocupação há vários anos, podendo-se citar o colóquio do CIB ocorrido em Estocolmo em 1972 sobre o tema. A revisão dos artigos afins enviados, feita por DIETZ (1973), é bastante abrangente e ilustrativa, de onde foram levantados os seguintes pontos relevantes:

- apesar de diferirem em detalhes, os vários autores concordam com o princípio geral de que o ensino deve ser interdisciplinar e unitário, encarando o controle ambiental como parte integrante do amplo problema de projeto.

- o ponto de partida seria o conhecimento do comportamento fisiológico do homem e dos fatores (temperatura, radiação, umidade, pureza e movimentação do ar, iluminação e som, atuando separadamente e em conjunto), que pertencem ao controle físico do ambiente interior e que definem o conforto e promovem a atividade do usuário enquanto ser biológico ocupante da edificação.

- a pesquisa em um departamento de construção deveria ser dirigida, inicialmente, para a completa assimilação e entendimento do conhecimento disponível, para só então dedicar-se a inovações no setor.

- uma grande dificuldade no ensino da matéria é apontada como sendo a de comunicar a relevância humana das decisões de projeto, o que é particularmente verdadeiro quando as decisões são baseadas em cálculos de engenharia, difíceis por si só, e de questionável significância para a aceção humana.

- objetivando corrigir as divergências de visão existentes entre geógrafos ou meteorologistas, que se esforçam em esclarecer fenômenos, e arquitetos, que se ocupam da utilização e correção destes fenômenos no que tange à edificação, sugere-se a reunião destes profissionais com o grupo de estudantes para o estudo de problemas como a insuficiente adaptação ao microclima, excessivos ganhos solares e isolamento, efeitos da mudança de ventos, etc., com o intuito de levantar problemas de projeto, métodos de controle e preencher lacunas de conhecimento.

- deve-se propagar entre os estudantes a noção de que os problemas climáticos não são apenas significantes para o ato de edificar; eles são o próprio motivo da edificação, dentro da concepção de que a arquitetura, em primeira instância, funciona como abrigo das atividades humanas ao intemperismo. Assim, o

envólucro edificado é composto por "filtros" selecionados pelo projetista, que considera: a) a natureza da predominância e freqüência das condições climáticas extremas, b) as condições internas desejáveis, c) as características de comportamento de tudo que reage às condições climáticas, como materiais de fachada e construções mistas.

- uma advertência final é colocada: se a linguagem não for simples e a matemática mínima, as chances de sucesso serão pequenas...

Apesar do aparente consenso em relação à necessidade do ensino do impacto climático sobre as edificações, na prática encontra-se uma certa resistência ao estabelecimento de currículos adaptados à matéria. Pela visível semelhança com a realidade dos cursos de arquitetura brasileiros, são enumerados a seguir os vários fatores observados por WARSHAW (1984) onde se fundamentaria o preconceito citado:

1. relutância em admitir que nós, como arquitetos, temos agido irracionalmente e ignorado estas considerações óbvias de projeto durante anos. Exemplos são dados pela falta de regionalismo no estilo internacional, pelo ilimitado uso do vidro (desconsiderando-se a orientação), e pela ênfase num exibicionismo técnico e formal.

2. um sentimento de que mais esta ênfase representaria uma ameaça a outras "prioridades" no atelier e na estrutura do curso, competindo por espaço num programa já sobrecarregado.

3. uma percepção do projeto bioclimático como sendo racional ao extremo e, portanto, estando em oposição a qualquer formalismo, humanismo, ou mesmo intuição e talento do projetista.

4. compreensível, e às vezes bem fundado, ceticismo acerca da confiabilidade de métodos e dados disponíveis.

5. falta de conhecimento e interesse por parte de professores.

Na mesma referência, o autor contribui com uma sugestão de currículo baseada em sua experiência letiva na

Universidade de Montreal (Canadá) e na Academia Bezalel (Israel), do qual é aqui reproduzida uma sùmula: (WARSHAW, 1984)

SUGESTÃO DE PROGRAMA CURRICULAR EM CURSOS UNIVERSITÁRIOS, DIRIGIDOS PARA O IMPACTO DO CLIMA SOBRE O AMBIENTE CONSTRUÍDO:

PRIMEIRO NÍVEL - cursos introdutórios

- * Ecologia
- @* Bioclima
- @ Fenômenos e dados climáticos

Cursos aplicativos - impacto climático

- * Análise do sítio - controle ambiental paisagístico
- @* Serviços e conforto em edificações
- @* Controle ambiental em edificações

SEGUNDO NÍVEL - laboratório e seminários

- @ Instrumentação e Metodologia de medições - análise de projetos e simulação bioclimática

Energia

- @ Estratégias e métodos de conservação energética
- @ Projeto solar - água quente e calefação ambiental
- * Ventilação e refrigeração
- * Iluminação natural

ATELIER - ênfase em bioclima

- * Projeto paisagístico e análise de sítios
- @* Projeto e energia
- @* Projeto bioclimático
- @ Desenvolvimento de protótipos

ESTUDOS AVANÇADOS E PÓS-GRADUAÇÃO - pesquisa e projeto

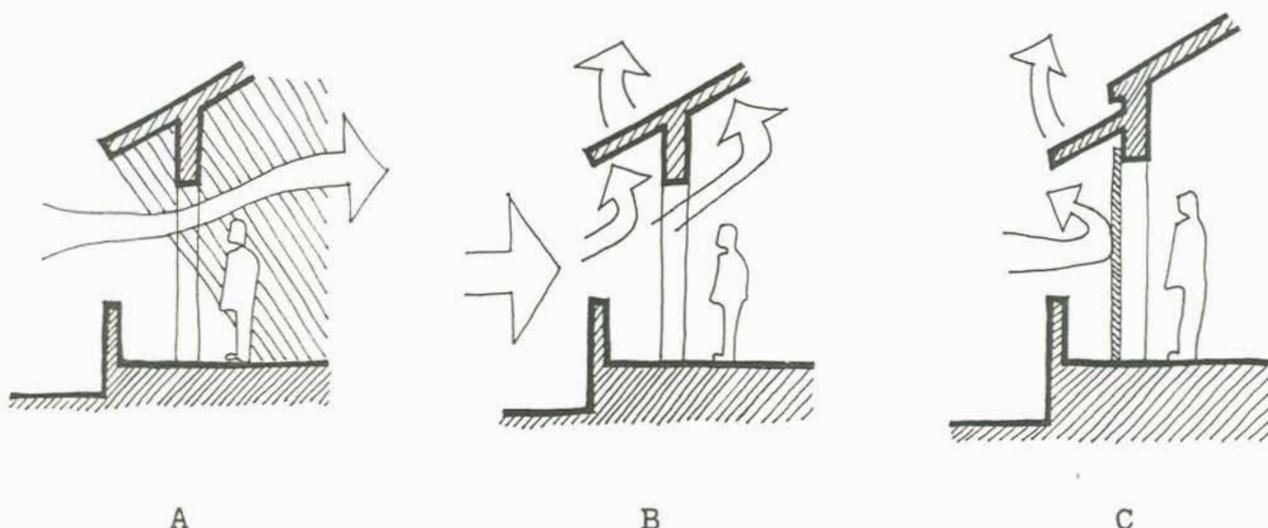
- Instrumentação e métodos
- Desenvolvimento protótipos - sistemas e componentes
- Bancos de dados
- Tipologia de projetos bioclimáticos
- Seleção e otimização de sítios

Obs: @ = integrante do currículo da Universidade de Montreal

* = integrante do currículo da Academia Bezalel

Outro aspecto não menos relevante, a ser considerado na formação profissional desta área, é o de que, além de se projetar para condições climáticas normais, deve-se levar em conta as condições anormais ou extremas que eventualmente possam ocorrer, já registradas em séries climatológicas históricas, como ventos fortes, enchentes, alagamentos, avalanches, soterramentos, etc.

Via de regra, os problemas de segurança são deixados ao encargo de engenheiros quando, na verdade, estes não são normalmente os responsáveis, por exemplo, pela determinação da forma de um edifício ou grau de inclinação de telhados, ambos fatores críticos em áreas sujeitas a ventos fortes. Assim, é incisivamente recomendável que, ao menos em escolas de arquitetura situadas em zonas de reconhecido risco ao conforto, saúde ou segurança do usuário, sejam exploradas todas as implicações de projeto em termos da forma do edifício, sistemas construtivos e localização das edificações (DAVIS, 1984). Um exemplo simples de cuidado a ser tomado é dado pela figura 3.1.



- A - Desenho usual de varanda no trópico quente-úmido. O telhado projeta sombra e a abertura vertical permite ventilação cruzada, refrescando o interior da edificação.
- B - Em condições anormais de alta velocidade, o vento penetra na edificação quebrando vidraças e exercendo pressão sob o teto, no sentido de levantá-lo. Esta ação é reforçada pela pressão negativa do vento em cima do telhado.
- C - A solução é conseguida desvinculando-se o telhado principal do telhado da varanda, que poderá até ser arrancado em condições extremas sem, contudo, destruir a edificação. As aberturas devem estar completamente vedadas.

FIGURA 3.1 - Exemplo de projeto climático adequado a condições extremas de velocidade do vento.

Fonte: DAVIS, 1984.

3.2 - ANÁLISE E REPRESENTAÇÃO DE DADOS CLIMATICOS

Como visto no sub-capítulo anterior, tão importante quanto a tomada de consciência por parte dos projetistas para os assuntos climatológicos, é a maneira como a pesquisa na área é conduzida, de modo a tornar disponível estas informações e critérios, perfeitamente adaptados às exigências específicas do ambiente construído.

Caracterizar climaticamente um local ou sítio destinado à edificação não é tarefa fácil. No entanto, geralmente se dispõe de registros e observações que fornecem características globais da região que contém o sítio, quanto a estações quentes e frias ou períodos chuvosos, secos, ventosos ou de calma. São informações gerais úteis, mas que só podem ditar regras também generalistas para projetos.

Ambiciona-se, na verdade, uma estimativa cada vez mais apurada das condições reais a que estará exposto o produto edificado. Quanto maior for o conhecimento acumulado para dado local, maior será a flexibilidade que o planejador terá na otimização de estratégias, podendo calcar suas decisões em análises seguras da relação custo / benefício (uma vez estando o benefício devidamente quantificado).

Já é notória a noção de que a economia excessiva, principalmente em tempo, nas fases de planejamento e projeto são a causa de sérias conseqüências, como dificuldades e improvisações na fase de execução e posterior insatisfação generalizada dos usuários, na fase de uso e manutenção. Porém, a realidade competitiva dos profissionais que prestam serviços ao mercado não se deixa subestimar, exigindo que novas propostas sejam adequadas também a seus anseios, sob pena de se inviabilizarem na prática, como tantas outras produções acadêmicas.

O desafio maior parece ser, justamente, o de transformar quantidades enormes de informações climáticas disponíveis em estações meteorológicas, em dados de rápido consumo, ou seja, em ferramentas de trabalho práticas e ágeis. Em termos ideais, essa transmutação acontece com árduo trabalho

de pesquisa, através de exaustivas análises, com auxílio de climatologistas, extraindo-se possíveis correlações úteis, produzindo-se critérios de projeto e, principalmente, através de uma muito bem desenvolvida representação gráfica, que dê respostas quase que instantâneas aos questionamentos de seus consumidores: os profissionais da edificação.

A normalização da área pode, com a posse destes instrumentos, vir a garantir uma satisfação mínima do usuário final, ao passo que profissionais interessados podem vir a dominar a técnica, extraindo dessas informações fornecidas mais do que o óbvio graficamente ali representado, aumentando sua competitividade frente ao mercado com a flexibilidade conseguida no planejamento.

Cabe aqui registrar alguns esforços internacionais dirigidos à análise, representação e uso de dados climáticos, pois auxiliam a compreensão das idéias acima expostas, além de ilustrarem sobremaneira a variada gama de respostas passíveis de serem obtidas através de uma adequada manipulação das informações climatológicas.

Quanto às metodologias desenvolvidas, sem dúvida podem servir de base a muitos estudos, mas fica a advertência de FORN e LOTERSZTAIN (1972) que frisam a necessidade de cuidado redobrado ao se adaptarem metodologias provenientes de locais com peculiaridades climáticas não semelhantes às existentes no local de estudo, pois podem ditar a adoção de critérios específicos válidos somente para determinadas características, o que nem sempre está explicitado na literatura disponível.

Apesar de já serem muitos os estudos exemplificando a procura de métodos na confecção de cartas de informações climatológicas, nenhuma metodologia única pôde ainda ser adotada. Na visão de BITAN e ASSIF (1984), isto se deve à multiplicidade de tipos de dados, fórmulas de cálculo, unidades de medidas e meios de representação utilizados, clamando por uma melhor formulação.

Preocupados com um acesamento mais racional de dados climáticos para uso em projetos de edificação, VAN DEVENTER e

VAN STRAATEN (1965) já na década de 60 chamavam a atenção para a influência do efeito integrado entre temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar sobre o desempenho funcional de edificações. Adicionalmente, alertam para a importância de se estabelecerem as probabilidades de ocorrência de períodos (seqüência de dias corridos) onde as condições do tempo atingem valores extremos tais, que se constituem em informações igualmente significativas.

O método foi criado na África do Sul e baseia-se na probabilidade de ocorrência simultânea dos elementos climáticos pertinentes. De fato, contrasta com a prática até então adotada no hemisfério norte, onde os vários parâmetros climáticos eram selecionados para análise independentemente uns dos outros.

A análise proposta interpreta e apresenta os dados objetivando a previsão das condições térmicas do ambiente interno para quaisquer requisitos de envólucro e ocupação. Para tanto, foram determinados dias típicos de verão e de inverno, além dos riscos de ocorrência de "ondas" de calor e frio extremos. Deste modo, os projetistas sul-africanos têm à sua disposição uma interpretação racional dos dados climáticos tanto para o cálculo de cargas necessárias de calefação ou refrigeração, quanto para avaliar o desempenho térmico de edificações não condicionadas. (VAN DEVENTER, 1971)

Trabalho similar foi desenvolvido na Argentina quando, a partir de 1967, iniciou-se um esforço de pesquisa visando estabelecer requisitos higrotérmicos mínimos para o programa habitacional daquele país. Tarefa de longa duração, a complexidade do problema propunha objetivos bastante extensos, como: (FORN e LOTERSZTAIN, 1972)

- identificar as zonas climáticas da República Argentina, para propósitos de edificação;
- definir níveis convenientes de conforto térmico para as diferentes circunstâncias geográficas e sócio-econômicas;
- traduzir estes níveis em "requisitos técnicos" a serem cumpridos pelos elementos construtivos, pelo conjunto edificado e pelo desenho urbano;

esta base deveria igualar-se ao "ponto de equilíbrio" da edificação, sendo a temperatura acima ou abaixo da qual sistemas de aquecimento ou resfriamento não são necessários. Com o advento da crise energética, a temperatura base comumente usada acaba sendo alterada junto com o comportamento dos usuários, que regulam seus termostatos a níveis mais econômicos e aumentam o isolamento térmico de suas moradias e locais de trabalho. (NALL e ARENS, 1978)

Com isso, vários métodos de cálculo foram propostos, geralmente prevendo flexibilidade para a temperatura base. Dentre os mais recentes, encontra-se o apresentado por SCHOENAU e KEHRIG (1990) que se destaca pela simplicidade. Assumindo que existe uma distribuição normal anual da temperatura média diária sobre a temperatura média mensal, o método é preciso e adequado para implementação em modelos computacionais simples, em localidades onde os dados mensais de desvio padrão das temperaturas médias diárias estejam disponíveis.

A otimização da concepção e dimensionamento de sistemas energéticos para edificações normalmente requer uma simulação prévia de seu funcionamento através de levantamento, o mais realista possível, das condições meteorológicas a que estará exposto. Considerando que a utilização de uma longa série dos principais parâmetros climáticos é onerosa e extensa, SACRE (1987) procurou uma forma mais compacta de dispor estas informações. Através do organograma de geração de dias típicos climatológicos apresentado pela figura 3.2, pode-se ter uma visão global das etapas intervenientes neste processo de síntese.

A experiência israelense na área pode ser exemplificada pelo preparo de um atlas climático para uso específico em planejamento e projeto (BITAN e ASSIF, 1984). Basicamente, o atlas divide o Estado de Israel em 18 pequenas regiões climatologicamente homogêneas, cada uma representada por sua própria estação meteorológica. Os dados climáticos são apresentados em linguagem familiar ao projetista, com todas as informações básicas necessárias à primeira vista (graficamente) e outras mais detalhadas e precisas (textos descritivos).

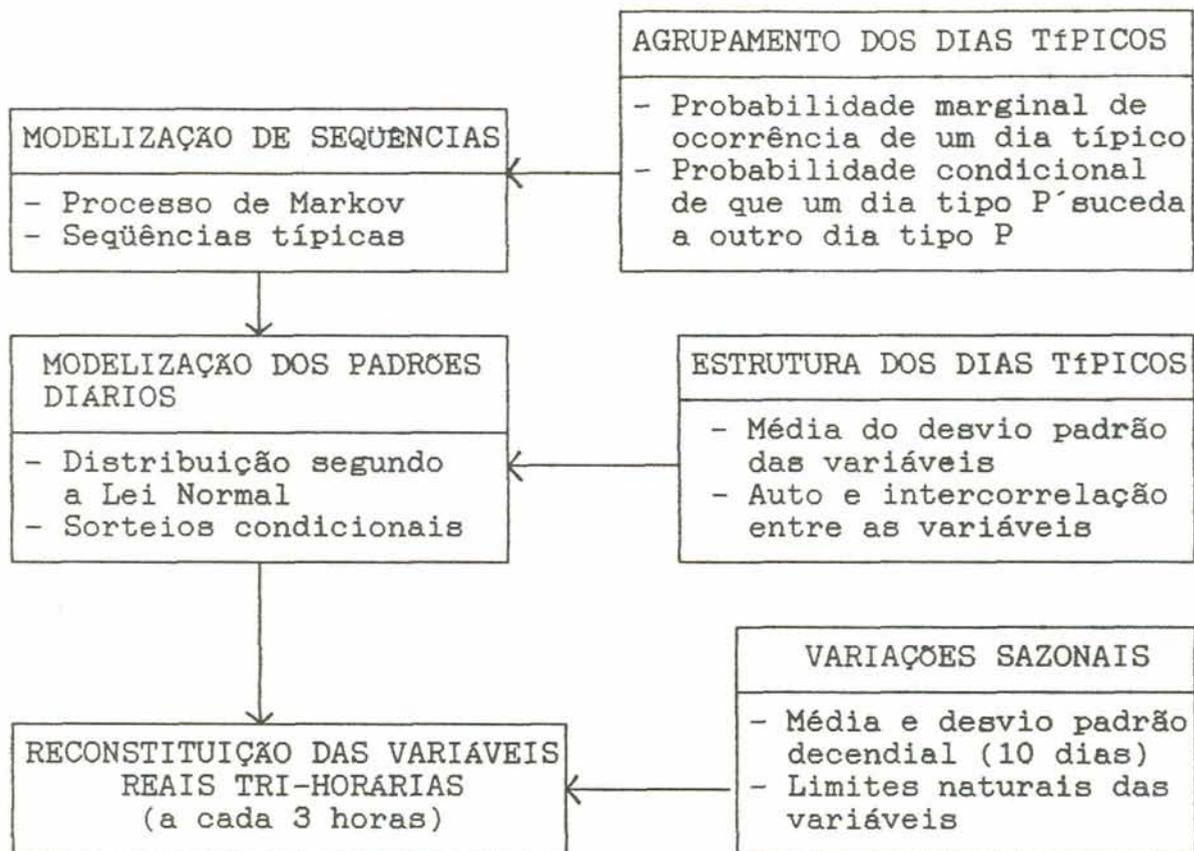


FIGURA 3.2 - Organograma da geração de dias típicos climáticos.

Fonte: SACRE, 1987

Além das interpretações diretas dos dados coletados (médias e extremos de temperatura, umidade, veloc. e direção do vento, precipitação, radiação e nebulosidade), outros processamentos mais elaborados são fornecidos, como:

- Média horária de "stress térmico" - dado pelo índice de desconforto (média aritmética entre as temp. de bulbo seco e bulbo úmido) e dividido em 4 categorias:

inexistente:	< 22,0
leve:	22,0 - 23,9
médio:	23,9 - 27,9
pesado:	> 28,0

- Média mensal de "degree days" para calefação - dado pelo cômputo dos dias cuja temperatura média fica abaixo de 18,3°C (T base). Cada 1°C a menos vale 1 unidade, ou seja, um

dia com temp. média de 15,3°C, acumula 3 unidades no mês. Uma soma maior que 75 unidades num mês aponta a necessidade de calefação do ambiente. Assim, o número de meses com uma média mensal maior que 75 determinará se o investimento num sistema central de aquecimento é justificável ou não, para aquela região.

Entretanto, mesmo dispondo-se dos dados e estando-se perfeitamente a par de todos os fatores climatológicos, deve-se ainda determinar a significância de cada fator (ou combinação deles) para o conforto humano e desempenho ambiental: trata-se da formulação de "critérios de projeto".

No caso israelense, exemplifica-se com a formulação feita para a região de Negev (BITAN e ASSIF, 1984). Climatologicamente homogênea e classificada como quente e seca, uma análise mais acurada dessa região desértica dividiu-a em 8 sub-regiões, quando da determinação da necessidade de refrigeração ou calefação em várias unidades de bases militares, como mostra a tabela 3.1.

Objetivando suprir a lacuna existente em informações úteis para planejadores e arquitetos sobre o clima local de municípios e distritos, LINDQVIST (1983) apresenta as providências tomadas por uma instituição sueca de investigações climáticas, que passou a fornecer mapas climáticos incluindo, além de parâmetros relacionados com radiação, temperatura e vento, também os seguintes elementos:

- a. declives ensolarados
- b. áreas sombreadas
- c. produção de ar frio
- d. correntes de ar frio
- e. zonas de ar frio (influência moderada, forte e muito forte)
- f. climas litorâneos (influência moderada e forte)
- g. regiões montanhosas frias
- h. cintos térmicos
- i. ilhas de calor urbanas (moderadas e intensas)
- j. zonas de nevoeiro locais
- k. áreas de ventos fortes e extremos
- l. ventos leves (ventilação deficitária)
- m. anomalias locais na direção do vento
- n. direção do ar interior (continental)

TABELA 3.1 - índices de "stress térmico" e "degree-days" para calefação nas sub-regiões de Negev, e necessidade de refrigeração ou calefação nos diversos cômodos de quartéis das forças armadas israelenses.

REGIAO	1	2	3	4	5	6	7	8
Média diária do nº de horas com "stress térmico" no verão (≥ 22)	18	11.6	7	1.9	12.5	8.6	5.7	4.9
Média diária do nº de horas com "stress térmico" médio ou extremo no verão (≥ 24)	12	6.6	3.5	0	6.8	4.6	1.5	1.4
Nº de meses com "degree days" para calefação superior a 75 unidades	1	3	4	5	2	4	4	4
Ocorrência de poeira	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
Refrigeração / Calefação	R C	R C	R C	R C	R C	R C	R C	R C
Salas públicas, salas de leitura, salas de aula	# -	# + * *	* * - #	* - * *	+ * + *			
Escritórios e salas de reuniões ($> 24m^2$)	# -	# + * *	* * - #	* - * *	+ * + *			
Salas de trabalho	# -	# + * *	* * - #	* - * *	+ * + *			
Refeitórios, salas de lazer	# -	# + * *	* * - #	* - * *	+ * + *			
Escritórios ($< 24m^2$)	# -	* + + *	* - #	+ - + *	- * - *			
Oficinas	# -	* + + *	* - #	+ - + *	- * - *			
Cozinhas	-	-	-	-	-	-	-	-
Alojamentos	# -	- + - *	* - #	- - - *	- * - *			

Legenda: R = refrigeração C = calefação # = necessário
 * = desejável + = recomendável - = desnecessário

Fonte: BITAN e ASSIF, 1984.

Sendo o vento o elemento climático de maior importância para a experiência de desconforto humano na região escandinava, estudos locais mostram a necessidade de se tomarem medidas especiais de projeto, sempre que for comprovada a possibilidade do vento exceder a velocidade de 5m/s, perdurando

por mais de 20% do tempo de uso do local. A tabela 3.2 estabelece as condições de conforto em relação ao vento, dependendo da atividade exercida no local. Observa-se que, para locais de longa permanência, tem-se condições aceitáveis apenas quando os ventos acima de 5m/s (para temperaturas maiores que 10°C) não excedem 0,1% do tempo de permanência, sendo intoleráveis por mais de 53% para qualquer atividade.

TABELA 3.2 - Desconforto do pedestre em relação ao vento.
Porcentagens limites de períodos com velocidade do vento > 5m/s e temperatura > 10°C.

ATIVIDADE	AREA	CONFORTO EM RELAÇÃO AO VENTO		
		Aceitável	Desagradável	Desconforto
andando rápido	calçadas passarelas	43%	50%	53%
andando	parques calçadas	23%	34%	53%
de pé ou sentado por pouco tempo	parques mercados paradas de ônibus	6%	15%	53%
de pé ou sentado por longo tempo	calçadas cafés	0.1%	3%	53%

Fonte: LINDQVIST, 1983.

No Brasil, dentre as poucas iniciativas documentadas na área, destaca-se aqui o trabalho desenvolvido no IPT, em São Paulo (ALUCCI et al., 1986), por propor metodologia aplicável a todo território nacional. O referido estudo recomenda procedimentos para identificação do tipo climático característico de cada região, definindo os intervalos "de conforto" em função da umidade relativa média e da temperatura média anual típica encontrada. A classificação dos grupos climáticos se dá de acordo com a solicitação quente (Q), confortável (C) ou frio (F) levantada a partir dos valores médios mensais e anuais (por período não inferior a 5 anos) das seguintes variáveis climáticas:

- temperatura mínima
- temperatura máxima
- amplitude térmica
- temperatura média
- precipitação
- umidade relativa
- direção dominante dos ventos
- velocidade média dos ventos dominantes

Uma vez determinadas as solicitações mensais e feito o cômputo do número de meses que aparecem durante o ano, são feitas recomendações gerais para a adequação climática da implantação de conjuntos habitacionais.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE / RS

4.1 - ESTUDOS PRECEDENTES

Uma vez apresentadas algumas das metodologias já aplicadas na análise e representação de dados climáticos, e ressaltada a problemática que lhe é intrínseca, deseja-se fazer-se a ligação do tema com uma realidade mais próxima, enfocando-se a capital do Estado do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre já acumula alguns precedentes nos quais é objeto de estudos, visando aliar a arte de edificar ao clima local. Com este enfoque, talvez MARQUARDT (1969) tenha sido o pioneiro, considerando que a obra citada ostenta o sugestivo sub-título: "Diretrizes a atender no planejamento dos espaços encerrados atendendo condições climatológicas". De fato, como o próprio autor salienta, muito se deve ao trabalho previamente desenvolvido no Instituto Coussirat de Araujo e à obra de MACHADO (1950), que havia publicado uma divisão regional e síntese climática do Rio Grande do Sul, analisando dados e tabelando valores meteorológicos médios mensais para dezenas de localidades, entre as quais Porto Alegre, possuidora da, então, única estação meteorológica de 1ª classe do estado. Com os dados relativos à capital, Marquardt pôde analisar sucintamente as condições do habitat urbano, e estabeleceu requisitos gerais a serem cumpridos pelas construções, através de materiais e técnicas construtivas, no atendimento às exigências climáticas das quatro estações do ano.

Posteriormente, quem mais aprofundou a análise da caracterização climática de Porto Alegre, se bem que enfocando especificamente o conforto térmico, seguramente foi AROZTEGUI

(1977). Principalmente porque, além de dissecar cada variável do clima portoalegrense, ainda propôs uma avaliação sintética conjunta, explicitando a relação conforto / clima.

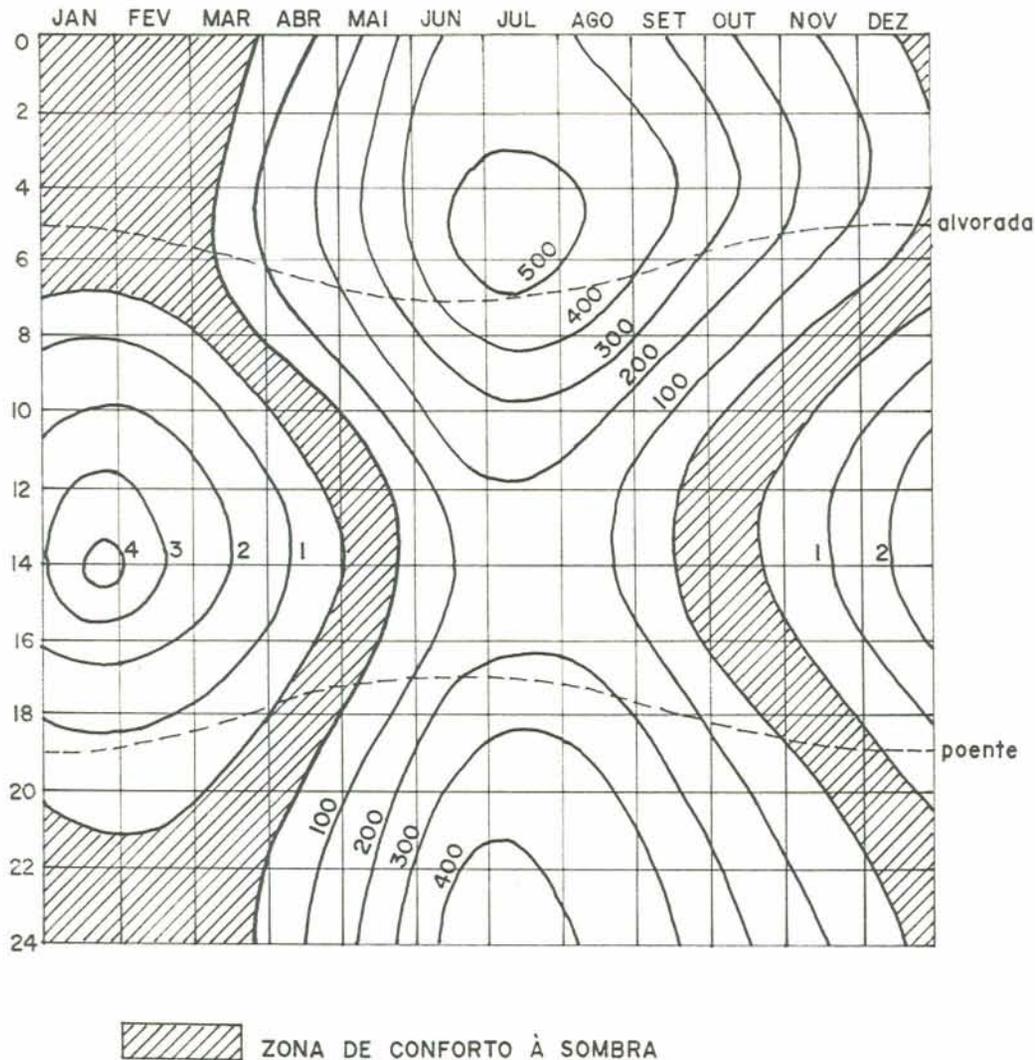


FIGURA 4.1 - Avaliação Bioclimática de Porto Alegre.

Fonte: AROZTEGUI, 1977

A figura 4.1 reproduz a Avaliação Bioclimática baseada na identificação da "linha de sombra". Nas palavras de Aroztegui: *Trata-se de definir a que temperatura média do ar, um homem fictício típico, em repouso, opta por manter-se à sombra ou ao sol...* Para Porto Alegre, verificamos que essa temperatura está na ordem dos 20°C. A "zona de conforto à

sombra" (hachurada) teve seu limite superior fixado em 23°C (devido à elevada umidade média) e marca a temperatura acima da qual o conforto pode ser restabelecido com brisas. Abaixo dos 20°C, aparece a necessidade de radiação solar (e/ou mais vestimenta).

Mais recentemente, SATTLER (1986) avança na questão, através do tratamento estatístico de dados horários, estabelecendo os dias climáticos típicos de verão e de inverno para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre. Tais dias típicos são fornecidos para diferentes níveis de probabilidade de ocorrência, adequando-se ao nível de exigência requerido pelo projeto, e tornando disponíveis valores médios horários de 10 parâmetros climáticos. As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam, respectivamente, o dia típico de verão e de inverno, para um nível de probabilidade de 5%.

TABELA 4.1 - Dia típico de verão, a um nível de probabilidade de 5%, para Porto Alegre/RS. (Período: 1977-81)

H	TA (°C)	UR (%)	RAD (W/m ²)	VV (m/s)	DV (%)	PV (mbar)	EE (kJ/kg)	COU (g/kg)	VE (m ³ /kg)	TO (°C)
1	24.4	93	000	1.5	ESE77	28.41	70.44	18.03	0.867	23.2
2	24.0	94	000	1.4	ESE77	28.04	69.40	17.78	0.865	23.0
3	23.4	94	000	1.5	ESE85	27.04	69.13	17.13	0.863	22.4
4	23.2	94	000	1.2	ESE85	26.72	66.38	16.92	0.862	22.2
5	23.1	92	000	1.0	ESE85	25.99	65.08	16.45	0.861	21.7
6	23.2	89	018	0.8	ESE77	25.30	64.03	16.00	0.861	21.3
7	24.4	81	142	1.0	ESE61	24.75	64.37	15.64	0.864	20.9
8	25.9	68	298	1.4	ESE46	22.71	62.57	14.33	0.866	19.5
9	27.1	61	478	2.5	N 69	21.87	62.42	13.78	0.869	18.9
10	28.3	56	638	3.1	NNW61	21.53	63.11	13.57	0.872	18.7
11	29.5	52	737	3.2	NNW77	21.43	64.18	13.51	0.876	18.6
12	30.7	49	840	3.3	NW 69	21.64	65.76	13.64	0.879	18.8
13	31.4	47	839	3.3	NW 54	21.60	66.41	13.61	0.881	18.7
14	31.9	45	754	3.3	WNW46	21.27	66.40	13.40	0.882	18.5
15	32.2	46	595	2.9	W 46	22.12	66.10	13.95	0.884	19.1
16	31.7	52	442	3.5	S 31	24.30	71.20	15.36	0.885	20.6
17	31.0	61	280	3.3	SW 38	27.40	75.62	17.37	0.885	22.6
18	29.5	73	137	3.3	SSE54	29.92	78.15	19.01	0.883	24.0
19	27.8	80	025	3.2	ESE61	29.88	76.42	18.99	0.878	24.0
20	26.4	86	000	2.8	ESE85	29.59	74.48	18.90	0.874	23.9
21	25.5	92	000	3.6	ESE61	30.01	74.25	19.07	0.872	24.1
22	24.9	91	000	2.9	SE 61	28.64	71.34	18.18	0.869	23.3
23	24.7	93	000	2.1	SE 46	28.93	71.60	18.36	0.868	23.5
24	24.6	93	000	2.1	ESE46	28.75	71.21	18.25	0.868	23.4
MD	27.0	74	259	2.4	-	25.74	68.67	16.30	0.872	21.4

H=hora / TA=temp. ar / UR=umidade relativa / RAD=radiação solar
 VV=velocidade vento / VD=direção vento / PV=pressão vapor
 EE=entalpia específica / COU=conteúdo umidade
 VE=volume específico / TO=temp. orvalho / MD=média diária
 Fonte: SATTLER, 1986

TABELA 4.2 - Dia típico de inverno, a um nível de probabilidade de 5%, para Porto Alegre/RS. (Período: 1977-81)

H	TA (°C)	UR (%)	RAD (W/m ²)	VV (m/s)	DV (%)	PV (mbar)	EE (kJ/kg)	COU (g/kg)	VE (m ³ /kg)	TO (°C)
1	9.0	87	000	2.3	WNW36	9.98	24.70	6.22	0.807	7.0
2	8.7	86	000	2.2	WNW36	9.67	23.90	6.02	0.806	6.5
3	8.4	87	000	2.1	WNW36	9.58	23.46	5.97	0.805	6.4
4	8.0	88	000	2.3	WNW45	9.43	22.82	5.87	0.804	6.1
5	7.6	89	000	2.4	WNW36	9.29	22.18	5.78	0.802	5.9
6	7.3	89	000	2.3	WNW36	9.10	21.57	5.66	0.801	5.6
7	7.3	88	005	2.4	WSW45	8.99	21.41	5.60	0.801	5.4
8	7.8	86	090	2.0	WNW36	9.10	22.08	5.66	0.803	5.6
9	8.7	79	216	2.6	WNW45	8.99	22.83	5.60	0.805	5.4
10	10.1	70	335	3.4	WSW36	8.59	23.52	5.34	0.809	4.8
11	11.1	62	427	3.4	WNW45	8.19	24.00	5.09	0.811	4.1
12	12.2	57	462	3.7	NW 45	8.10	24.97	5.03	0.814	4.0
13	12.8	54	455	4.1	NW 54	7.98	25.39	4.96	0.816	3.8
14	13.0	54	394	4.0	NW 45	8.23	26.00	5.12	0.817	4.2
15	13.2	54	302	3.9	NW 45	8.19	26.13	5.09	0.817	4.1
16	13.0	55	178	3.8	WNW54	8.23	26.00	5.12	0.817	4.2
17	12.6	59	069	3.3	WNW54	8.60	26.18	5.35	0.816	4.8
18	11.5	64	005	3.2	W 45	8.68	25.18	5.40	0.813	4.9
19	10.6	70	000	2.6	W 45	8.94	24.68	5.56	0.811	5.4
20	10.2	74	000	2.7	SSW27	9.20	24.69	5.73	0.810	5.8
21	9.8	77	000	2.9	WNW27	9.32	24.47	5.80	0.809	6.0
22	9.6	77	000	2.6	WNW27	9.20	24.07	5.72	0.808	5.8
23	9.3	77	000	2.4	E 27	9.02	23.48	5.61	0.807	5.5
24	9.2	79	000	2.8	SSW36	9.19	23.65	5.72	0.807	5.8
MD	10.0	73	122	2.9	-	8.91	24.06	5.54	0.809	5.3

H=hora / TA=temp. ar / UR=umidade relativa / RAD=radiação solar
 VV=velocidade vento / VD=direção vento / PV=pressão vapor
 EE=entalpia específica / COU=conteúdo umidade
 VE=volume específico / TO=temp. orvalho / MD=média diária

Fonte: SATTLER, 1986

Além destes estudos, entre tantos outros voltados mais para os aspectos da geografia urbana, pode-se ainda citar o trabalho de LIVI (1983), que analisa comparativamente curvas de temperatura e umidade relativa do ar na área urbana e rural de Porto Alegre. Também de serventia ao setor da edificação é o estudo de DANNI (1980), que considera o fenômeno da ilha térmica, fornecendo uma montagem de isotermas e concluindo que Porto Alegre, por sua topografia e desenvolvimento urbano e industrial, propicia a formação de diferenciadas ilhas térmicas, sugerindo, entre outras recomendações, a criação de áreas verdes.

4.2 - IMPLANTAÇÃO DO BANCO DE DADOS CLIMATICOS

A fonte dos dados utilizados por Sattler constituiu-se de milhares de planilhas de leitura contínuas, provenientes da aparelhagem do 8º Distrito Meteorológico do Ministério da Agricultura (situado junto ao Jardim Botânico de POA), referentes a um período de 5 anos (1977-1981).

Tal fonte vem se transformando, através de exaustivo trabalho de informatização junto à Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), no primeiro banco de dados climáticos de Porto Alegre voltado para o interesse específico do ambiente construído, tornando acessíveis à análise estatística os dados horários de temperatura, umidade, precipitação, direção e velocidade do vento.

As limitações deste empreendimento se prendem, em primeiro lugar, à existência de uma margem de erro humano a ser considerada, devido à obrigatoriedade da leitura individual de cada registro e posterior digitação. Este obstáculo só pode ser superado pela completa automatização da estação meteorológica fonte.

Outro ponto negativo é o reduzido período da coleta dos dados (apenas 5 anos, contra o mínimo de 10 anos recomendado). A extensão desta falha pode, porém, ser futuramente averiguada, com a análise dos dados de cada parâmetro climático e sua posterior comparação com os valores médios mensais e anuais obtidos em séries históricas bem mais longas, disponíveis no posto de origem. Uma vez verificada a inexistência de diferenças significativas na distribuição dos valores dos parâmetros envolvidos, pode-se então considerar o período adotado como de referência para a análise das características do clima local, segundo procedimento citado em AKUTSU e PEDROSO (1988). Caso contrário, deve-se ampliar a série de dados, buscando alcançar o período ideal aconselhável.

Independente disso, a importância de sempre se aumentar e, de certa forma, "atualizar" um banco de dados climáticos é perfeitamente justificada pela ressalva feita por AROZTEGUI (1977), esclarecendo que a mudança progressiva de um

local e seu microclima (notadamente num centro urbano, pelo fenômeno conhecido como "ilha de calor"), altera notoriamente a temperatura e a umidade, sendo preferível computar-se sempre os dados dos últimos anos (mínimo 10) na obtenção de médias mais ajustadas à realidade presente.

Além do aumento da seqüência histórica, obviamente poderia-se enriquecer o banco com o acréscimo de outros parâmetros climáticos significativos, desde que seus dados fossem de coleta simultânea para o mesmo período. Seria o caso da radiação solar, originalmente requerida, mas não figurando entre os disponíveis, por falha na captação de seus registros durante o período escolhido.

Vários pesquisadores que se dedicaram a assuntos que exigiam dados climáticos de Porto Alegre, já deixaram expressas a necessidade de um melhor tratamento dos mesmos, ou ainda registraram a ausência absoluta de certas especificidades, o que veio a impedir resultados mais conclusivos em suas áreas de atuação. Este fato comprova que investimentos científicos nesta área da climatologia aplicada jamais serão inúteis, sendo apenas desejável um levantamento prévio das prioridades, de modo a otimizar os recursos materiais e humanos que porventura se tornem disponíveis.

Só para citar alguns exemplos ocorridos dentro do próprio NORIE - CPGEC / UFRGS, é lembrado o caso de LAMBERTS (1983) que sugere levantamento de dados meteorológicos necessários para uso em modelos matemáticos e determinação de seqüências típicas de verão e inverno, e BAUER (1987) que lamentou o fato de não dispor de registros contínuos de precipitação e velocidade do vento, obrigando-se a utilizar registros mensais na determinação do índice de chuva incidente em Porto Alegre.

De fato, o potencial de utilização de tal banco de dados torna-se praticamente ilimitado na medida em que uma correta manipulação de seus dados permite, entre outras, as seguintes aplicações diretas:

- determinação de parâmetros fixos e recomendações claras para a otimização da adequação climática de ambientes construídos, sendo de valor inestimável no preparo de manuais técnicos para projetistas e de fácil emprego em cursos acadêmicos, qualificando a formação profissional na área.

- concepção de normalização ligada à área, baseada em critérios confiáveis, garantindo conforto ambiental mínimo desejável aos usuários e/ou consumo controlado de energia.

- estabelecimento de procedimentos corretos para ensaios de verificação e/ou simulação, utilizados na avaliação de desempenho de materiais, processos e sistemas construtivos, protótipos de unidades edificadas ou mesmo no monitoramento de edificações em uso.

Como salienta AROZTEGUI (1977), a consideração de "valores-conceito", cuja validade não ultrapassa às previsões de médias estatísticas, apresenta a vantagem de eliminar a subjetividade das apreciações climáticas. Só com embasamento científico é possível o estabelecimento de exigências qualitativas a sistemas construtivos ou materiais, tarefa há muito classificada como urgente.

4.3 - SUMARIO CLIMATOLÓGICO

4.3.1 - Origem dos dados utilizados

Objetivando, fundamentalmente, transformar os dados climáticos disponíveis para Porto Alegre em informações de mais fácil leitura e consumo, sendo rapidamente acessáveis e ainda utilizáveis como recurso didático na formação acadêmica da área, o sumário climatológico aqui apresentado também pretende servir de subsídio a uma série de investigações subseqüentes. Desta série espera-se que, além de vir a completá-lo, seja suficientemente longa, de modo a suprir, ao menos em parte, as lacunas existentes neste ramo do conhecimento que, atualmente, deixam sem resposta várias solicitações dos projetistas e seus clientes.

Como dados, foram utilizadas observações horárias coletadas ao longo de uma série de 20 anos (1951-1970) na Estação identificada por:

Nome.....	Porto Alegre
Aeroporto.....	Salgado Filho
Estado.....	Rio Grande do Sul
Número Sinótico.....	83971
Latitude.....	30°00'S
Longitude.....	51°11'W
Altitude.....	4,00 m
Orgão.....	Ministério da Aeronáutica

A opção por esta fonte de dados se deveu ao fato de, afortunadamente, ter-se acesso aos Sumários Climatológicos em questão, elaborados pela Divisão de Ciências Atmosféricas, do Instituto de Atividades Espaciais do Ministério da Aeronáutica, nos quais os dados já haviam sofrido tratamento estatístico prévio. Apesar da advertência expressa de que tais dados ainda se encontravam em fase de correção, devendo valores discrepantes ser avaliados e contornados, foi considerado que, para a aplicação em estudo, o rigorismo até então dispensado já era amplamente satisfatório.

Dos parâmetros disponíveis foram selecionados os pertinentes à área do ambiente construído, a saber:

- Temperatura do bulbo seco (médias e desvio padrão)
- Umidade relativa (médias e desvio padrão)
- Vento de superfície (velocidade média escalar, persistência e freqüência de direção e velocidade)
- Total de nuvens (médias, desvio padrão e sumário de nebulosidade)

Infelizmente, para os fins aeronáuticos os dados de radiação solar são irrelevantes, não sendo coletados. Os valores de quantidade de precipitação, apesar de disponíveis, não foram aproveitados por terem sido classificados como não confiáveis, devido a falhas apresentadas pelos aparelhos de medição durante o período. Todos os valores tabelados, aqui utilizados, encontram-se reproduzidos no anexo A.

4.3.2. Apresentação dos parâmetros climáticos

O primeiro passo para facilitar a análise climática, útil ao profissional da edificação, é representar os dados de maneira gráfica, possibilitando uma apreensão geral do que historicamente é esperado daquele parâmetro, ao longo do dia e do ano, em determinado local.

Neste sentido, são apresentados os gráficos das médias de temperatura e umidade, ao longo do dia "médio" de cada mês do ano (ver figuras 4.2 e 4.3). Tais curvas médias aparecem contidas entre as curvas que representam o limite de um desvio padrão (superior e inferior), caracterizando uma faixa que, estatisticamente, possui 68,3% de probabilidade de conter qualquer valor esperado.

A curva diária da temperatura repete o mesmo padrão durante todo o ano, onde os valores mínimos ocorrem por volta das 6:00h e os máximos cerca de 15:00h. Esta senóide é perfeitamente acompanhada, obviamente com valores inversamente proporcionais, pela curva da umidade relativa, tanto no período diário quanto no anual. Porém, observa-se uma amplitude anual diversa entre estes parâmetros, sendo que os picos médios de umidade máxima (6:00h) conservam valores nunca inferiores a 85% (15% de amplitude), ao passo que as temperaturas mínimas correspondentes, podem ter, na média, uma variação de mais de 10°C entre o verão e o inverno.

Os dados disponíveis relacionados ao vento são de dois tipos, segundo informações obtidas junto ao Centro Meteorológico do Aeroporto Salgado Filho:

- Vento escalar, expresso apenas por sua velocidade momentânea, registrada no instante da leitura (horas cheias);

- Vento vetorial médio, dado por sua velocidade e direção, expressando a tendência média registrada, ao longo de 10 minutos, nas horas de leitura.

FIGURA 4.2 - Média e desvio padrão da temperatura do ar em Porto Alegre/RS.

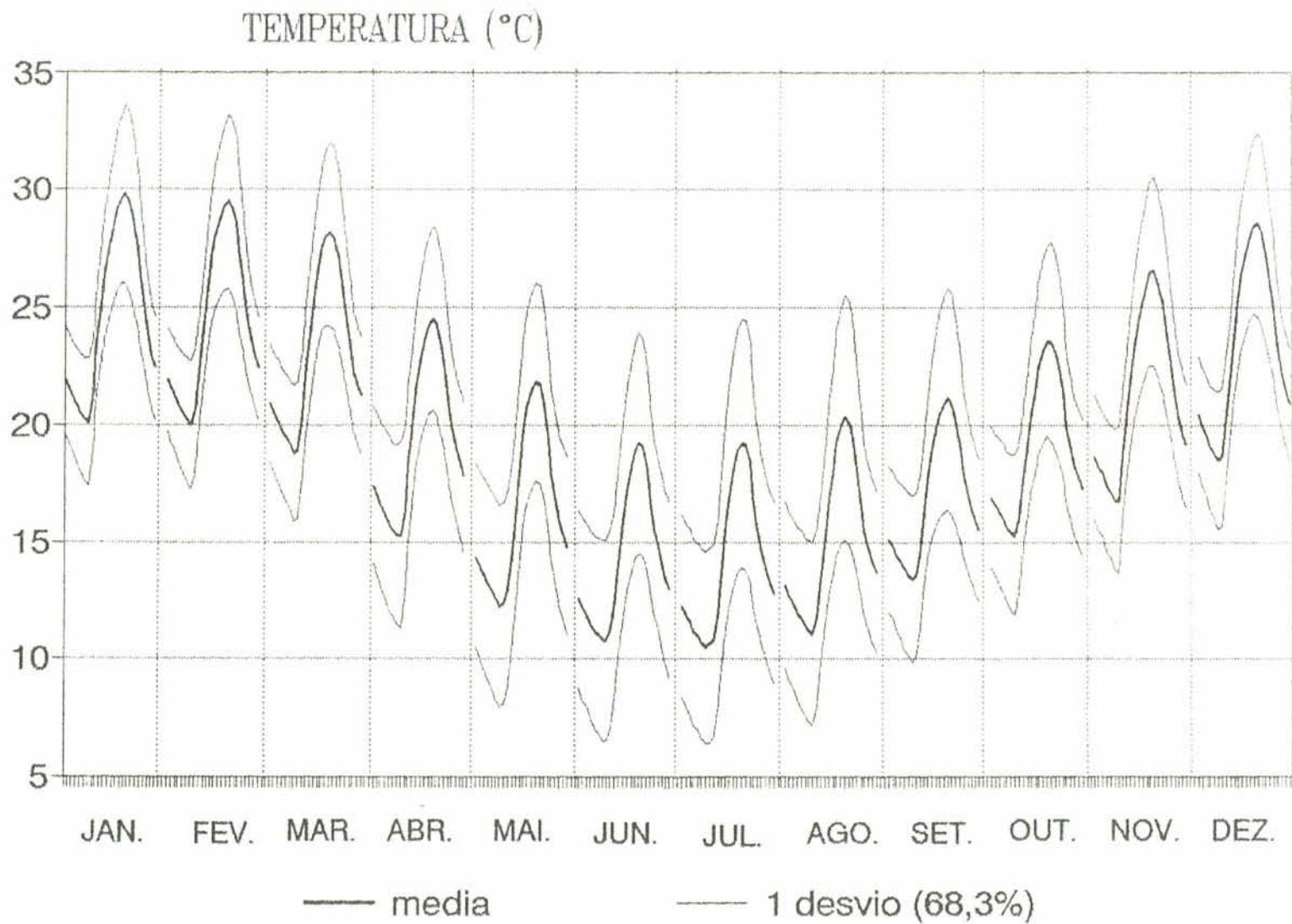
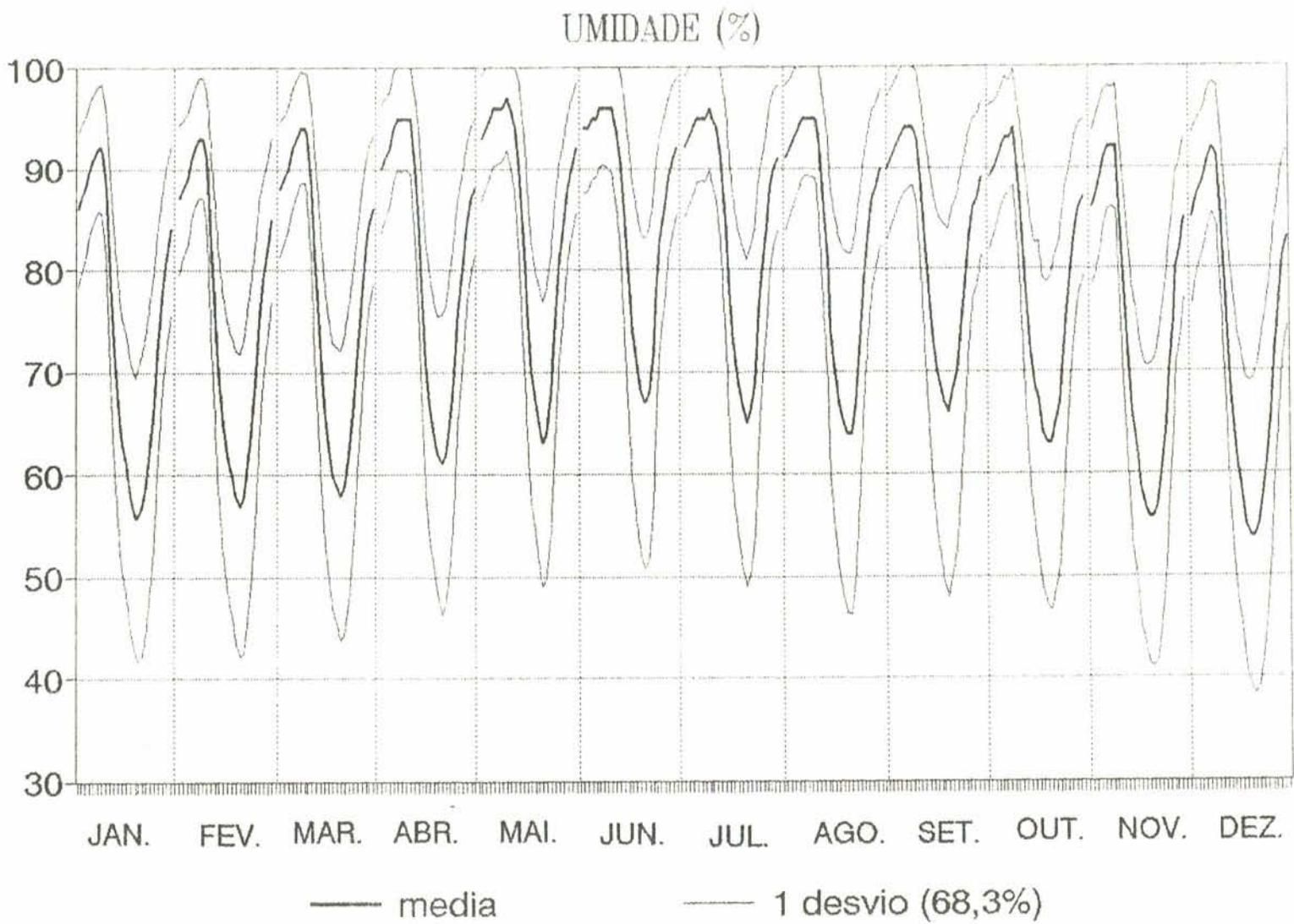


FIGURA 4.3 - Média e desvio padrão da umidade relativa em Porto Alegre/RS.



Os valores originais das velocidades do vento encontram-se expressos em nós, tendo sido convertidos para m/s, e suas direções são registradas em graus, contados a partir do Norte. Para velocidades inferiores a 1 nó (0,5144m/s), deixa-se de indicar a direção do vento, por ser passível de encontrar-se mascarada pelas condições sub-microclimáticas impostas ao aparelho registrador (anemômetro).

Por serem os mais adequados ao caso em estudo, foram utilizados os dados relativos ao vento vetorial médio. Porém, após o tratamento estatístico prévio sofrido no órgão divulgador fonte, a velocidade vetorial média só está disponível em valores inteiros arredondados (0 a 8 nós), apresentando, portanto, menor precisão do que a velocidade escalar, dada em décimos de nós.

Na tentativa de recuperar estes dados vetoriais arredondados, reconstituindo-os em valores com ao menos uma casa decimal, utilizou-se o seguinte expediente:

1) Foram aproveitados os dados da persistência do vento, ou seja, um índice expresso em porcentagem e calculado pelo quociente entre as velocidades do vento vetor médio (V) e do vento escalar médio (E), segundo a expressão: $P=(V/E).100$. Isto indica que uma alta persistência (tendendo a 100%) ocorre quando os valores vetoriais e escalares não se diferenciam muito entre si. O caso contrário (baixa persistência), indica que o vento escalar (instantâneo) foi fortuitamente veloz, não expressando a realidade média traduzida pelo vetor médio.

2) Com os dados da persistência (P) e velocidade escalar (E), reconstituíram-se os dados da velocidade vetorial (V), através da expressão: $V=(P/100).E$. Por exemplo, a zero hora de janeiro apresenta velocidade escalar média de 5,6 nós (2,88m/s, ver tabela A5), com persistência de 79% (ver tabela A6). A velocidade vetorial havia sido arredondada para 4 nós (aprox. 2m/s), e, reconstituída pelo raciocínio acima, acusa: $V = (79/100).2,88 = 2,3m/s$ (ver tabela A7). Desta forma, o valor original de 4 nós (aprox. 2m/s) transforma-se em outro mais preciso, de 2,3m/s.

Pelo mesmo procedimento, registros originais que indicavam 0 nós puderam ser revistos, chegando-se a valores de até 0,1m/s (4:00h de junho), impossíveis de serem previstos pela tabela original expressa em nós.

Com este expediente, pôde-se constatar que os períodos onde não está notificada a direção do vento correspondem a velocidades vetoriais inferiores a 0,3m/s, indicadas nas figuras e tabelas pela letra C (vento calmo).

Através destes valores médios (figura 4.4), observa-se uma tendência diária, que persiste ao longo de todo o período anual, de ocorrer uma queda na velocidade do vento pela madrugada e manhã, havendo, após, um incremento que atinge seu pico máximo entre o fim da tarde e início da noite, quando volta a decrescer. O que varia durante o ano é a amplitude entre os valores máximo e mínimo, que atinge seu maior valor nos meses de dezembro e janeiro, e o menor entre junho e julho, caracterizando os meses do outono e primavera, como sendo de amplitude francamente descendente e ascendente, respectivamente. Na verdade, nota-se que a responsabilidade por esta variação de amplitude fica por conta dos valores máximos, que podem variar desde pouco mais de 1m/s, até mais de 4m/s, enquanto as velocidades mínimas não costumam ultrapassar a marca de 1m/s.

Quanto à direção predominante do vento, a mesma figura (4.4) mostra as horas limítrofes, onde há mudança de direção. A letra C (vento calmo) marca os períodos onde não se identifica a direção, devido à velocidade ter atingido valores menores do que 0,3m/s. Em anexo aparecem as direções em graus fornecidas em registros hora a hora (tabela A9). Para facilitar a visualização, estes registros foram transformados em siglas (pontos cardeais e colaterais, abarcando 45° cada) e agrupados desconsiderando-se períodos muito breves (menos de 2 horas), que foram abrangidos pela direção predominante do período maior que os continha.

De acordo com este critério, observa-se que as médias de direções do vento (nas imediações do Aeroporto Salgado Filho) indicam a absoluta predominância da direção Sudeste, chegando a 100% de ocorrência nos meses de setembro a novembro. Em seguida, aparecem a direção Leste (de dezembro a abril,

durante a noite e madrugada) e Oeste (de maio a julho, da manhã ao meio da tarde). Registros de vento Sul aparecem apenas na primeira metade das tardes de abril e entre as 6 e 16h de agosto. Ventos calmos ocorrem preferentemente nas madrugadas de maio a julho e manhãs de abril.

A frequência mensal, computada através de 175320 registros de vento, foi originalmente tabelada para 26 faixas de velocidade variando de 0 a mais de 48 nós, distribuídas em 12 faixas de direção abarcando 30° cada uma. Ao se adaptar estes dados para o uso no setor de edificações, foi feita uma simplificação, optando-se por apresentá-los na forma de percentual de frequência mensal, dividida em 4 direções predominantes (pontos cardeais, abarcando 90° cada) como mostra a figura 4.5. Em separado, analisa-se a frequência da velocidade do vento subdividida nas 6 faixas de velocidades apresentadas na figura 4.6 e convertidas para a unidade m/s.

As porcentagens correspondentes à situação de vento calmo (velocidades muito baixas sem direção predominante), são:

JAN	19,6%	MAI	35,3%	SET	20,3%
FEV	22,3%	JUN	32,9%	OUT	16,8%
MAR	24,1%	JUL	30,6%	NOV	17,2%
ABR	29,4%	AGO	25,0%	DEZ	17,7%

Sobre as direções esperadas do vento no decorrer do ano, registra-se a direção Norte como a menos freqüente, ficando em torno dos 5% de ocorrência. O Sul e o Oeste contribuem com aproximadamente 15% cada, alterando-se entre abril e julho, quando a participação dos ventos de Oeste chegam aos 20% e os do Sul decrescem quase a 10%. Ventos do Leste são os mais freqüentes, apenas baixando da marca dos 40% entre abril e agosto, quando são compensados pela elevação na ocorrência de ventos calmos.

Para uma análise mais precisa da distribuição da direção predominante do vento, foram elaborados anemogramas mensais com a contribuição percentual de 12 direções (a cada 30°) e dos ventos calmos. (ver figura 4.7)

Quanto à distribuição da frequência do vento entre as faixas de velocidade, observa-se a redução de ocorrência das velocidades mais altas no inverno, aumentando os registros de

vento calmo. As velocidades mais freqüentes são as compreendidas entre 2,5 e 3 m/s e as abaixo de 1 m/s.

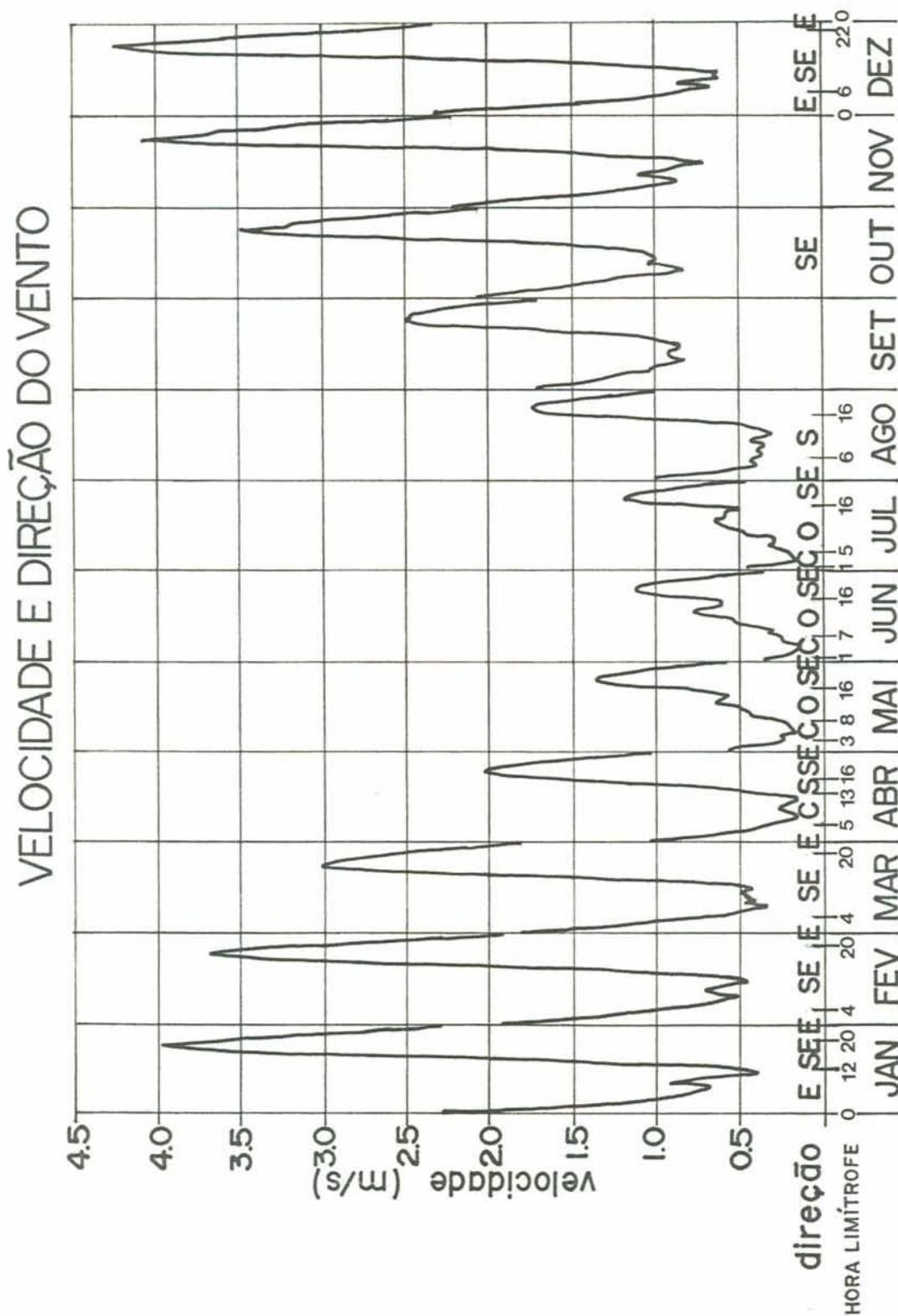


FIGURA 4.4 - Velocidade (m/s) e direção predominante do vento médio em Porto Alegre/RS.

C = vento calmo, sem registro de direção.

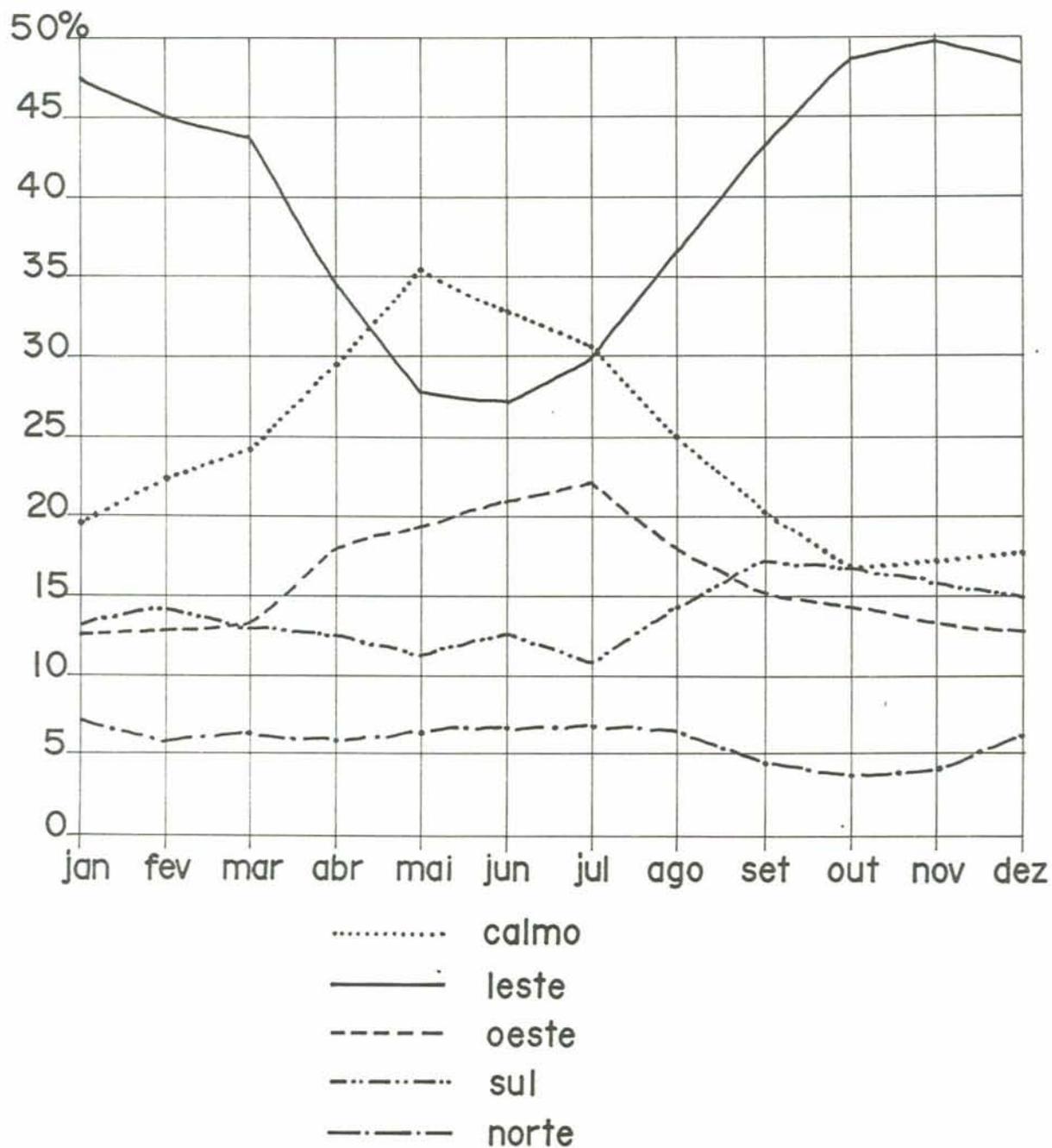


FIGURA 4.5 - Freqüência (%) da direção do vento em Porto Alegre/RS.

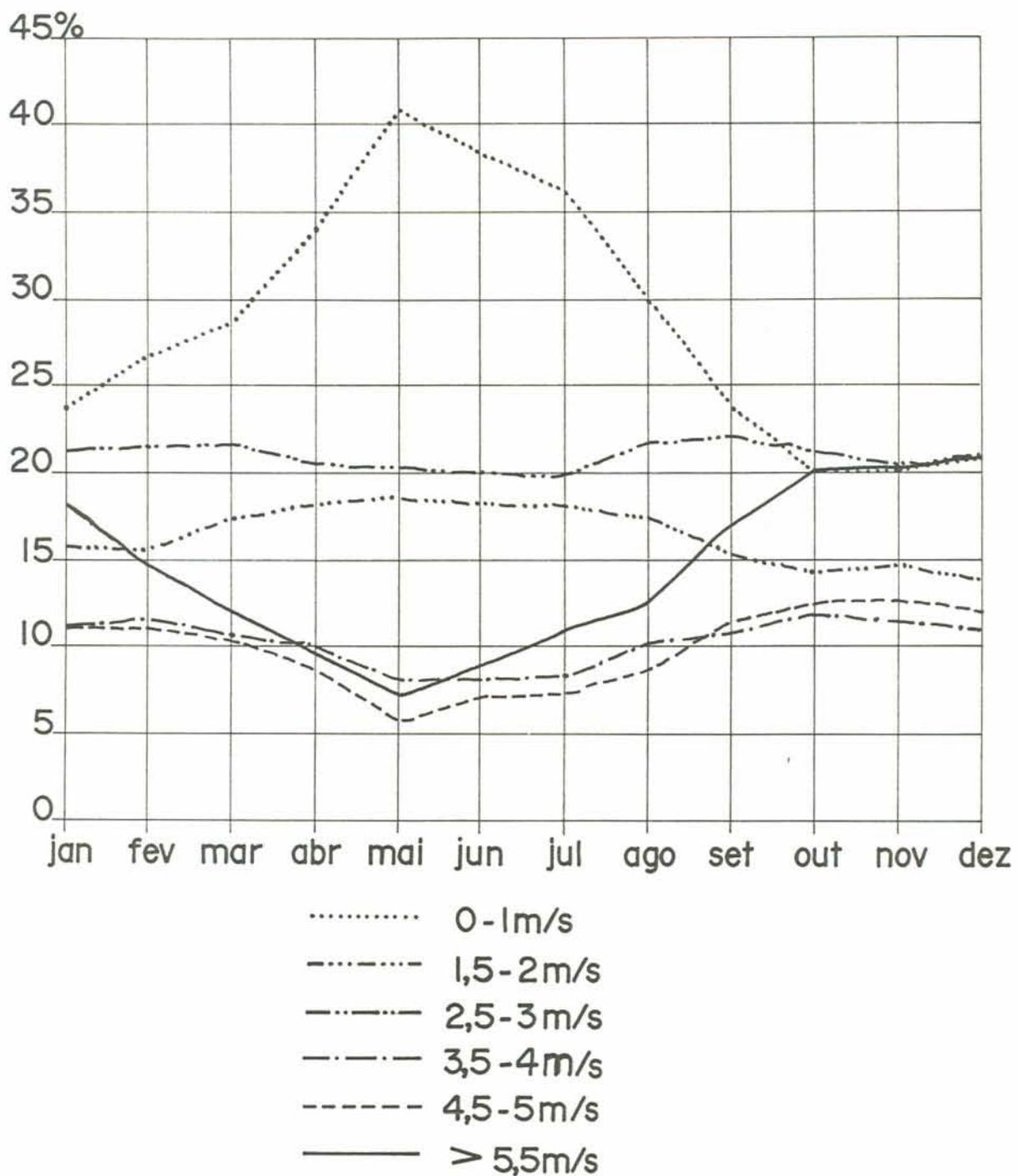


FIGURA 4.6 - Freqüência (%) da velocidade do vento em Porto Alegre/RS.

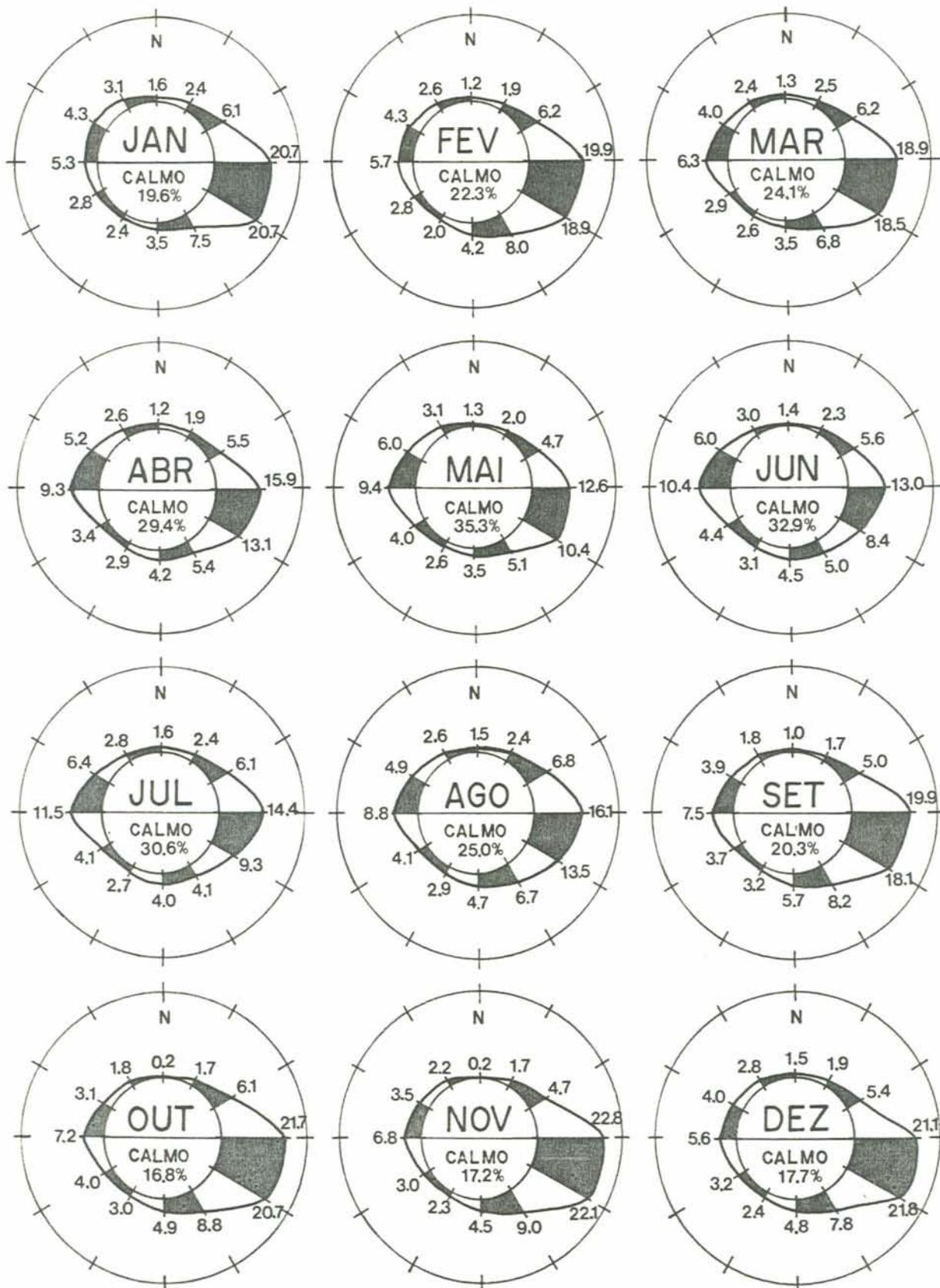


FIGURA 4.7 - Anemogramas médios mensais da freqüência (%) da direção predominante do vento em Porto Alegre/RS. (Período: 1951-70)

A inovação na apresentação destes 5 últimos gráficos fica por conta da presença da amplitude do desvio padrão para os parâmetros de temperatura e umidade, mas, principalmente, pelo registro do comportamento do vento, em relação à sua velocidade média e direção predominante, ao longo dos dias "médios" mensais.

Cabe aqui lembrar, que a validade destes dados de vento pode estar restrita à zona onde foram coletados (essencialmente plana, próxima ao Rio Guaíba), devendo sua aplicação ao restante do município portoalegrense ser cuidadosa. Qualquer barreira física (edificações, vegetação e/ou acidentes topográficos), próxima a um local de estudo específico, deve ser considerada, pois pode acarretar mudanças radicais, tanto na direção, quanto na velocidade estimada do vento.

Outro dado de interesse é o da nebulosidade média, representada pela curva do total médio de nuvens em oitavos do céu, encontrado ao longo do dia "médio" de cada mês, que aparece ladeada pelas curvas do desvio padrão (superior e inferior). Como vê-se pela figura 4.8, a dispersão dos registros é muito grande, não deixando espaço para respostas conclusivas a respeito da nebulosidade em períodos do dia e do ano.

No geral, pode-se dizer que os meses de junho a outubro (exceto agosto) tendem a ter um céu mais encoberto, se comparado ao período compreendido entre novembro e maio. No máximo, caberia afirmar que existe grande probabilidade de não ocorrer condições de céu claro ($<2/8$) por volta do meio-dia de setembro e outubro, sendo improvável a ocorrência de céu encoberto ($>6/8$) nas primeiras horas da madrugada dos meses de dezembro a março.

Entretanto, uma observação segura é a que indica, para todos os meses do ano, a tendência de aumento da nebulosidade, do início para o meio do dia, seguido de correspondente decréscimo de ocorrência de nuvens, do meio para o fim do dia.

NEBULOSIDADE total de nuvens em oitavos

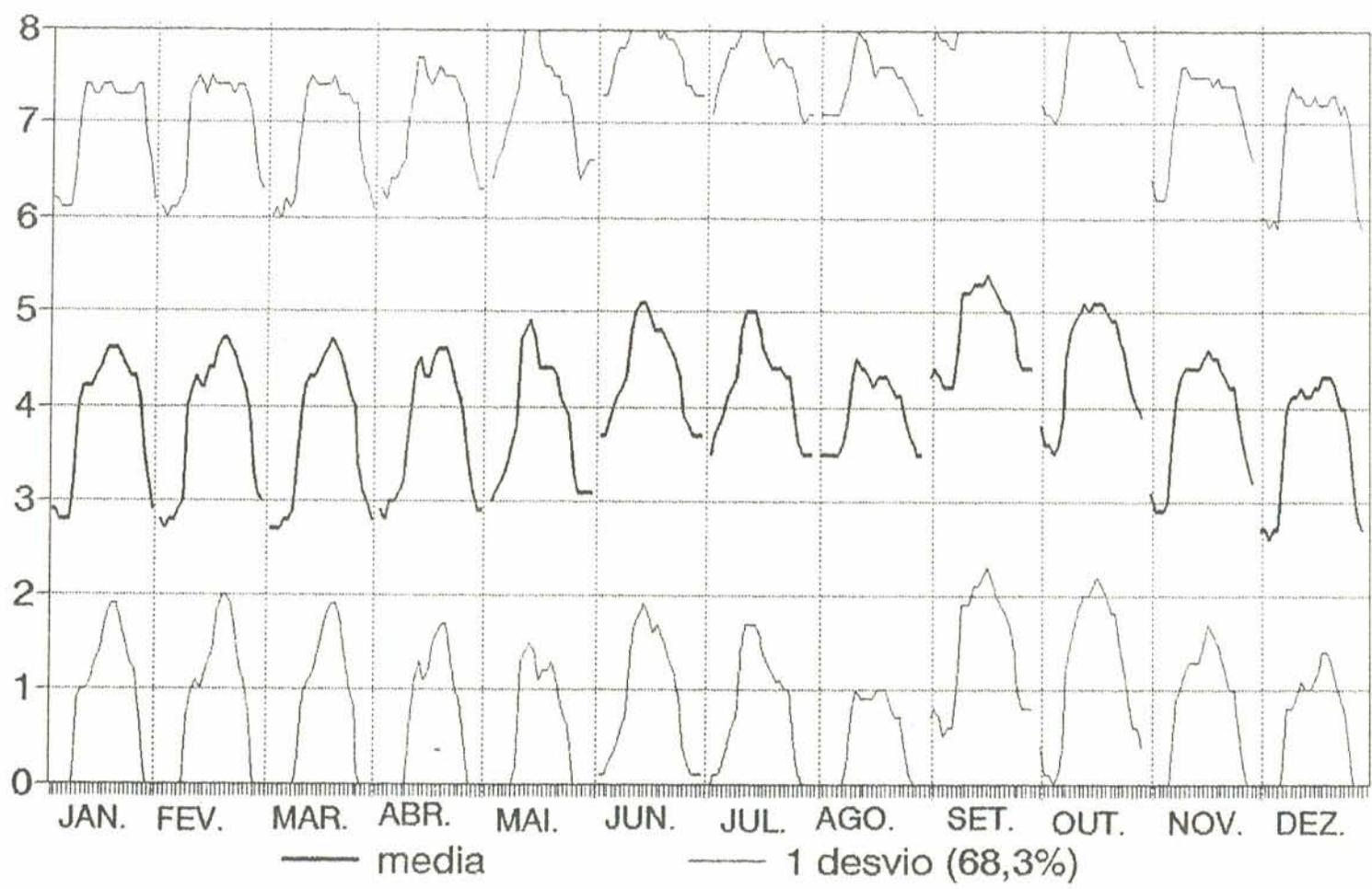


FIGURA 4.8 - Média e desvio padrão do total de nuvens em Porto Alegre/RS.

A figura 4.9 registra o número médio de dias por mês, onde houve registro de ocorrência de céu claro (nebulosidade média inferior a 2 oitavos) e céu encoberto (superior a 6 oitavos). Conforme esperado, o mínimo de dias com céu encoberto (4 e 5 dias, aprox. 15% do mês) ocorre de novembro a abril, enquanto o máximo (8 e 11 dias, aprox. 27 e 37%) acontece entre junho e outubro, com o pico em setembro. A ocorrência de céu claro aparece sem muita variação durante o ano, sendo o mínimo de 5 dias (aprox. 17%) em junho, setembro e outubro, com o máximo ocorrendo, surpreendentemente, em agosto (8 dias, aprox. 27%), seguido de julho e dos meses de verão. O registro médio de 6 dias de céu claro em fevereiro, não representa significativa queda real de ocorrência em relação ao período de verão, visto que é proporcional ao menor número de dias do mês.

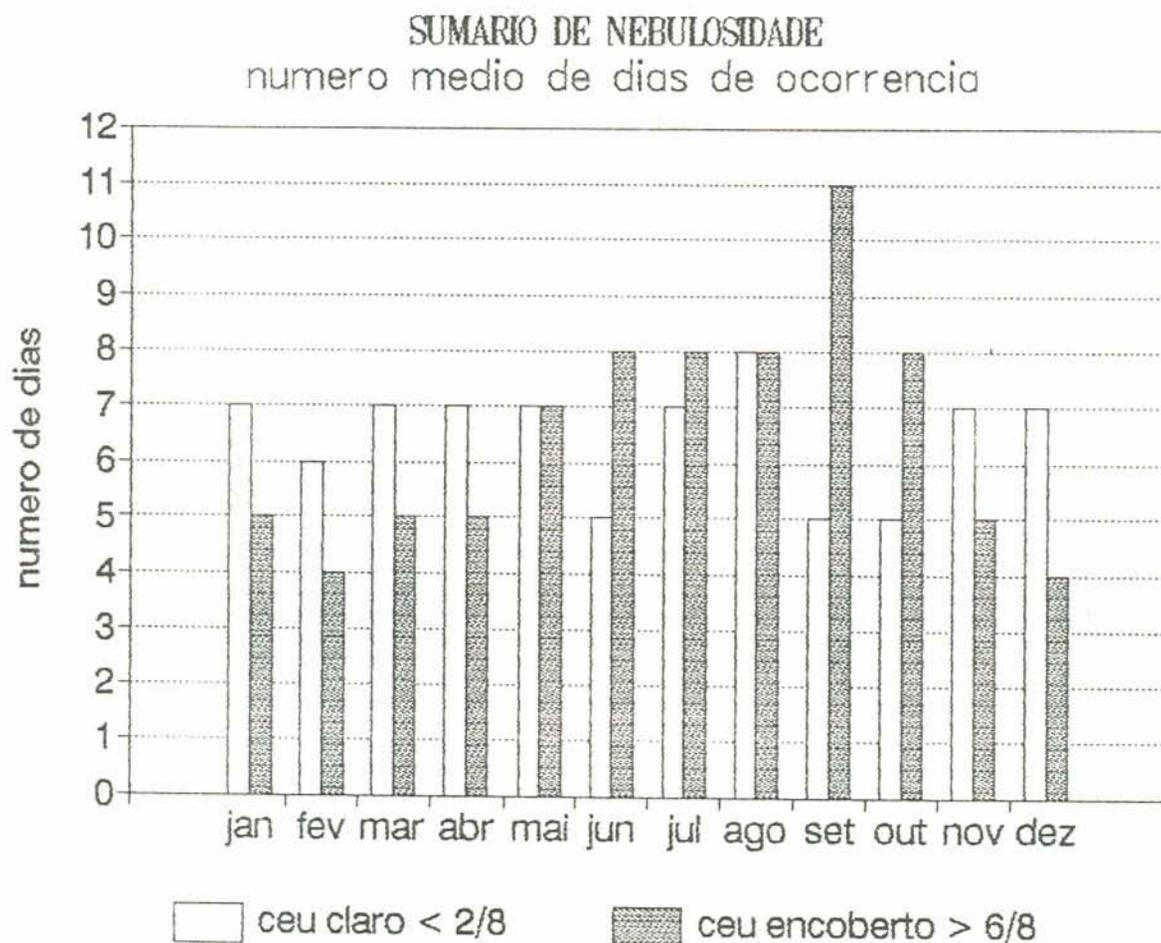


FIGURA 4.9 - Sumário de nebulosidade em Porto Alegre/RS.

4.3.3. Análise conjunta dos parâmetros climáticos

Mesmo em abordagens específicas, onde só está em pauta o estudo do comportamento de um ou dois parâmetros climáticos, é de suma importância conhecer-se a tendência geral dos principais parâmetros, capacitando-se a uma avaliação climática global do local de interesse.

Para tanto, buscando-se sempre agilizar este trabalho de pesquisa e acesso aos dados, julga-se conveniente o fornecimento dos registros mais significativos de uma forma sintética, aglutinando-se informações. Com este objetivo, foram elaboradas duas maneiras de apresentação concisa.

A primeira, representada pela figura 4.10, sobrepõe os valores médios horários mensais dos parâmetros temperatura, umidade e velocidade do vento num mesmo gráfico que utiliza as 3 unidades correspondentes ($^{\circ}\text{C}$, %, m/s) simultaneamente, além de apresentar a direção predominante do vento, representada pelas siglas dos pontos cardeais e colaterais. Este tipo de recurso permite uma visualização abrangente e conjunta das mudanças estimadas das condições climáticas durante períodos do dia e ao longo das estações do ano. Por ser circular, dando ênfase ao caráter cíclico do período anual, este gráfico apresenta deformação que se acentua com valores baixos (próximos do centro), perdendo em precisão e, portanto, tendo valor restrito a análises preliminares, como reconhecimento inicial das condições locais.

A segunda maneira, constitui-se de resumo dessas condições médias dispostas de forma tabelada. Os dias "médios" mensais são subdivididos em 4 turnos de 6 horas cada (madrugada, manhã, tarde e noite) onde são expressas as estimativas de mudança climática, através de símbolos que indicam, para cada parâmetro dado, as tendências crescentes e decrescentes, com seus valores limítrofes, ou a presença de valores máximos e mínimos, registrando a hora prevista de ocorrência e valor esperado, além da direção predominante do vento em cada turno. (Ver tabela 4.3)

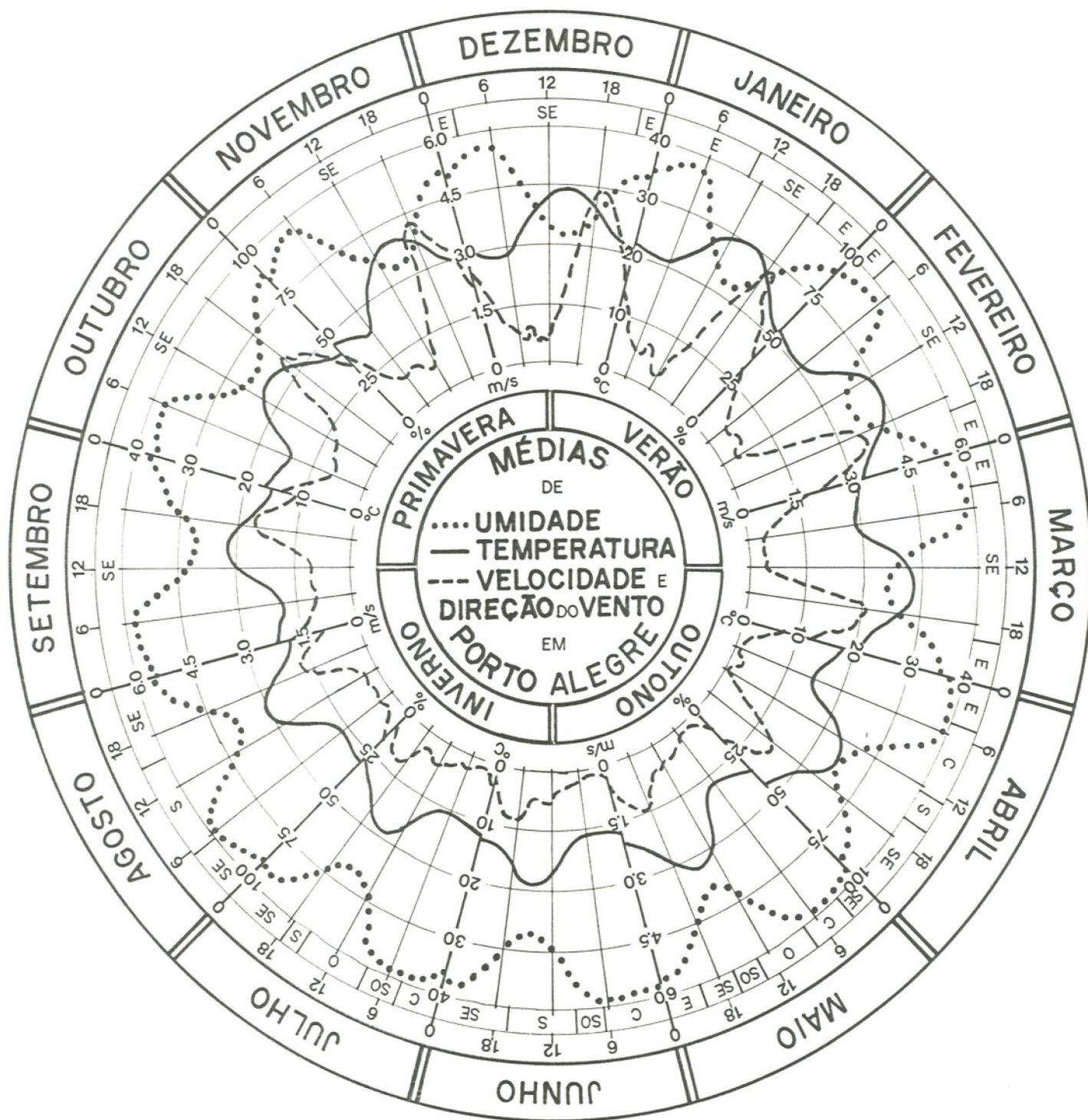


FIGURA 4.10 - Gráfico circular das condições médias de umidade, temperatura, velocidade e direção do vento em Porto Alegre / RS (Período: 1951-70).

TABELA 4.3 - Resumo das condições climáticas médias de umidade, temperatura, velocidade e direção do vento em Porto Alegre /RS (Período: 1951-70).

		MADRUG. (0-6h)	MANHÃ (6-12h)	TARDE (12-18h)	NOITE (18-0h)
JAN	T (°C)	21.9-20.1	20.1-28.4	>15h=29.8	27.7-21.9
	U (%)	86-92	92-61	<15h=56	63-86
	V(m/s)	2.3-0.8 E	* E	0.5-3.9 SE	>19h=4.0 E
FEV	T (°C)	21.9-20.0	20.0-28.0	>15h=29.5	27.4-21.9
	U (%)	87-93	93-62	<15h=57	64-87
	V(m/s)	1.9-0.6 E	* SE	0.5-3.5 SE	>19h=3.7 E
MAR	T (°C)	20.9-18.8	18.8-26.7	>15h=28.1	26.0-20.9
	U (%)	88-94	94-63	<15h=58	66-88
	V(m/s)	1.8-0.5 E	* SE	0.4-3.0 SE	3.0-1.8 E
ABR	T (°C)	17.4-15.3	15.3-22.9	>15h=24.5	22.3-17.
	U (%)	90-95	95-67	<15h=61	70-90
	V(m/s)	1.0-0.2 E	* C	0.2-1.9 S	>19h=2.0 SE
MAI	T (°C)	14.4-12.3	12.3-19.8	>15h=21.8	19.3-14.4
	U (%)	93-97	97-70	<15h=63	75-93
	V(m/s)	0.6-0.2 C	0.2-0.5 O	* S	>19h=1.4 SE
JUN	T (°C)	12.6-10.8	10.8-17.2	>15h=19.2	16.8-12.6
	U (%)	94-96	96-74	<15h=67	78-94
	V(m/s)	< 4h=0.1 C	0.3-0.7 S	* S	1.1-0.3 SE
JUL	T (°C)	12.3-10.5	10.5-16.9	>15h=19.2	16.9-12.3
	U (%)	92-96	96-73	<15h=65	76-92
	V(m/s)	< 2h=0.2 C	0.3-0.6 O	* SO	>19h=1.2 SE
AGO	T (°C)	13.2-11.2	11.2-18.2	>15h=20.3	18.1-13.2
	U (%)	91-95	95-70	<15h=64	73-91
	V(m/s)	1.0-0.4 SE	* S	0.3-1.7 S	1.7-1.0 SE
SET	T (°C)	15.1-13.4	13.4-19.8	>15h=21.1	19.2-15.1
	U (%)	90-94	94-70	<15h=66	74-90
	V(m/s)	1.7-1.0 SE	* SE	0.9-2.5 SE	2.5-1.7 SE
OUT	T (°C)	16.9-15.3	15.3-22.4	>15h=23.5	21.3-16.9
	U (%)	89-94	94-67	<15h=63	71-89
	V(m/s)	2.0-0.9 SE	* SE	1.1-3.5 SE	3.5-2.0 SE
NOV	T (°C)	18.6-16.8	16.8-25.2	>15h=26.5	24.1-18,6
	U (%)	86-92	92-59	<15h=56	64-86
	V(m/s)	2.2-0.9 SE	* SE	0.9-4.1 SE	4.1-2.2 SE
DEZ	T (°C)	< 5h=18.5	18.6-27.2	>15h=28.5	26.3-20,4
	U (%)	> 5h=92	91-58	<15h=54	61-85
	V(m/s)	2.3-0.8 SE	* SE	0.8-4.1 SE	>19h=4.2 SE

> ou < = valor máximo ou mínimo, seguido da hora de ocorrência.
 * = indefinição de tendência crescente ou decrescente no turno.
 T=temperatura / U=umidade / V=velocidade e direção do vento
 C=vento calmo, sem definição de direção predominante.

4.4 - AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

4.4.1 - Metodologia adotada

Analisando-se sob a ótica do conforto térmico dos usuários de espaços externos e internos a ambientes construídos em Porto Alegre, pode-se proceder à avaliação das condições climáticas, com o intuito de identificar os períodos críticos, que porventura ocorram, exigindo providências no sentido de contorná-los.

Conforme a norma ANSI/ASHRAE 55-1981 (AMERICAN..., 1981), é desejável que a satisfação com as condições térmicas de um ambiente seja expressa por, pelo menos, 80% de seus ocupantes.

Tratando-se de seres humanos, esta resposta será sempre subjetiva e complexa, dependendo de parâmetros de conforto ambientais como a temperatura, umidade e velocidade do ar e a radiação do ambiente (caracterizada pela temperatura radiante média e/ou pelas temperaturas superficiais dos elementos que circundam o ambiente). Os parâmetros de conforto pessoais influentes são, principalmente, a vestimenta e a atividade física desenvolvida, no momento, pelo indivíduo. (AKUTSU, 1987)

Neste tipo de avaliação torna-se de grande valia o método desenvolvido por FANGER (1972) que, visando determinar o grau de conforto ou desconforto térmico de um ambiente, utiliza a seguinte escala de sensação térmica:

muito frio.....	-3
frio.....	-2
leve sensação de frio.....	-1
confortável (neutralidade térmica).....	0
leve sensação de calor.....	+1
quente.....	+2
muito quente.....	+3

E considera os seguintes parâmetros de conforto:

- temperatura do ar
- umidade relativa do ar
- velocidade relativa do ar (velocidade do ar em relação ao indivíduo)
- temperatura radiante média do ambiente
- vestimenta trajada pelo indivíduo

- metabolismo do indivíduo (em função da atividade)

Com o algoritmo de cálculo desenvolvido por Fanger, baseado em experiências que analisaram estatisticamente as respostas térmicas de centenas de norte-americanos, é possível calcular-se o "voto médio estimado" para dadas condições e relacioná-lo à "porcentagem de pessoas insatisfeitas" na proporção dada pela figura 4.11.

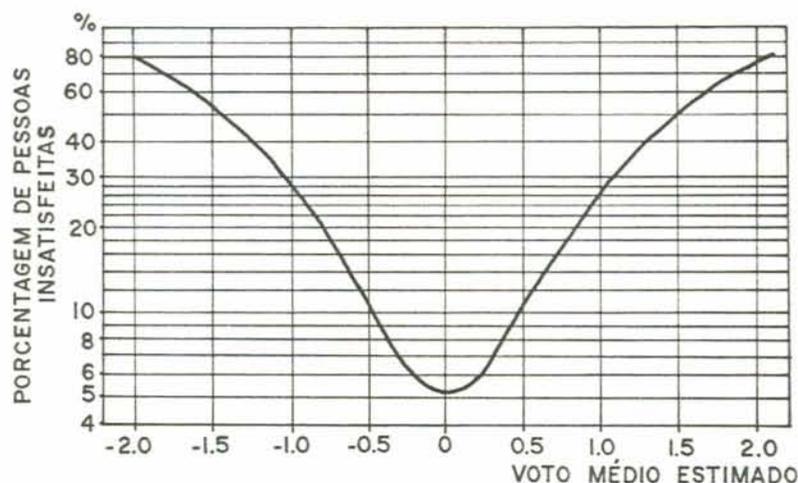


FIGURA 4.11 - Relação entre o voto médio estimado e a porcentagem de pessoas insatisfeitas.
Fonte: FANGER, 1972

A adoção desta metodologia, mesmo ressaltando-se que seu embasamento experimental reflete características intrínsecas à amostra da população eleita por Fanger, parece ser adequada até que dados mais correspondentes à realidade em estudo sejam gerados e comprovem a existência de discrepâncias significativas, que venham a justificar sua substituição. (AKUTSU, 1987)

4.4.2 - Identificação de períodos críticos

Empregando-se a listagem de um programa computacional (Programa FANGER), desenvolvida conforme a metodologia adotada e publicada pelo IPT (AKUTSU, 1987), viabilizou-se a confecção de tabelas de "estimativa de porcentagem de pessoas insatisfeitas", nos dias "médios" mensais, a intervalos de 2 horas, para duas condições de exposição simuladas para Porto

Alegre: ambiente exterior (tabela 4.4) e ambiente interior (tabela 4.6).

Para o ambiente exterior foram fixadas as seguintes condições:

a) A temperatura, umidade e velocidade do ar foram dadas diretamente pelos dados médios (horários-mensais) disponíveis;

b) A temperatura radiante média foi considerada igual à temperatura do ar;

c) A atividade simulada foi a correspondente ao metabolismo de uma pessoa andando sobre plano horizontal (velocidade de 3,2Km/h), que se aproxima de uma atividade média equivalente a 116W/m^2 (100kcal/hm^2), com eficiência mecânica nula;

d) A vestimenta simulada foi variável conforme a hora do dia e época do ano, já que se trata de um recurso prático facilmente controlado e manipulado pelo indivíduo. A tabela 4.5 indica os valores do índice de resistência térmica (unidade em CLO) correspondentes utilizados. O limite mínimo foi fixado em 0,5 clo (roupa leve de verão), considerando-se trajés formalmente aceitos em ambientes de trabalho;

Para o ambiente interior foram estabelecidas as seguintes condições:

a) A temperatura e a umidade do ar foram consideradas como sendo as mesmas do exterior, o que pressupõe uma edificação com bom desempenho térmico. (Em geral, a radiação proveniente principalmente do forro em edificações térreas, somada aos ganhos solares diretos através de vidraças, pode elevar a temperatura interna a valores muito superiores aos externos durante o verão);

b) A velocidade do ar foi fixada em 0,15m/s, por ser considerada a taxa mínima de ventilação, abaixo da qual a maioria das pessoas acusa uma sensação de sufocamento. Para condições de verão críticas, estabeleceu-se a velocidade de 1,5m/s, por ser considerada a taxa máxima acima da qual o

movimento do ar causa efeitos desagradáveis, como levantamento de papéis, pó, etc. Estes limites seguem as recomendações de KOENIGSBERGER (1980), mas discordam dos citados por AKUTSU (1987), que fixa a velocidade máxima admissível na zona de ocupação em 0,8m/s, declarando inexistente um valor mínimo para o alcance de conforto térmico;

TABELA 4.4 - Porcentagem de pessoas insatisfeitas, quanto ao conforto térmico de ambientes externos em Porto Alegre/RS.

H	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	8.0	7.0	5.4	5.1	7.0	5.8	5.3	5.2	6.7	5.8	5.3	5.1
2	8.4	8.0	5.2	5.1	6.2	6.0	5.7	5.2	6.2	6.3	5.1	5.4
4	8.2	7.7	5.2	5.2	7.1	5.7	5.2	5.1	5.8	7.0	5.1	5.6
6	8.0	6.6	5.2	5.5	7.3	5.1	5.1	5.0	5.5	6.6	5.0	5.2
8	6.8	5.9	5.2	5.2	7.3	5.1	5.0	5.2	8.1	5.2	5.1	5.0
10	36.1	28.2	16.0	5.2	5.1	6.9	6.4	5.5	5.1	5.5	6.3	19.6
12	59.6	54.9	41.1	16.3	7.6	5.1	5.1	8.1	5.0	5.1	19.1	39.5
14	66.7	63.5	48.9	14.1	5.1	5.2	5.1	5.7	5.5	5.3	22.0	48.4
16	62.2	58.6	40.9	8.5	5.1	5.1	5.1	5.0	5.1	5.7	13.2	41.2
18	33.6	30.1	14.9	6.5	5.6	5.2	5.2	5.0	8.2	5.0	5.0	14.6
20	6.7	6.3	5.2	5.6	5.3	9.0	9.8	9.0	6.2	10.0	5.0	5.7
22	6.0	5.6	9.9	8.9	7.4	5.6	5.4	5.7	8.4	5.3	7.0	5.3

Obs:-Valores em negrito indicam períodos de desconforto térmico

TABELA 4.5 - índice de resistência térmica (clo) simulado, para ocupantes de ambientes externos em Porto Alegre/RS

H	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75
2	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75
4	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75
6	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75
8	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75	0.5
10	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5
12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5	0.5
14	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5
16	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5
18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.5	0.5
20	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.5
22	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.75	0.75

Obs:-Nível de atividade simulada = 116W/m².

TABELA 4.6 - Porcentagem de pessoas insatisfeitas, quanto ao conforto térmico de ambientes internos em Porto Alegre/RS.

H	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	5.8	5.8	6.5	5.1	5.0	5.2	5.1	6.0	5.2	5.1	6.6	5.4
2	5.0	5.5	5.2	5.2	5.4	5.0	5.1	7.4	5.0	5.5	5.6	5.1
4	5.5	5.4	5.1	6.1	6.3	5.2	5.4	9.2	5.2	6.4	5.0	5.9
6	6.3	6.5	5.8	7.2	7.5	5.5	5.8	11.0	5.6	7.3	5.1	6.4
8	<u>5.4</u>	<u>5.2</u>	7.0	5.0	5.6	5.6	5.3	6.1	5.1	5.6	6.0	<u>5.8</u>
10	<u>24.0</u>	<u>19.3</u>	(7.6)	5.9	6.8	5.0	8.9	5.3	9.3	6.5	<u>5.1</u>	<u>12.4</u>
12	<u>51.4</u>	<u>46.0</u>	<u>28.0</u>	(5.0)	5.4	8.1	7.3	6.0	5.4	<u>5.5</u>	<u>14.6</u>	<u>33.5</u>
14	<u>66.2</u>	<u>61.4</u>	<u>45.1</u>	(7.6)	9.1	7.2	7.2	9.9	7.2	<u>5.4</u>	<u>22.5</u>	<u>49.1</u>
16	<u>65.2</u>	<u>61.4</u>	<u>43.7</u>	<u>7.6</u>	9.7	7.7	7.6	10.5	7.3	<u>5.1</u>	<u>18.6</u>	<u>46.6</u>
18	<u>42.1</u>	<u>38.2</u>	<u>20.5</u>	<u>5.6</u>	5.1	7.4	7.5	5.9	8.3	8.8	<u>6.9</u>	<u>22.5</u>
20	<u>11.3</u>	<u>10.3</u>	<u>5.5</u>	5.6	7.9	5.1	5.1	5.6	8.0	8.1	9.1	<u>5.5</u>
22	<u>5.1</u>	<u>5.1</u>	<u>6.6</u>	5.2	5.5	5.3	5.4	5.0	6.1	5.7	5.5	<u>7.5</u>

Obs: -Valores sublinhados obtidos com veloc. vento = 1.5m/s, para os demais, a velocidade simulada é de 0.15m/s.
 -Valores entre parênteses indicam que a veloc. média vento exterior (coletada a 1m do solo) é inferior à utilizada (1.5m/s), não alcançando o nível de conforto indicado.
 -Valores em negrito indicam períodos de desconforto térmico

TABELA 4.7 - índice de resistência térmica (clo) simulado, para ocupantes de ambientes internos em Porto Alegre/RS

H	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	1.25	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	1.5
2	1.25	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	1.5
4	1.25	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	1.5
6	1.25	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	1.5
8	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	0.75	0.5	0.5
10	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5
14	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5
16	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5
18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5
20	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5
22	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5

Obs: -Nível de atividade simulada entre 0 e 6h = 58W/m², no período restante = 116W/m².

c) A temperatura radiante média foi considerada, hipoteticamente, equivalente à temperatura do ar;

d) Foram simulados dois níveis de atividade num dia, um para o intervalo entre 0 e 6:00h (madrugada), correspondendo ao metabolismo de uma pessoa em atividade sedentária (sentada,

quieta), consumindo 58W/m^2 (50Kcal/hm^2), e outro para o restante do dia, correspondendo a uma atividade média de 116W/m^2 (100Kcal/hm^2). Em ambos os casos, a eficiência mecânica é nula;

e) A vestimenta foi variável, como para o ambiente exterior, conforme valores indicados na tabela 4.7.

Na tabela 4.4 (amb. exterior), encontram-se em negrito os períodos onde não se alcançam razoáveis níveis de conforto, ou seja, períodos onde a "porcentagem de pessoas insatisfeitas" é maior do que 10%, tendo-se extrapolado o limite compreendido entre -0.5 e $+0.5$, usualmente requerido para o "voto médio estimado". (SATTLER, 1990)

Do mesmo modo, na tabela 4.6 (amb. interior), os valores sublinhados indicam períodos onde, na tentativa de aumentar-se o conforto, admitiu-se um incremento na ventilação (de 0.15 para 1.5m/s). Os valores em negrito marcam o período onde, mesmo com a velocidade máxima admissível do ar considerada para ambientes internos (1.5m/s), não é possível atingir-se os níveis de conforto desejados, chegando-se inclusive a estimativas de mais de 60% de ocupantes insatisfeitos. Os 3 valores entre parênteses, apesar de indicarem situações de conforto ($<10\%$), não podem ser assim considerados, pois, para consegui-los, foi preciso simular uma velocidade de vento maior do que a estatisticamente esperada para o exterior, naqueles horários, tornando necessário o uso de ventilação forçada.

Analisando a zona de transição entre as áreas de conforto e desconforto delimitadas (horas ímpares), pode-se definir, com maior precisão, quais são os períodos críticos que inspiram cuidados especiais no projeto térmico de edificações em Porto Alegre.

Para a condição de verão, admitindo-se a viabilidade do uso de ventilação natural no interior das edificações, as horas limítrofes críticas podem ser mensalmente identificadas por:

NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR
11h-17h	10h-18h	09h-19h	09h-19h	10h-18h	12h-15h

Tais horas críticas, se comparadas à figura 4.1 (avaliação bioclimática de Porto Alegre), encontram-se precisamente dentro dos limites estabelecidos por AROZTEGUI (1977).

A condição de inverno não foi analisada com profundidade pois, teoricamente, pôde sempre ser amenizada com o uso de vestimenta pesada (até 3 clo). No entanto, considerando os dados das tabelas 4.4 e 4.5, referentes ao conforto térmico de ambientes externos, pode-se identificar o período crítico de inverno em Porto Alegre como o que requer os maiores índices de resistência térmica, a saber:

JUN	JUL	AGO	SET
22-10h	22-10h	22-08h	00-06h

Como as horas críticas costumam ocorrer na madrugada, encontram-se fora do expediente normal de atividades, onde o excesso de roupas poderia constituir-se em empecilho. Logicamente, edificações com previsão de atividade noturna devem merecer análise complementar.

4.4.3 - Recomendações para projeto

Como está-se enfocando apenas a condição de verão, em edificações teoricamente possuidoras de bom desempenho térmico, impõe-se pelo menos dois aspectos a serem considerados, entre as características desejáveis em ambientes construídos: VENTILAÇÃO e SOMBREAMENTO.

A ventilação foi identificada como sendo necessária para a manutenção dos níveis de conforto térmico durante 7 meses do ano (outubro a abril), mas sendo suficiente somente por curtos períodos da manhã e tarde (horas com valores sublinhados, sem negrito, da tabela 4.6). Isto é, nas horas realmente críticas, sua presença não significa mais do que um paliativo. Mesmo assim, não deve ser desprezada, pois acredita-se firmemente que uma solução satisfatória só será encontrada através do uso integrado de vários dispositivos combinados entre si.

Volta-se, portanto, à análise das características do vento no período de interesse e verifica-se que, quanto à

direção média predominante, todos os valores esperados situam-se entre 91° e 208° , em relação à orientação Norte (ver tabela A9 do anexo A). Mensalmente, tem-se a seguinte divisão, apontando-se a faixa (em graus) que contém todas as direções médias predominantes do vento nas horas críticas do verão:

OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR
11-17h	09-19h	07-23h	07-23h	07-23h	09-23h	11-19h
124-139°	112-149°	110-145°	91-160°	105-146°	97-155°	121-208°

Através da figura 4.12, pode-se visualizar claramente que a maior contribuição, em termos de ventilação, é estatisticamente esperada da orientação Sudeste, para todos os meses e períodos do dia em que torna-se fundamental. Vale lembrar aqui, mais uma vez, o comentário feito no item 4.3.2, acerca de como o microclima específico de cada terreno pode ser alterado, pela presença de barreiras físicas próximas (rever figura 1.6). Em cada caso, deve ser verificada qual fachada do prédio, ou outro ponto de interesse, será realmente atingida pelos ventos gerais do Sudeste, detectando-se possíveis alterações nas velocidades originais e, assim, otimizando-se a captação de brisas.

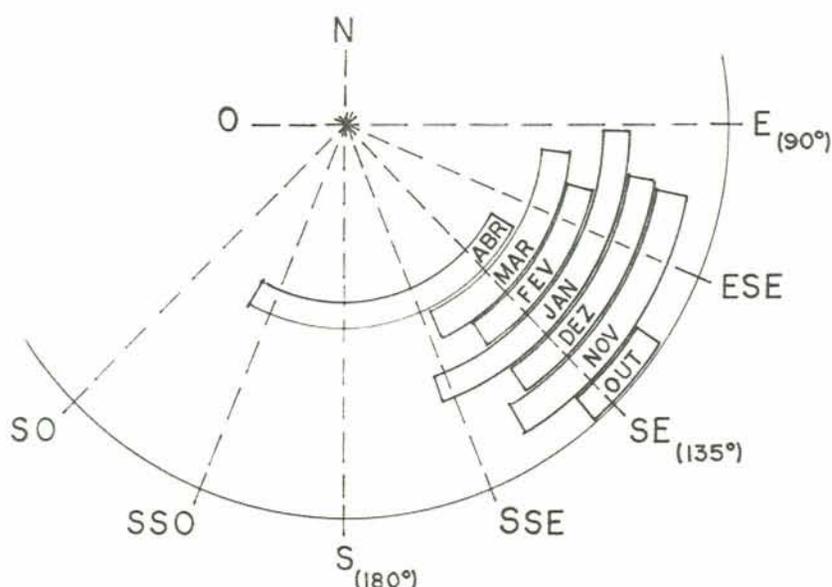


FIGURA 4.12 - Direções predominantes médias do vento no período crítico de verão em Porto Alegre / RS (1951-70)

Quanto ao sombreamento, principalmente quando áreas significativas de planos envidraçados não podem ser evitadas, torna-se um dos aspectos de consideração mais urgente, na medida em que pode impedir ganhos térmicos fabulosos, em forma de radiação solar direta.

A importância do sombreamento de edificações tem produzido inúmeros trabalhos, preocupados, principalmente, em fornecer informação sobre a trajetória aparente do sol e métodos de cálculo de dispositivos de sombra. Dentre eles, o método apresentado por ETZION (1985) destaca-se pela simplicidade e rapidez com que pode ser utilizado.

Apesar de ser restrito a aberturas retangulares, o método prima em fornecer a forma do dispositivo mínimo necessário, para sombrear, exatamente, a superfície da abertura, num determinado instante. A base do cálculo é a definição das coordenadas de um único ponto "chave", exigindo, para tanto, o conhecimento prévio das dimensões da abertura (largura e altura do vão a sombrear), orientação solar da fachada em estudo, bem como a altura e o azimute solar na hora desejada.

No Anexo B encontra-se a exposição da metodologia de cálculo, com as equações necessárias, dispostas de modo a facilitar sua aplicação prática para as condições críticas do verão portoalegrense.

O método prova seu potencial prático, ao caracterizar-se como instrumento apto a incrementar o domínio sobre as técnicas de sombreamento, aumentando a confiança do profissional no desempenho de sua criação.

De fato, o cálculo é enormemente facilitado pelo uso de técnicas computacionais elementares, sendo, contudo, perfeitamente acessível quando auxiliado por simples calculadoras de bolso programáveis. Além disso, uma vez identificadas as horas limites críticas de cada orientação (ver exemplos dados no anexo B), pode-se testar diretamente as situações mais problemáticas, abstendo-se de calcular as demais por já estarem, desta forma, automaticamente supridas.

A ausência de proteção solar externa em aberturas determina, com frequência, a interrupção de suas funções de iluminação e ventilação naturais, ocasionada pela necessidade do fechamento de cortinas ou persianas, para o bloqueio da entrada perniciososa de raios solares. Assim, aos prováveis gastos com refrigeração, somam-se os provenientes da iluminação artificial complementar.

Principalmente em grandes conjuntos habitacionais, onde centenas de aberturas padrão são locadas em orientações pré-determinadas, a aplicação de um método simples de definição do sombreamento torna-se de inestimável valia. Indústrias de esquadrias pré-fabricadas poderiam, inclusive, já fornecer a proteção solar suficiente para determinadas (ou quaisquer) orientações, em cidades situadas dentro de faixas de latitude definidas, uma vez estando determinado o período anual, onde o sombreamento é, de fato, desejado ou imprescindível.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Tarefa básica perseguida no presente estudo, a valorização da climatologia aplicada ao ambiente construído pretende ter sido alcançada, principalmente, através da explicitação de uma característica que lhe é intrínseca: sua abrangência, de amplitude incontestável, atingindo decisões técnicas ligadas a, praticamente, todas as áreas de concentração da construção civil.

Apresenta, portanto, co-responsabilidade direta sobre a garantia de desempenho de requisitos vitais ao sucesso de qualquer empreendimento construtivo, quais sejam: conforto e saúde do usuário, conservação energética, durabilidade de materiais, gerenciamento de obras, estabilidade estrutural, etc. Assim sendo, esta área do conhecimento acaba por intervir, de uma forma ou de outra, no argumento inquestionável da viabilidade econômica. Este, por si só, é suficiente para exigir que o estudo climatológico ocupe o espaço condizente com sua importância no espectro das linhas de pesquisa em construção.

Dentre as diversas recomendações e sugestões que se encontram disseminadas ao longo do texto, principalmente tendo em vista propostas para estudos futuros, cabe listar algumas que se destacam por seu aspecto prático e/ou urgente. Os pontos levantados estão a seguir agrupados conforme seu caráter geral ou específico, citando-se ainda os pertinentes a estudos de caso locais (cidades ou bairros).

A) RECOMENDAÇÕES GERAIS:

- É constatada a carência, a ser suprida, de trabalhos que proponham e/ou comprovem a validade de metodologias gerais de pesquisa em climatologia aplicada ao ambiente construído, ampliando o leque de informações e aprofundando estruturas, como a apresentada no sub-capítulo 1.1;

- Existe urgência na divulgação da matéria entre o meio responsável pela formação profissional na área, incentivando atuações interdisciplinares, principalmente com climatologistas;

- Recomenda-se a criação de mecanismos de fomento à disponibilização das informações climatológicas, objetivando a elaboração de critérios adaptados à demanda específica de planejadores e arquitetos, e visando reverter o notório ceticismo em relação ao instrumental teórico-técnico até o momento disponível;

- Sugere-se o zoneamento climático de grandes zonas (Estados), adaptado às principais demandas regionais, conforme solicitações (planejamento urbano, projeto, construção ou manutenção predial, etc.);

B) RECOMENDAÇÕES ESPECÍFICAS:

- Que se intensifiquem esforços de pesquisa voltados à previsão da influência exercida por conjuntos edificados sobre o microclima em seu entorno. Em muitos casos, dependendo do volume a ser edificado (área, forma, orientação), justifica-se, inclusive, a confecção de relatório de impacto ambiental, estimando-se alterações no conforto de pedestres e/ou áreas vizinhas, e no desempenho do interior edificado;

- Que se disponibilizem informações úteis ao gerenciamento de obras, estabelecendo os períodos mais

convenientes para a execução de serviços, que podem ter sua qualidade e/ou produtividade comprometidas pelo clima local;

- Que sejam conduzidos estudos visando garantir a durabilidade e aparência externa dos materiais de construção empregados, testando medidas de proteção contra intempéries e sugerindo detalhamentos de projeto e execução;

- Que sejam traçadas estratégias de conservação de energia ao longo da vida útil das edificações, não esquecendo os aspectos sócio-culturais e psicológicos que ditam o comportamento dos usuários;

- Que se vise o conforto ambiental, privilegiando a ventilação e iluminação naturais, minimizando a necessidade de climatização mecânica, e deixando tanto quanto possível o controle decisório das condições ambientais ao encargo do usuário de cada compartimento.

C) RECOMENDAÇÕES REFERENTES A ESTUDOS DE CASO LOCAIS:

- Criar incentivos à implementação e análise de banco de dados climáticos, enquanto fonte inesgotável de informações úteis ao ambiente construído local, através de estações coletoras próprias, superando as atuais limitações das estações meteorológicas existentes, geralmente direcionadas para o uso agrícola ou aeroespacial;

- Aprofundar estudos específicos, dentro do recinto urbano, sobre circulação dos ventos, zoneamento de temperaturas, chuva incidente, e outros, produzindo mapeamentos capazes de identificar áreas críticas para a edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKUTSU, M., PEDROSO, N. G. Dia típico de projeto: instrumento para desenvolvimento de projeto arquitetônico. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Edificações. **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI, 1988. p.491-494.
2. AKUTSU, M., SATO, N. M. N., PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimentos para avaliação**. São Paulo: IPT. Divisão de Edificações, 1987. 74 p. (Publicação IPT, 1732)
3. ALUCCI, M. P., CARNEIRO, C. M. C., BARING, J. G. A. **Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica**. São Paulo: IPT. Divisão de Edificações, 1986. 95p. (Publicação IPT, 1729).
4. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environment conditions for human occupancy: ANSI/ASHRAE 55-1981**. Atlanta, Ga., 1981.
5. AROZTEGUI, J. M. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: NORIE, UFRGS, 1977. 92p.
6. BACHLIN, W. e PLATE, E. J. The dispersion of accidentally released gases in a built-up area. **Energy and Buildings**, v.11, n.1/3, p.163-169, Mar. 1988.
7. BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. Porto Alegre, 1987. 168p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.

8. BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.1-10, Mar. 1988.
9. BITAN, A., ASSIF, S. Climatic data analysis and its use and representation for planners. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, p.11-22, 1984.
10. BORVE, A. B. Settlement and housing design with special regard to local climatic conditions in cold and polar regions - examples from Northern Norway. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.33-39, Mar. 1988.
11. BRÜNDL, W. Climate function maps and urban planning. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.123-127, Mar. 1988.
12. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT **Building in hot climates: a selection of overseas building notes.** London: Her Majesty's Stationery Office, 1980. 520p.
13. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. Inovação e pioneirismo na administração federal. São Paulo: CCEAF, n.1, set. 1991.
14. CORBELLA, O. D. Arquitetura bioclimática ou de baixo consumo energético - uma proposta para trabalhar com a realidade. In: SEMINARIO DE ARQUITETURA BIOCLIMATICA, 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: CESP, 1985. p.41-55.
15. COSTA, L. Arquitetura bioclimática. In: SEMINARIO DE ARQUITETURA BIOCLIMATICA, 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: CESP, 1985. p.3-6.
16. DANNI, I.M. A ilha térmica de Porto Alegre. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Série Geografia n.8. Associação dos Geógrafos Brasileiros. Porto Alegre, 1980.
17. DAVIS, I. Adapting to hazards: some observations on the relationship of the extreme climatic forces of flooding and high winds to the maintenance and planning of

- settlements for low-income families within developing countries. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.3, p.195-203, Nov. 1984.
18. DIETZ, A. G. H. A review of teaching methods for architects, planners and builders. **Document. Swedish Council for Building Research**, Stockholm, D20, p.263-273, 1973.
 19. ENERGY 85 - Energy use in the built environment. **Document. Swedish Council for Building Research**, Stockholm, D.1, 1985.
 20. ETZION, Y. Design of shading devices using a one point method. A technical communication. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.8, n.4, p.287-290, Dec. 1985.
 21. FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972.
 22. FORN, A., LOTERSZTAIN, I. **Quality rules for thermal performance of low cost dwellings: Building climatology for Argentine**. Paper presented at the Colloquium on Teaching the Teachers on Building Climatology, 1973, Stockholm. 20p.
 23. GRIMM, C. T., WAGNER, N. K. Weather effects on mason productivity. **Journal of the Construction Division**, New York, ASCE, v.100, n.3, p.319-335, Sept. 1974.
 24. HASENACK, H. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre/RS**. Porto Alegre, 1989. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Curso de Pós-Graduação em Ecologia, UFRGS.
 25. HEIDT, V. The impact of climatic and topographical interaction on the immission situation of an industrial-urban agglomeration. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.2, p.175-180, Oct. 1984.
 26. HERZ, R. Considering climatic factors for urban land use planning in the Sahelian Zone. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.3, p.91-101, Mar. 1988.

27. HITCHIN, E. R. Degree-days in Britain. **Building Services Engineering. Research & Technology**, v.2, n.2, p.73-82, 1981.
28. HOPPE, P. Comfort requirements in indoor climate. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.249-257, Mar. 1988.
29. JEDLICKA, A. D. Improving conservation behavior. **Energy Engineering**, New York, v.82, n.5, p.28-34, 1985.
30. JOVICIC, S. World meteorological organization activities in urban and building climatology. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.1, p.87-88, Sept. 1984.
31. LIVI, F.P. **Análise comparativa da temperatura e umidade relativa do ar na área urbana e rural de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1983. 87p. Dissertação (Bacharelado) - Departamento de Geografia, UFRGS.
32. KEEBLE, E. J. **Local climate and site development**. Garston: Building Research Establishment, 1985. 13p.
33. _____. **Macroclimatic data and its interpretation for problems of building deterioration**. Presented to Seminar on Building Deteriorology, London, 1986. 20p.
34. KOEHN, E., BROWN, G. Climatic effects on construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v.111, n.2, p.129-137, June 1985.
35. KOENIGSBERGER, O. et al. **Manual of tropical housing and building**. London: Longman, 1980.
36. KROELING, P. Health and well-being disorders in air-conditioned buildings; comparative investigations of the "Building Illness" Syndrome. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.277-282, Mar. 1988.
37. LACY, R. E. **Liste des données météorologiques utiles à la construction**. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1972. 16p. (CIB. Report,15)
38. _____. **An eye on the building weather**. **Building Research and Practice**, p.108-113, Mar./Apr. 1979.

39. LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de coberturas leves com ático: bancada de testes e modelo matemático.** Porto Alegre, 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
40. LINDQVIST, S. Local climate and physical planning. Document. **Swedish Council for Building Research**, Stockholm, D20, p.44-46, 1983.
41. LOHMEYER, A. et al. Case study: quantitative determinaton of the pedestrian comfort near a high-rise building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.149-156, Mar. 1988.
42. MACHADO, F. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950.
43. MANES, A., SETTER, I., DECKER, D. N. Potential air pollution climates and urban planning. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.2, p.139-148, Oct. 1984.
44. MARQUARDT, H. **Determinantes climatológicas para a arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Gráfica da Universidade Federal, 1969.
45. MASCARÓ, J. L. O consumo de energia nos edifícios. In: SEMINARIO DE ARQUITETURA BIOCLIMATICA, 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: CESP, 1985. p.33-39.
46. MASCARÓ, J. L. et al. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre: PROPAP, UFRGS, 1983.
47. MASCARÓ, L. R. de. Clima, arquitetura e energia. In: SEMINARIO DE ARQUITETURA BIOCLIMATICA, 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: CESP, 1985. p.11-31.
48. MAYER, H. Results from the research programm "STADTKLIMA BAYERN" for urban planning. **Energy and Buildings**. Lausanne, v.11, n.1/3, p.115-121, Mar. 1988.
49. NALL, D., ARENS, E. **A climate data compression scheme for building energy analysis.** NBSIR 75-1525, National Bureau of Standards, Washington, 1978.

50. NOWICKI, M. Planning of industrial sites in a city from the point of view of air pollution control. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.171-179, Mar. 1988.
51. OKK, T. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlements planning. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.1, p.1-10, Sept. 1984.
52. _____. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.103-113, Mar. 1988.
53. OLOFSDOTTER, B. Energy and the built environment. Document. **Swedish Council for Building Research**, Stockholm, D9, 73p, 1982.
54. PAGE, J. K. **Application of building climatology to the problems of housing and building for human settlements**. Geneva: World Meteorological Organization, 1976. 65p. (WMO. Technical Note, 150)
55. PINE, G., OLSZEWSKI, M. The potential economic benefits of energy conservation research. **Energy**, Oxford, v.10, n.7, p.843-849, July 1985.
56. POTCHTER, O. Climatic aspects in rural settlement development in hot, arid zones: a case study of the central Jordan Valley. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.73-89, Mar. 1988.
57. PRESSMAN, N. Developing climate-responsive winter cities. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.11-22, Mar. 1988.
58. RAHAMIMOFF, A. Residential cluster based on climate and energy considerations. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.2, p.89-107, Oct. 1984.
59. RESEARCH and developments on indoor air quality. New position paper to guide ASHRAE indoor air effort. **Energy Engineering**, New York, v.85, n.2, p.53-54, 1988.
60. SACRE, C. **Modelisation du climat en journees climatologiques types en vue des applications**

energetiques. Nantes: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [1986] 19p.

61. SATTLER, M. A. **Caracterização dos fatores e elementos determinantes do clima.** Porto Alegre, 1990. Polígrafo da disciplina CIVP60 - Conforto Ambiental na Edificação I ministrada no CPGEC / UFRGS.
62. _____. Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre. CIENTEC, **Boletim Técnico. Fundação de Ciência e Tecnologia,** Porto Alegre, n.9, 1989.
63. SCHIRMER, H. Climate and regional land-use planning. **Energy and Buildings,** Lausanne, v.7, n.1, p.35-53, Sept. 1984.
64. SCHOENAU, G. J., KEHRIG, R. A. A method for calculating degree-days to any base temperature. **Energy and Buildings,** Lausanne, v.14, n.4, p.299-302, 1990.
65. SHAPIRO, Y., EPSTEIN, Y. Environmental physiology and indoor climate - thermoregulation and thermal comfort. **Energy and Buildings,** Lausanne, v.7, n.1, p.29-34, Sept. 1984.
66. SHAVIV, E. Climate and building design - tradition, research and design tools. **Energy and Buildings,** Lausanne, v.7, n.1, p.55-69, Sept. 1984.
67. STERLING, E. et al. Architechnology: an architectural-technological integration for improved environmental quality in buildings. **Document. Swedish Council for Building Research,** Stockholm, D20, p. 145-151, 1984.
68. STERN, P. et al. Answering behavioral questions about energy efficiency in buildings. **Energy,** Oxford, v.12, n.5, p.339-353, May 1987.
69. STERTEN, A. K. Climate and weather protection systems in settlement planning in the arctic regions of Northern Norway. **Energy and Buildings,** Lausanne, v.11, n.1/3, p.23-32, Mar. 1988.

70. SWEDISH NATIONAL HOUSING BOARD, SWEDISH COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH Buildings and health - information and education campaign. **Newsletter**, n.2, 1990.
71. THE METEOROLOGICAL OFFICE. **Services to the construction industry**. Bracknell, Berks., 1985. 10p.
72. VAN DEVENTER, E. N. **Climatic and other design data for evaluating heating and cooling requirements of buildings**. Pretoria: National Building Research Institute, 1971. (CSIR Research Report, 300).
73. VAN DEVENTER, E. N., VAN STRAATEN, J. F. **A rational basis for assessing climatic data for use in building design**. Pretoria: National Building Research Institute, 1965. 15p.
74. WARSHAW, L. Suggestions for study programs in universities on the impact of climate on building and planning. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.7, n.1, p.23-28, Sept. 1984.
75. WILK, R. R., WILHITE, H. L. Why don't people weatherize their homes? An ethnographic solution. **Energy**, Oxford, v.10, n.5, p.621-629, May 1985.
76. WILSON, C. **Energia: estratégias globais, 1985-2000**. Rio de Janeiro: Atlântida, 1978. 289p.
77. WYON, D. A life-size dummy for human body heat measurements **Energy Engineering**, New York, v.79, n.2, p.69-71, 1982.
78. ZRUDLO, L. R. A climatic approach to town planning in the Arctic. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.41-63, Mar. 1988.

ANEXO A

TABELAS DOS DADOS ORIGINAIS UTILIZADOS

FONTE: SUMARIOS CLIMATOLÓGICOS - PORTO ALEGRE/RS 1951-1970
(AEROPORTO SALGADO FILHO - MINISTÉRIO DA AERONAUTICA)

TABELA A1 - Valores horários-mensais médios da temperatura do bulbo seco (°C) em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados: 175296

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	21.9	21.9	20.9	17.7	14.4	12.6	12.3	13.2	15.1	16.9	18.6	20.4
01	21.6	21.5	20.5	17.0	14.0	12.2	11.9	12.7	14.8	16.6	18.2	19.9
02	21.2	21.1	20.1	16.6	13.6	11.9	11.6	12.4	14.5	16.3	17.9	19.5
03	20.8	20.8	19.7	16.2	13.2	11.5	11.2	12.0	14.2	16.0	17.4	19.1
04	20.5	20.5	19.4	15.8	12.9	11.2	11.0	11.7	13.9	15.7	17.1	18.8
05	20.2	20.2	19.1	15.5	12.6	11.0	10.7	11.4	13.6	15.4	16.8	18.5
06	20.1	20.0	18.8	15.3	12.3	10.8	10.5	11.2	13.4	15.3	16.8	18.6
07	21.3	20.6	18.9	15.3	12.4	10.8	10.6	11.1	13.6	16.1	18.4	20.2
08	23.2	22.3	20.4	16.4	13.0	11.2	10.8	11.8	14.7	17.6	20.1	22.1
09	24.9	24.3	22.4	18.2	14.6	12.4	12.0	13.4	16.2	19.2	21.8	23.8
10	26.3	25.8	24.1	20.1	16.4	14.1	13.7	15.2	17.6	20.5	23.2	25.1
11	27.5	27.1	25.6	21.7	18.3	15.9	15.5	16.9	18.8	21.6	24.4	26.3
12	28.4	28.0	26.7	22.9	19.8	17.2	16.9	18.2	19.8	22.4	25.2	27.2
13	29.2	28.7	27.5	23.7	20.8	18.2	18.1	19.2	20.5	23.1	26.0	27.9
14	29.6	29.2	28.0	24.3	21.5	18.9	18.9	19.9	20.9	23.5	26.4	28.4
15	29.8	29.5	28.1	24.5	21.8	19.2	19.2	20.3	21.1	23.5	26.5	28.5
16	29.5	29.2	27.9	24.3	21.7	19.1	19.1	20.1	20.9	23.1	26.0	28.2
17	28.8	28.5	27.1	23.5	20.9	18.3	18.4	19.4	20.2	22.4	25.2	27.4
18	27.7	27.4	26.0	22.3	19.3	16.8	16.9	18.1	19.2	21.3	24.1	26.3
19	26.3	26.0	24.5	20.8	17.9	15.6	15.6	16.5	17.9	20.0	22.6	24.9
20	24.8	24.6	23.3	19.8	16.9	14.8	14.7	15.5	17.0	19.0	21.3	23.4
21	23.6	23.6	22.3	18.9	15.9	14.0	13.9	14.7	16.4	18.2	20.3	22.2
22	22.9	22.9	21.7	18.3	15.3	13.4	13.3	14.2	15.9	17.7	19.7	21.5
23	22.4	22.4	21.2	17.8	14.8	13.0	12.8	13.7	15.5	17.3	19.1	20.9
MM	24.7	24.4	23.1	19.4	16.4	14.3	14.2	15.1	16.9	19.1	21.4	23.3

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A2 - Valores horários-mensais do desvio padrão da temperatura do bulbo seco (°C) em Porto Alegre/RS. Período: 1951-70 / Registros computados: 175296

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	2.3	2.2	2.5	3.3	3.9	3.8	3.9	3.6	3.1	3.0	2.6	2.5
01	2.3	2.3	2.5	3.4	4.0	3.9	3.9	3.6	3.1	3.0	2.7	2.5
02	2.3	2.3	2.6	3.5	4.1	3.9	4.0	3.6	3.2	3.1	2.6	2.5
03	2.4	2.4	2.6	3.6	4.2	4.0	4.0	3.7	3.3	3.2	2.8	2.6
04	2.5	2.5	2.7	3.7	4.2	4.1	4.0	3.8	3.5	3.2	2.8	2.7
05	2.6	2.6	2.7	3.7	4.3	4.2	4.1	3.8	3.5	3.3	3.0	2.9
06	2.7	2.7	2.9	3.8	4.3	4.3	4.1	3.9	3.6	3.4	3.1	2.9
07	2.4	2.7	2.9	4.0	4.3	4.3	4.2	3.9	3.5	3.1	2.7	2.6
08	2.3	2.4	2.7	3.6	4.2	4.3	4.1	3.8	3.2	2.9	2.6	2.4
09	2.5	2.4	2.8	3.4	3.9	4.0	4.0	3.6	3.1	3.0	2.8	2.6
10	2.7	2.6	3.0	3.3	3.9	4.0	4.1	3.7	3.3	3.2	3.0	2.9
11	3.0	2.8	3.1	3.4	3.9	4.2	4.4	4.1	3.7	3.5	3.3	3.1
12	3.2	3.1	3.3	3.5	4.0	4.3	4.7	4.4	4.1	3.7	3.5	3.3
13	3.5	3.3	3.5	3.7	4.1	4.5	5.0	4.8	4.4	3.9	3.7	3.5
14	3.6	3.5	3.8	3.8	4.2	4.6	5.2	5.0	4.6	4.0	3.9	3.7
15	3.8	3.7	3.9	3.9	4.2	4.7	5.3	5.2	4.7	4.2	4.0	3.9
16	3.8	3.7	3.9	3.9	4.2	4.6	5.3	5.2	4.7	4.2	4.0	4.0
17	3.7	3.7	3.7	3.8	4.0	4.4	5.1	4.9	4.4	4.0	3.8	3.8
18	3.4	3.3	3.4	3.5	3.7	3.9	4.6	4.4	4.0	3.6	3.6	3.5
19	3.0	2.9	3.0	3.2	3.6	3.7	4.2	3.9	3.5	3.2	3.1	3.0
20	2.5	2.5	2.7	3.1	3.6	3.6	4.0	3.6	3.3	3.0	2.9	2.7
21	2.3	2.3	2.5	3.0	3.6	3.7	3.9	3.5	3.1	2.9	2.7	2.4
22	2.2	2.2	2.5	3.1	3.7	3.7	3.9	3.5	3.1	2.9	2.7	2.4
23	2.2	2.2	2.5	3.2	3.8	3.8	3.9	3.5	3.0	2.9	2.6	2.4
MM	2.8	2.8	3.0	3.5	4.0	4.1	4.3	4.0	3.6	3.3	3.1	3.0

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A3 - Valores horários-mensais médios da umidade relativa (%) em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados: 175280

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	86	87	88	90	93	94	92	91	90	89	86	85
01	87	88	89	91	94	94	93	92	91	90	87	87
02	88	89	90	92	95	95	94	93	92	91	89	88
03	90	91	92	94	96	95	95	94	93	92	91	89
04	91	92	93	95	96	96	95	95	94	93	92	91
05	92	93	94	95	96	96	95	95	94	93	92	92
06	92	93	94	95	97	96	96	95	94	94	92	91
07	88	91	93	95	96	96	95	95	93	90	86	85
08	80	84	88	91	94	94	94	92	89	84	79	77
09	73	76	80	85	90	91	91	87	83	78	72	69
10	67	70	73	77	83	86	85	81	78	72	66	65
11	63	65	67	71	76	79	78	74	73	69	63	61
12	61	62	63	67	70	74	73	70	70	67	59	58
13	58	60	60	64	67	71	69	67	68	64	57	55
14	56	58	59	62	65	68	67	65	67	63	56	54
15	56	57	58	61	63	67	65	64	66	63	56	54
16	57	58	59	62	64	68	66	64	68	65	57	55
17	59	61	62	65	68	72	69	67	70	67	60	58
18	63	64	66	70	75	78	76	73	74	71	64	61
19	67	69	72	76	81	83	81	79	79	76	70	66
20	73	75	77	80	84	86	84	83	83	80	75	72
21	78	79	82	84	88	89	88	87	86	84	80	77
22	81	82	84	87	90	91	90	88	87	86	82	81
23	84	85	86	88	92	92	91	90	89	87	85	83
MM	75	76	78	81	84	86	84	83	82	80	75	73

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83071, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A4 - Valores horários-mensais do desvio padrão da
 unidade relativa (%) em Porto Alegre/RS.
 Período: 1951-70 / Registros computados: 175280

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	7.6	7.4	6.7	6.4	6.2	6.5	6.9	7.2	7.2	7.2	7.5	8.4
01	7.4	6.8	6.4	6.1	5.9	6.3	6.8	6.7	6.8	6.5	7.7	7.6
02	7.1	6.6	6.1	5.7	5.8	6.1	6.9	6.6	6.6	6.2	7.4	7.2
03	6.6	6.0	6.0	5.5	5.8	5.9	6.5	6.3	6.5	5.9	6.6	6.9
04	6.4	5.9	5.7	5.0	5.5	5.9	6.2	6.0	6.4	5.9	6.1	6.8
05	6.2	5.9	5.5	5.3	5.2	5.6	6.3	5.7	6.2	5.6	6.0	6.5
06	6.4	5.9	5.4	5.0	5.2	5.9	6.2	5.8	5.8	5.7	6.2	7.1
07	7.4	6.6	6.1	5.5	5.7	6.5	6.5	6.0	6.5	6.8	7.8	8.5
08	9.4	8.5	7.8	6.7	6.5	7.3	7.3	7.7	8.2	9.2	9.9	10.4
09	10.9	10.4	10.4	9.0	8.6	8.5	8.7	9.8	10.5	11.4	11.2	11.8
10	11.6	11.5	11.5	10.8	11.2	11.1	11.5	12.1	12.8	13.0	12.4	12.8
11	12.3	12.5	12.2	11.8	12.1	13.4	13.3	14.1	14.4	13.6	12.9	13.1
12	12.7	13.0	12.5	12.7	12.6	14.5	14.3	15.2	15.6	15.6	13.5	13.4
13	13.0	13.5	13.0	12.9	12.6	15.2	14.8	16.1	16.7	15.1	13.7	14.3
14	13.5	14.2	13.5	13.5	13.5	15.6	15.6	16.9	17.5	15.8	14.5	14.9
15	14.3	14.8	14.2	14.6	13.9	16.0	15.9	17.5	17.9	16.3	14.9	15.5
16	14.8	15.3	14.6	14.6	14.1	16.1	15.9	17.6	17.9	16.3	15.2	15.9
17	14.6	15.1	14.4	14.4	13.4	14.8	14.9	16.6	17.0	15.8	15.0	16.0
18	14.2	14.7	13.4	13.1	11.7	12.3	12.8	14.5	15.2	14.6	14.3	15.2
19	13.1	13.4	11.7	10.9	9.6	10.2	10.4	11.9	12.4	12.7	12.4	13.8
20	11.3	11.9	10.4	9.6	8.5	9.2	9.6	10.1	10.5	10.4	10.8	12.3
21	9.7	9.9	8.8	8.1	7.2	7.9	8.3	8.7	8.8	9.2	9.3	10.5
22	9.2	8.9	8.1	7.3	6.9	7.4	7.7	8.2	8.3	8.3	8.6	9.5
23	8.3	8.1	7.3	6.9	6.5	6.8	7.2	7.8	7.7	7.8	7.9	8.6
MM	10.3	10.3	9.6	9.2	8.9	9.8	10.0	10.6	11.0	10.6	10.5	11.1

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A5 - Valores horários-mensais da velocidade média
 escalar do vento (m/s) em Porto Alegre/RS.
 Período: 1951-70 / Registros computados: 175320

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	2.88	2.62	2.57	2.11	1.75	1.90	2.11	2.47	2.98	3.14	3.14	3.04
01	2.42	2.21	2.21	1.75	1.59	1.59	1.95	2.21	2.83	2.88	2.73	2.68
02	2.16	1.95	1.90	1.59	1.44	1.59	1.85	2.11	2.62	2.73	2.52	2.37
03	1.90	1.75	1.65	1.49	1.39	1.54	1.85	1.90	2.57	2.57	2.32	2.06
04	1.70	1.59	1.44	1.44	1.34	1.44	1.85	1.85	2.37	2.42	2.06	1.90
05	1.54	1.39	1.39	1.39	1.29	1.44	1.70	1.80	2.37	2.32	1.90	1.80
06	1.54	1.39	1.39	1.34	1.34	1.54	1.70	1.80	2.37	2.21	1.85	1.70
07	1.49	1.29	1.29	1.29	1.23	1.59	1.70	1.80	2.26	2.16	2.16	2.01
08	2.26	1.80	1.54	1.34	1.29	1.59	1.65	1.85	2.42	2.73	2.78	2.68
09	2.73	2.47	2.21	1.80	1.59	1.75	1.80	2.06	2.83	3.24	3.24	3.09
10	3.04	2.83	2.62	2.37	1.95	2.06	2.16	2.52	3.09	3.40	3.40	3.19
11	3.24	2.98	2.83	2.78	2.26	2.42	2.68	2.88	3.34	3.65	3.40	3.50
12	3.40	3.14	3.09	3.09	2.52	2.93	2.93	3.24	3.50	3.70	3.65	3.55
13	3.60	3.24	3.19	3.24	2.88	3.19	3.19	3.45	3.76	3.91	3.86	3.96
14	3.91	3.55	3.40	3.45	3.04	3.24	3.29	3.60	3.91	4.17	4.17	4.22
15	4.27	3.91	3.81	3.65	3.14	3.34	3.29	3.81	4.01	4.58	4.73	4.63
16	4.63	4.58	4.01	3.65	3.04	3.24	3.24	3.91	4.22	4.89	5.25	5.25
17	5.09	4.94	4.37	3.76	2.88	2.93	3.14	3.81	4.37	5.14	5.61	5.56
18	5.30	5.04	4.42	3.50	2.62	2.78	3.04	3.65	4.22	5.04	5.66	5.71
19	5.09	4.78	4.06	3.19	2.52	2.73	3.04	3.40	3.91	4.53	4.94	5.30
20	4.48	4.27	3.81	3.09	2.47	2.68	2.88	3.24	3.76	4.32	4.53	4.73
21	4.22	3.91	3.55	2.88	2.37	2.57	2.73	3.14	3.55	3.96	4.32	4.48
22	3.76	3.45	3.29	2.62	2.06	2.32	2.52	2.93	3.40	3.76	3.91	4.01
23	3.24	3.04	2.88	2.32	1.90	2.11	2.32	2.73	3.19	3.40	3.45	3.50
MM	3.24	2.98	2.78	2.47	2.06	2.26	2.42	2.78	3.24	3.55	3.55	3.55

HL=hora local / M=média

Obs: Dados originais fornecidos em nós.

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A6 - Valores horários-mensais da persistência média do vento (%) em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados: 175320

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	79	73	70	49	32	18	21	40	57	65	70	76
01	73	69	66	42	27	15	12	33	51	63	69	73
02	70	69	61	37	19	11	9	27	50	58	63	65
03	62	60	54	28	17	10	10	22	48	57	57	58
04	58	57	47	25	19	10	10	21	44	54	57	55
05	54	51	39	15	13	17	15	24	43	48	53	49
06	49	42	33	12	14	16	18	20	39	40	47	45
07	45	39	26	12	17	20	17	21	36	38	41	33
08	41	36	30	15	21	19	18	19	36	32	39	32
09	28	29	18	14	27	24	25	17	32	32	29	20
10	16	22	17	9	22	25	22	17	29	29	26	20
11	12	15	17	6	21	22	21	11	25	28	21	18
12	14	16	14	5	20	23	20	9	25	29	24	23
13	23	23	16	12	22	24	20	11	26	33	33	30
14	35	30	28	16	20	20	18	14	31	38	38	39
15	46	41	38	21	18	18	18	20	38	46	46	48
16	56	52	51	34	23	19	15	28	45	55	59	56
17	68	62	59	42	34	28	23	39	54	61	67	65
18	73	69	68	55	48	38	36	47	59	69	72	72
19	78	77	73	63	54	41	39	51	63	71	76	80
20	81	82	76	65	54	40	40	53	66	74	80	82
21	80	82	76	64	53	38	39	52	66	72	77	81
22	83	80	75	63	52	32	36	46	64	71	79	80
23	80	75	74	58	45	28	28	44	62	69	75	79

HL = hora local

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A7 - Valores horários-mensais da velocidade do vento
vetor médio (m/s), reconstituídas a partir das
médias do vento escalar e sua persistência, em
Porto Alegre/RS. Período: 1951-70

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	2.3	1.9	1.8	1.0	0.6	0.3	0.4	1.0	1.7	2.0	2.2	2.3
01	1.8	1.5	1.5	0.7	0.4	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	0.7	1.4	1.8	1.9	2.0
02	1.5	1.4	1.2	0.6	0.3	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	0.6	1.3	1.6	1.6	1.5
03	1.2	1.1	0.9	0.4	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	0.4	1.2	1.5	1.3	1.2
04	1.0	0.9	0.7	0.4	<u>0.3</u>	<u>0.1</u>	<u>0.2</u>	0.4	1.0	1.3	1.2	1.1
05	0.8	0.7	0.5	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	0.3	0.4	1.0	1.1	1.0	0.9
06	0.8	0.6	0.5	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	<u>0.3</u>	0.3	0.4	0.9	0.9	0.9	0.8
07	0.7	0.5	0.3	<u>0.2</u>	<u>0.2</u>	0.3	0.3	0.4	0.8	0.8	0.9	0.7
08	0.9	0.7	0.5	<u>0.2</u>	0.3	0.3	0.3	0.4	0.9	0.9	1.1	0.9
09	0.8	0.7	0.4	<u>0.3</u>	0.4	0.4	0.5	0.4	0.9	1.0	0.9	0.6
10	0.5	0.6	0.5	<u>0.2</u>	0.4	0.5	0.5	0.4	0.9	1.0	0.9	0.6
11	0.4	0.5	0.5	<u>0.2</u>	0.5	0.5	0.6	0.3	0.8	1.0	0.7	0.6
12	0.5	0.5	0.4	<u>0.2</u>	0.5	0.7	0.6	0.3	0.9	1.1	0.9	0.8
13	0.8	0.8	0.5	0.4	0.6	0.8	0.6	0.4	1.0	1.3	1.3	1.2
14	1.4	1.1	1.0	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	1.2	1.6	1.6	1.7
15	2.0	1.6	1.5	0.8	0.6	0.6	0.6	0.8	1.5	2.1	2.2	2.2
16	2.6	2.4	2.1	1.2	0.7	0.6	0.5	1.1	1.9	2.7	3.1	2.9
17	3.5	3.1	2.6	1.6	1.0	0.8	0.7	1.5	2.4	3.1	3.8	3.6
18	3.9	3.5	3.0	1.9	1.3	1.1	1.1	1.7	2.5	3.5	4.1	4.1
19	4.0	3.7	3.0	2.0	1.4	1.1	1.2	1.7	2.5	3.2	3.8	4.2
20	3.6	3.5	2.9	2.0	1.3	1.1	1.2	1.7	2.5	3.2	3.6	3.9
21	3.4	3.2	2.7	1.8	1.3	1.0	1.1	1.6	2.3	2.9	3.3	3.6
22	3.1	2.8	2.5	1.7	1.1	0.7	0.9	1.4	2.2	2.7	3.1	3.2
23	2.6	2.3	2.1	1.3	0.9	0.6	0.7	1.2	2.0	2.3	2.6	2.8

HL = hora local

Obs: Valores sublinhados, sem registro de direção predominante.

TABELA A8 - Freqüência da velocidade do vento (%)
em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70

VV	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
calmo	20	22	24	29	35	33	31	25	20	17	17	18
1- 2	4	4	4	5	5	5	5	5	4	3	3	3
3- 4	16	15	17	18	18	18	18	17	15	14	15	14
5- 6	21	21	22	20	20	20	20	22	22	21	20	21
7- 8	11	11	11	10	8	8	8	10	11	12	11	11
9-10	11	11	10	8	6	7	7	9	11	13	13	12
11-12	6	5	4	4	3	3	3	4	5	6	6	6
13-14	5	4	3	3	2	2	3	3	4	6	5	5
15-16	5	4	3	2	2	2	3	3	5	5	5	6
17-18	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
19-20	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1
21-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
23-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VV = velocidade média do vento em nós.

Obs: Porcentagens calculadas a partir dos dados originais,
fornecidos em número de ocorrências.

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A9 - Valores horários-mensais da direção predominante
(em graus) do vento médio em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados: 175320

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	105	107	107	112	107	115	128	117	121	116	113	112
01	109	108	110	105	130	C	C	123	124	116	113	113
02	111	107	110	108	129	C	C	125	126	116	113	111
03	109	111	106	116	C	C	C	133	128	119	115	114
04	109	113	114	115	C	C	C	148	133	122	113	115
05	111	113	117	C	C	C	237	153	128	122	111	110
06	106	118	124	C	C	C	241	166	133	128	114	114
07	112	120	124	C	C	239	245	167	141	125	122	124
08	108	114	130	C	247	237	244	182	139	123	117	116
09	91	116	115	C	254	246	253	190	133	122	112	120
10	103	105	99	C	273	257	256	183	133	127	119	121
11	114	119	97	C	281	259	270	150	127	128	133	132
12	160	132	131	C	272	275	276	161	130	133	149	139
13	151	146	150	208	257	272	278	182	139	133	142	145
14	148	145	155	186	237	250	260	167	141	139	139	141
15	139	141	153	163	211	232	249	161	134	133	139	135
16	129	134	135	150	183	191	204	142	132	127	131	131
17	124	124	127	136	153	156	159	136	127	124	125	125
18	118	118	119	130	136	145	137	128	124	119	122	121
19	114	116	116	121	128	134	132	126	123	118	119	116
20	112	112	113	118	118	125	124	121	121	115	115	113
21	110	109	109	114	110	120	123	118	118	114	115	113
22	108	111	108	114	109	114	115	119	117	113	114	110
23	106	107	108	112	107	110	119	114	119	113	113	110

HL = hora local

C = vento calmo, sem direção predominante.

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A10 - Freqüência da direção predominante do vento (%)
em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70

D	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
30	2.4	1.9	2.5	1.9	2.0	2.3	2.4	2.4	1.7	1.7	1.7	1.9
60	6.1	6.2	6.2	5.5	4.7	5.6	6.1	6.8	5.0	6.1	4.7	5.4
90	20.7	19.9	18.9	15.9	12.6	13.0	14.4	16.1	19.9	21.7	22.8	21.1
120	20.7	18.9	18.5	13.1	10.4	8.4	9.3	13.5	18.1	20.7	22.1	21.8
150	7.5	8.0	6.8	5.4	5.1	5.0	4.1	6.7	8.2	8.8	9.0	7.8
180	3.5	4.2	3.5	4.2	3.5	4.5	4.0	4.7	5.7	4.9	4.5	4.8
210	2.4	2.0	2.6	2.9	2.6	3.1	2.7	2.9	3.2	3.0	2.3	2.4
240	2.8	2.8	2.9	3.4	4.0	4.4	4.1	4.1	3.7	4.0	3.0	3.2
270	5.3	5.7	6.3	9.3	9.4	10.4	11.5	8.8	7.5	7.2	6.8	5.6
300	4.3	4.3	4.0	5.2	6.0	6.0	6.4	4.9	3.9	3.1	3.5	4.0
330	3.1	2.6	2.4	2.6	3.1	3.1	2.8	2.6	1.8	1.8	2.2	2.8
360	1.6	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.0	0.2	0.2	1.5
C	19.6	22.3	24.1	29.4	35.3	32.9	30.6	25.0	20.3	16.8	17.2	17.7

D = direção predominante em graus.

C = vento calmo, sem direção predominante.

Obs: Porcentagens calculadas a partir dos dados originais,
fornecidos em número de ocorrências.

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A11 - Valores horários-mensais médios do total de nuvens
(em oitavos) em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados:175320

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	2.9	2.8	2.7	2.9	3.0	3.7	3.5	3.5	4.3	3.8	3.1	2.7
01	2.9	2.7	2.7	2.8	3.1	3.7	3.7	3.5	4.4	3.6	2.9	2.7
02	2.8	2.8	2.7	3.0	3.2	3.8	3.8	3.5	4.3	3.6	2.9	2.6
03	2.8	2.8	2.8	3.0	3.3	4.0	3.9	3.5	4.2	3.5	2.9	2.7
04	2.8	2.9	2.8	3.1	3.4	4.1	4.1	3.5	4.2	3.6	3.0	2.7
05	3.2	3.0	2.9	3.2	3.6	4.2	4.2	3.6	4.2	3.9	3.6	3.4
06	4.0	4.0	3.5	3.5	3.8	4.3	4.3	3.8	4.6	4.5	4.1	4.0
07	4.2	4.2	4.0	4.0	4.7	4.8	4.8	4.3	5.2	4.8	4.3	4.1
08	4.2	4.3	4.2	4.4	4.8	5.0	5.0	4.5	5.2	4.9	4.4	4.1
09	4.2	4.2	4.3	4.5	4.9	5.1	5.0	4.4	5.2	5.0	4.4	4.2
10	4.3	4.2	4.3	4.3	4.7	5.1	5.0	4.4	5.3	5.1	4.4	4.1
11	4.4	4.4	4.4	4.3	4.4	5.0	4.8	4.3	5.3	5.0	4.4	4.1
12	4.5	4.4	4.5	4.5	4.4	4.8	4.6	4.2	5.3	5.1	4.5	4.2
13	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.8	4.5	4.3	5.4	5.1	4.6	4.2
14	4.6	4.7	4.7	4.6	4.4	4.8	4.4	4.3	5.3	5.1	4.5	4.3
15	4.6	4.7	4.6	4.6	4.3	4.7	4.4	4.3	5.2	5.0	4.5	4.3
16	4.5	4.6	4.5	4.4	4.1	4.6	4.4	4.2	5.1	4.9	4.4	4.3
17	4.4	4.5	4.3	4.2	4.0	4.5	4.3	4.1	5.0	4.9	4.3	4.2
18	4.3	4.3	4.1	4.1	3.9	4.3	4.3	4.1	5.0	4.7	4.2	4.0
19	4.3	4.2	4.0	3.9	3.3	3.9	3.9	3.9	4.8	4.6	4.2	4.0
20	4.1	3.9	3.4	3.4	3.1	3.8	3.6	3.7	4.5	4.3	3.9	3.7
21	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.7	3.5	3.6	4.4	4.1	3.6	3.2
22	3.2	3.1	3.0	2.9	3.1	3.7	3.5	3.5	4.4	4.0	3.4	2.8
23	2.9	3.0	2.8	2.9	3.1	3.7	3.5	3.5	4.4	3.9	3.2	2.7
MM	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	4.3	4.2	3.9	4.8	4.5	3.9	3.6

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

TABELA A12 - Valores horários-mensais do desvio padrão do total de nuvens (em oitavos), em Porto Alegre/RS.
Período: 1951-70 / Registros computados: 175320

HL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.4	3.3	3.3
01	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.3	3.3
02	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.6	3.6	3.5	3.3	3.3
03	3.3	3.3	3.4	3.4	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.5	3.3	3.3
04	3.3	3.3	3.3	3.4	3.6	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.2
05	3.2	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2
06	3.1	3.3	3.3	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.3	3.2	3.2
07	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.3	3.3	3.3	3.3
08	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.3	3.3	3.5	3.3	3.2	3.2	3.2
09	3.1	3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.3	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1
10	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.5	3.2	3.1	3.1	3.1
11	3.0	3.1	3.0	3.1	3.3	3.2	3.2	3.4	3.2	3.0	3.1	3.1
12	2.9	3.0	2.9	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3	3.1	3.0	3.0	3.1
13	2.8	2.8	2.8	3.0	3.2	3.1	3.2	3.3	3.1	2.9	2.9	3.0
14	2.7	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.2	3.3	3.1	3.0	2.9	2.9
15	2.7	2.7	2.7	2.9	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2	3.0	3.0	2.9
16	2.8	2.7	2.8	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.2	3.1	3.0	3.0
17	2.9	2.9	3.0	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1
18	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1
19	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2
20	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.6	3.5	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3
21	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.6	3.5	3.6	3.6	3.5	3.4	3.3
22	3.4	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.4	3.4	3.2
23	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	3.2
MM	3.1	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2

HL = hora local

MM = média mensal

Fonte: Estação 83971, Ministério da Aeronáutica.

ANEXO B

EXEMPLO DE APLICAÇÃO:

metodologia para projeto de
dispositivo de sombreamento

B.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MÉTODO

O método para cálculo de dispositivo de sombreamento em aberturas retangulares, elaborado por ETZION (1985), é caracterizado pela definição de um único ponto "chave".

As coordenadas (x,y) do ponto (M), a ser definido, são dadas pelas equações abaixo, onde: (ver figura B1)

w = largura do vão a sombrear
 h = altura do vão a sombrear
 NAZ = ângulo formado entre uma reta normal à superfície a sombrear e o Norte (orientação solar da fachada)
 SAZ = azimute solar no instante considerado
 ALT = altura solar no instante considerado

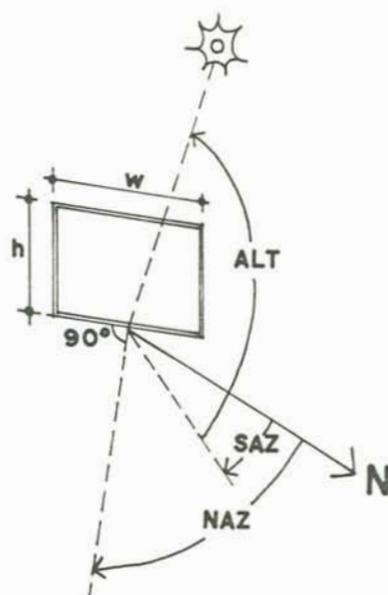


FIGURA B1 - Dados necessários para o cálculo do dispositivo de sombra.

Distinguindo-se duas situações:

A) Quando $SAZ > NAZ$ (o sol, em sua trajetória aparente, ainda não passou pela normal à superfície do vão, exigindo dispositivo portando aba lateral esquerda (ver figura B2.A)):

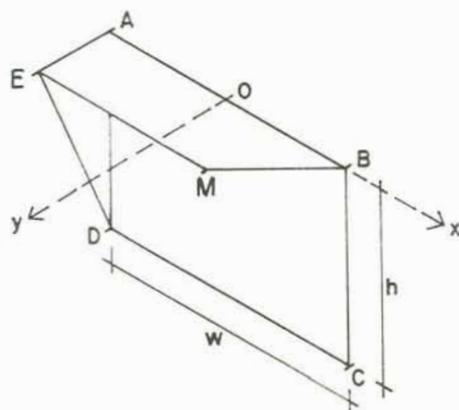
$$x = h \cdot \text{sen}(NAZ - SAZ) / \text{tan}(ALT) + w/2$$

$$y = h \cdot \text{cos}(SAZ - NAZ) / \text{tan}(ALT)$$

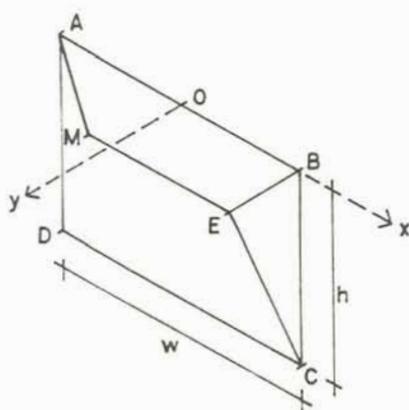
B) Quando $NAZ > SAZ$ (o sol já passou pela normal à superfície do vão, exigindo dispositivo portando aba lateral direita (ver figura B2.B)):

$$x = h \cdot \text{sen}(NAZ - SAZ) / \tan(ALT) - w/2$$

$$y = h \cdot \text{cos}(NAZ - SAZ) / \tan(ALT)$$



Situação A: quando $SAZ > NAZ$.



Situação B: quando $NAZ > SAZ$.

FIGURA B2 - Construção do dispositivo de sombra a partir de um ponto M.
Fonte: ETZION, 1985

Estes dois casos estão ilustrados na figura B2 A e B. O ponto M deve ser ligado por uma reta ao ponto A $(-w/2,0)$, quando $NAZ > SAZ$, e se liga ao ponto B $(w/2,0)$, se $SAZ > NAZ$. A outra reta que parte de M, deve sempre seguir paralelamente ao bordo superior do vão (até o ponto E), indo ligar-se perpendicularmente ao outro vértice superior (A ou B), e por uma linha reta ao vértice inferior adjacente (C ou D).

Um caso especial ocorre quando $|x| > w/2$, isto é, quando o ponto M cai fora da projeção normal do vão (ver figura B3). Nesta circunstância, M poderá ser realocado para um novo ponto "chave" (M_0) que exigirá 3 coordenadas (x_0, y_0, z) dadas pelas equações:

$$x_0 = w/2 \text{ ou } -w/2 \text{ (conservando o mesmo sinal de } x)$$

$$y_0 = w \cdot y / (|x| + w/2)$$

$$z = h - y_0 / \cos(NAZ - SAZ) \cdot \tan(ALT)$$

O dispositivo de sombra é construído ligando-se M_0 ao ponto C $(w/2,0,h)$ se $NAZ > SAZ$, ou ao ponto D $(-w/2,0,h)$, quando $SAZ > NAZ$. Outra reta deve partir verticalmente de M_0 até o ponto E $(x_0, y_0, 0)$, bifurcando-se, após, aos pontos A e B (vértices superiores).

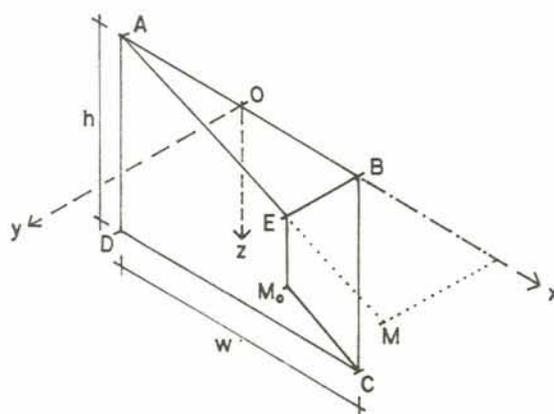


FIGURA B3 - Projeto de dispositivo de sombra, realocando-se o ponto M ao ponto M_0 , quando $|x| > w/2$.
Fonte: ETZION, 1985.

B.2 - APLICAÇÃO DO MÉTODO A LOCALIDADE DE PORTO ALEGRE/RS

A utilidade prática deste conjunto de equações é multiplicada, quando já se tem pré-fixado o período anual onde a insolação direta é indesejável. Aplicando-o para a latitude 30° Sul (caso de Porto Alegre), pode-se fixar, para cada orientação solar de uma abertura com dimensões conhecidas, o dispositivo mínimo necessário, capaz de mantê-la sombreada durante todo o período crítico de verão, anteriormente definido.

Os dados da geometria solar (ângulos do azimute e altura do sol, em dado instante) podem ser obtidos com o auxílio da projeção estereográfica das trajetórias aparentes do sol em Porto Alegre, apresentada por AROZTEGUI (1977) ou, diretamente, através das seguintes equações, ajustadas para latitudes do hemisfério sul:

$$\text{sen}(\text{ALT}) = \cos(\text{LAT}) \cdot \cos(\text{dec}) \cdot \cos(\text{hora}) - \text{sen}(\text{LAT}) \cdot \text{sen}(\text{dec})$$

$$\cos(\text{SAZ}) = \frac{\text{sen}(\text{dec}) + \text{sen}(\text{ALT}) \cdot \text{sen}(\text{LAT})}{\cos(\text{ALT}) \cdot \cos(\text{LAT})}$$

onde:

- ALT = altura solar
- SAZ = azimute solar
- LAT = latitude do local
- dec = declinação solar (ângulo que o sol forma, em relação ao equador, na data escolhida)
- hora = tempo solar (ângulo que o sol forma, em relação ao zênite, cada hora equivalendo a 15°)

A declinação solar varia diariamente, sendo a seguir fornecidos os valores aproximados para 12 datas:

	21 JUN = +23°27'
21 MAI /	24 JUL = +20°10'
21 ABR /	24 AGO = +11°20'
21 MAR /	23 SET = 0°00'
21 FEV /	23 OUT = -11°20'
21 JAN /	23 NOV = -20°10'
	22 DEZ = -23°27'

O tempo solar é computado da seguinte forma:

5h = 105°	8h = 60°	11h = 15°	14h = -30°	17h = -75°
6h = 90°	9h = 45°	12h = 0°	15h = -45°	18h = -90°
7h = 75°	10h = 30°	13h = -15°	16h = -60°	19h = -105°

Para facilitar o cálculo das coordenadas do ponto M, os valores do azimute e altura solar, nas horas cheias do período crítico do verão portoalegrense, encontram-se a seguir tabelados. Ressalva-se que uma simplificação significativa foi feita ao ser considerado apenas um dia de cada mês, elegendo-o como representante da realidade mensal, obviamente com precisão relativa.

TABELA B1 - Azimute (SAZ) e altura solar (ALT) nas horas críticas do verão portoalegrense.

HORAS CRÍTICAS	23 NOV-21 JAN SAZ/ALT	22 DEZ SAZ/ALT	21 FEV SAZ/ALT	21 MAR SAZ/ALT	21 ABR SAZ/ALT
9h	87/48		76/44		
10h	77/61	83/63	63/56	49/49	
11h	57/73	67/75	40/67	28/57	
12h	0/80	0/83	0/71	0/60	0/49
13h	303/73	293/75	320/67	332/57	338/46
14h	283/61	277/63	297/56	311/49	321/40
15h	273/48	268/50	284/44	297/38	307/30
16h	266/35	262/37	275/32	286/26	
17h	259/23	256/24	267/19	278/13	
18h	252/10	249/11	260/ 6	270/ 0	
ocaso	247/ 0	243/ 0	257/ 0		

Obs: - Nos horários após às 12h, deve ser considerado o ângulo azimutal suplementar (360 - SAZ).

Ex: Azimute às 11h (15°) do dia 22 de dezembro = 67°

Azimute às 13h (-15°) do mesmo dia (360 - 67) = 293°

B.2.1 - Determinação do dispositivo de sombra para uma abertura de 140x140cm

Exemplifica-se o método, através da determinação do dispositivo de sombra necessário a uma janela de dimensões 140x140cm, alocada em 8 orientações diferentes (pontos cardeais e colaterais). Para tanto, contou-se com o auxílio de um programa computacional simples, montado para este fim, que inclui o cálculo da geometria solar e das coordenadas (x,y) ou (x0,y0,z) do ponto M, apresentadas na tabela B2.

TABELA B2 - Coordenadas do "ponto chave" (M), para projeto de dispositivo mínimo de sombra, em abertura de dimensões 140x140cm, que atenda o período crítico de verão, para oito orientações em Porto Alegre/RS.

Situação A = SAZ > NAZ

Situação B = NAZ > SAZ

FACHADA (NAZ)	N (0°/360°)*	NE (45°)	E (90°)	SE (135°)	
NOV/JAN	9h	A-54, 6	A-14,92	B-64,124	B 22,84
	10h	A -5,17	A 29,65	B-53,75	B -5,41
	11h	A 34,23	A 61,41	B-47,36	B-29,9
	12h	A 70,24	B 53,17		
	13h	B-34,23			
	14h	B 5,17			
	15h	B 54, 6			
DEZ	10h	A -2, 8	A 25,57	B-62,72	B-13,45
	11h	A 36,14	A 56,34	B-56,34	B-36,14
	12h	A 70,16	B-59,11		
	13h	B-36,14			
	15h	B 2, 8			
FEV	9h	A-69,35	A -3,123	B-35,139	B 53,73
	10h	A-12,43	A 42,88	B-27,82	B 18,28
	11h	A 31,46	B-65,60	B-24,39	
	12h	A 70,47	B-37,33		
	13h	B-31,46	B-10, 5		
	14h	B 12,43	B 70, 4,42		
	15h	B 69,35			
16h	B 70,12,54				
MAR	10h	A-23,81	A 61,123	B 11,93	B 53, 9
	11h	A 27,81	B-43,88	B 11,43	
	12h	A 70,81	B-13,57		
	13h	B-27,81			
	14h	B 23,81			
	15h	B 70,70,19			
	16h	B 70,40,70			
17h	B 70,19,108				
ABR	12h	A 70,123	B 17,87		
	13h	B-21,125	B 70,28,65		
	14h	B 38,131	B 70, 7,76		
	15h	B 70,104,39			

*Para a orientação Norte, usar NAZ = 360° em horários após 12h.

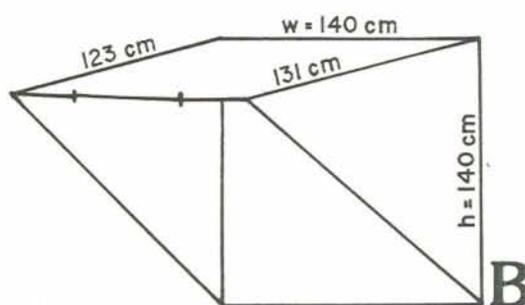
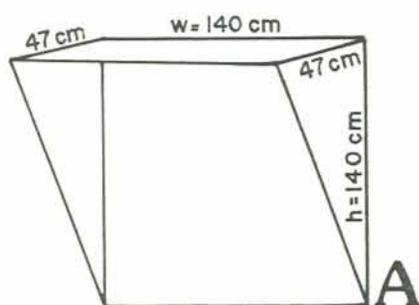
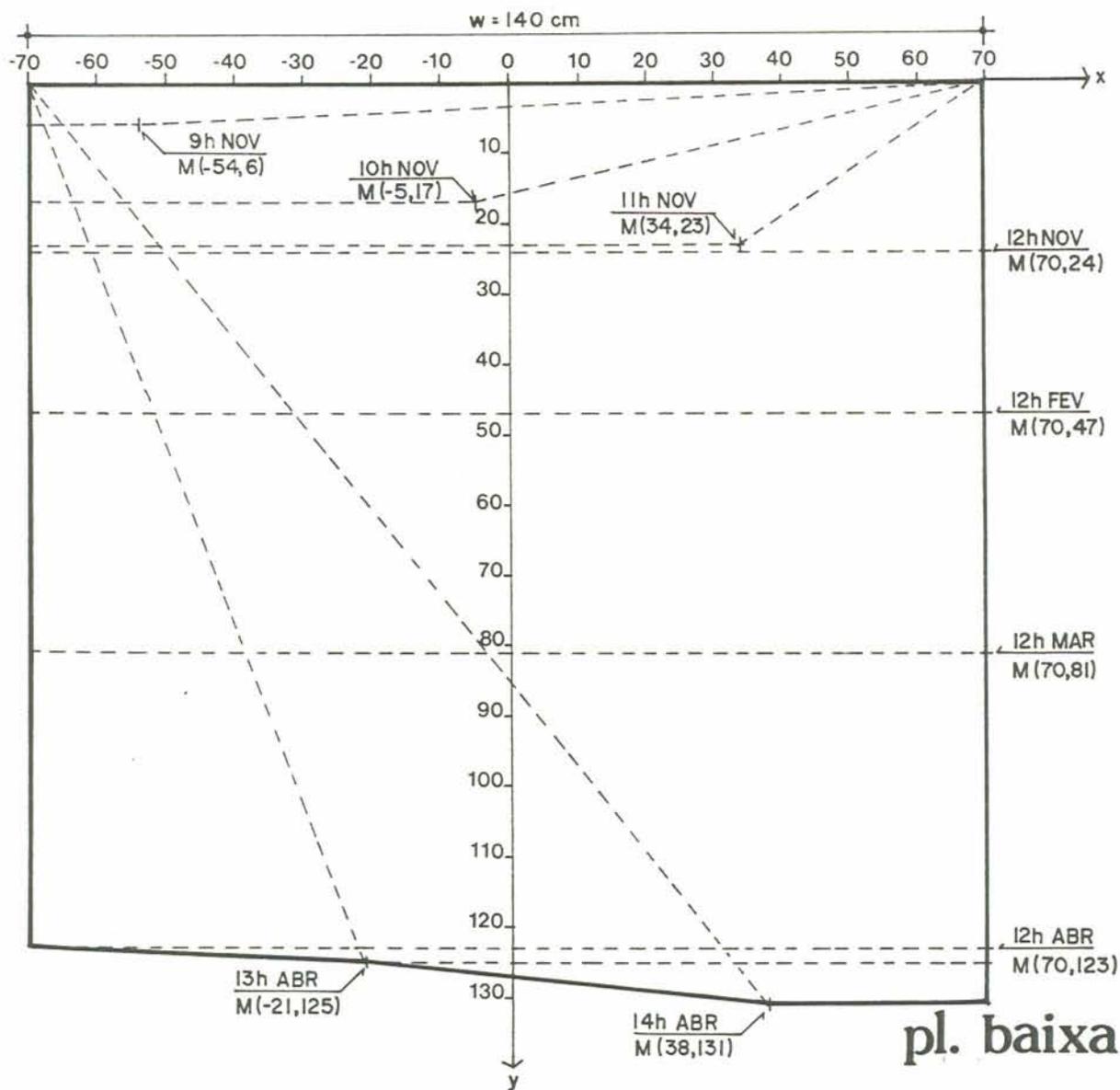
continua

continuação tabela B2

FACHADA (NAZ)	S (180°)	SO (225°)	O (270°)	NO (315°)	
NOV/JAN	12h			A-70,15,15	
	13h		A 29, 9	B-61,41	
	14h		A 5,41	B-29,65	
	15h		A-22,84	B 14,92	
	16h	A-70,11,40	A-58,150	B-55,197	B 70,120,9
	17h	A-70,27,81	A-70,208,36	B -5,332	B 70,94,70
	18h	A-70,45,114	A-70,271,87	B 70,440,59	B 70,72,112
DEZ	12h			A-70,11,11	
	13h		A 36,14	B-56,34	
	14h		A 13,45	B-25,57	
	15h	A-49, 4	A-12,87	B-66,119	B 17,82
	16h	A-70,20,35	A-43,151	B-43,187	B 70,105,10
	17h	A-70,36,76	A-70,236,19	B 8,307	B 70,83,68
	18h	A-70,53,110	A-70,308,71	B 70,373,59	B 70,64,109
FEV	11h			A-70, 4,42	
	12h			A-70,27,27	
	13h		A 24,39	A 65,60	
	14h		A-18,28	B-42,88	
	15h		A-53,73	B 3,123	
	16h		A-70,117,28	B 70,167,6	
	17h	A-70, 6,93	A-70,153,70	B-51,417	B 70,128,76
18h	A-70,24,126	A-70,199,116	B 70,807,59	B 70,99,123	
MAR	11h			A-70,16,54	
	12h			A-70,41,41	
	13h		A-11,43	A 43,88	
	14h		A-53, 9	B-61,123	
	15h		A-70,47,26	B-13,171	
	16h		A-70,77,63	B 70,254,1	
	17h		A-70,107,99	A-11,280	B 70,183,87
ABR	12h			A-70,54,54	
	13h		A-55,49	A 17,123	
	14h		A-61,108	A 54,169	
	15h		A-70,20,58	A-70,188,4	B-35,239

A figura B4 ilustra a forma mínima do dispositivo de sombra necessário, em algumas horas do período, quando a janela se encontra na fachada Norte. A linha cheia representa o contorno final do aparato, suficiente para manter a abertura sombreada, durante todo o período crítico do verão, em Porto Alegre.

Nota-se que uma projeção de 47cm (dispositivo A) seria suficiente entre os meses de novembro a fevereiro, devendo ser estendida até 131cm (dispositivo B) para atender o restante do período.



Dispositivo A: garante sombra nos horários críticos de novembro a fevereiro.

Dispositivo B: atende todo o período crítico de verão.

FIGURA B4 - Construção do dispositivo de sombra suficiente para atender o período crítico de verão, em janela de dimensões 140x140cm, orientada para o Norte, em Porto Alegre/RS.

Baseado nos dados das tabelas B1 e B2, pode-se estimar quais as horas críticas de cálculo para cada orientação, ou seja, horários que determinam as maiores projeções superiores e laterais do dispositivo de sombra (correspondentes à altura solar de menor ângulo). Isto quer dizer que, uma vez estando estes períodos críticos supridos de sombra, automaticamente o dispositivo atenderá a todos os demais, minimizando-se o volume de cálculos. As horas críticas de cálculo para Porto Alegre, em fachadas orientadas para os pontos cardeais e colaterais, encontram-se relacionadas na tabela B3.

TABELA B3 - Horas críticas para cálculo de dispositivos de sombra em Porto Alegre/RS.

ORIENTAÇÃO	HORA(S) CRÍTICA(S)	SITUAÇÃO
N	12h ABR	A
	15h ABR	B
NE	9h FEV	A
	12h ABR	B
E	9h FEV	B
SE	9h JAN	B
S	18h DEZ	A
SO	18h DEZ	A
O	17h MAR	A
	18h FEV	B
NO	14h ABR	A
	16h MAR	B

Pela análise da tabela B2, nota-se que a orientação mais problemática, conforme o esperado, é a Oeste, exigindo projeções inadmissíveis (chegando a mais de 8 metros) para garantir sombra às 18 horas dos dias de fevereiro.

A projeção frontal do dispositivo é determinada pela coordenada y do ponto M. Pela equação, vê-se que y depende da altura do vão, e não de sua largura. Por conseguinte, quanto

menor for a altura da abertura, mais praticável será a proteção solar necessária.

B.2.2 - Determinação do dispositivo de sombra para uma abertura de 140x50cm

Para exemplificar, o cálculo do ponto M foi repetido para uma janela de dimensões 140x50cm, obtendo-se os dispositivos de sombreamento finais representados na figura B5, para as 8 orientações.

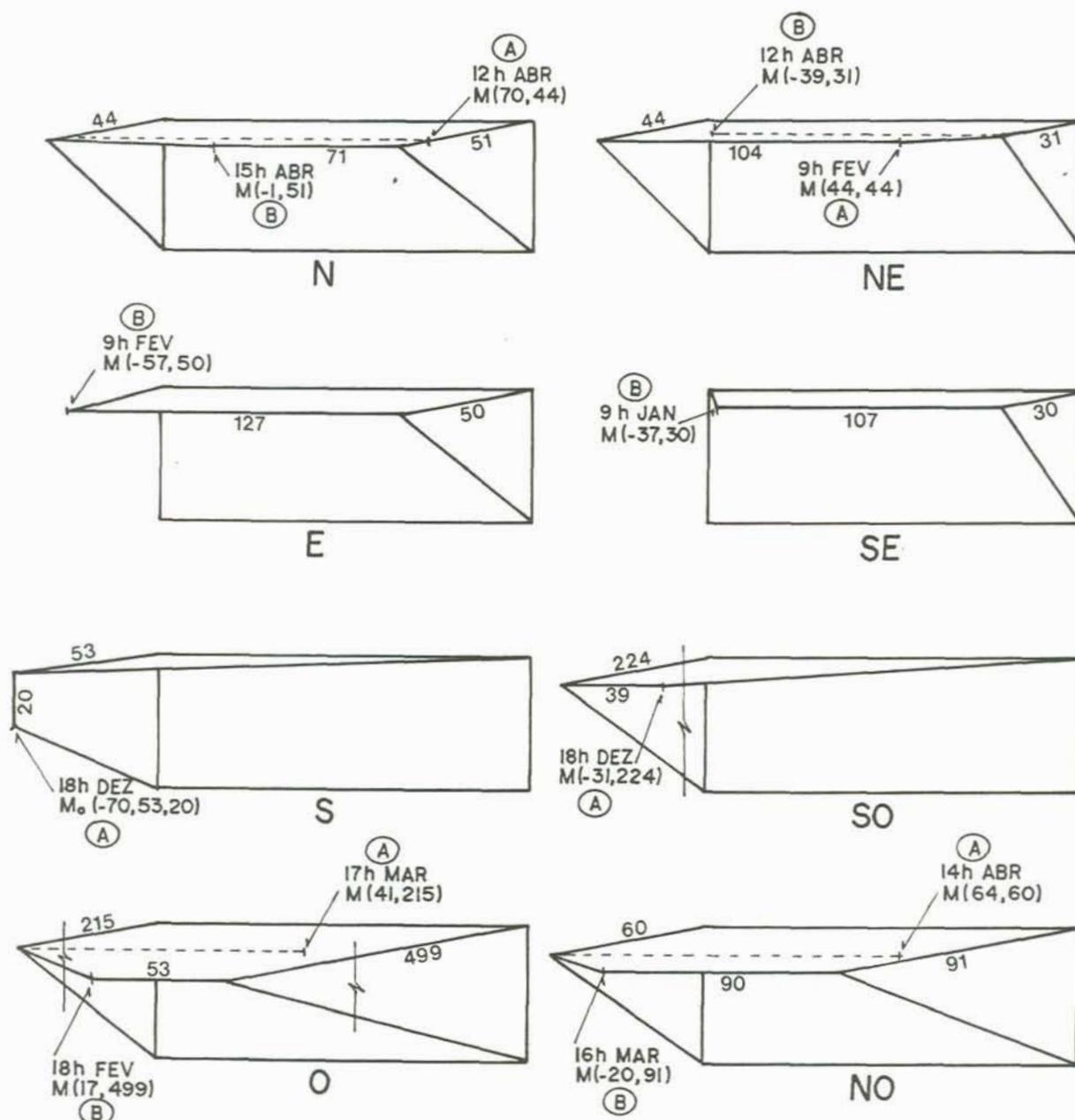


FIGURA B5 - Dispositivo de sombra para janela de dimensões 140x50cm, em 8 orientações de Porto Alegre/RS.

Admitindo-se que 50cm de projeção fixa é uma medida razoável, ainda tem-se alguns períodos, em 3 orientações, onde o dispositivo falha parcialmente, necessitando-se de aparato móvel complementar, como persianas, venezianas ou cortinas que diminuam a área de exposição solar nos seguintes períodos:

- SO - após às 16h, de novembro a março.
- O - após às 15h, de novembro a fevereiro e após às 16h, de março.
- NO - após às 15h, de novembro a fevereiro e após às 14h, de março a abril.

B.3 - CONCLUSÕES

Destes dois exemplos de aplicação prática, pode-se concluir, que:

- Orientações compreendidas entre o Norte e o Sudeste são as que menos dificuldades apresentam, especialmente Nordeste e Sudeste;

- Fachadas Sul, tradicionalmente desconsideradas quando o assunto é sombreamento, podem surpreender, pois admitem insolação direta entre os meses de novembro e janeiro, a partir das 15 horas, requerendo, portanto, uso de dispositivo de sombra;

- Fachadas orientadas entre o Noroeste e Sudoeste deveriam portar, quando muito, aberturas de altura reduzida. Ademais, deverá prever-se, sempre, dispositivo móvel complementar, a ser utilizado nas horas próximas ao por-do-sol, quando não houver barreira física na vizinhança, capaz de cobrir o horizonte.

Soluções para vãos de maior altura deverão ser encontradas, seja através de subterfúgios, como o ilustrado na figura B6, onde um pano de vidro é cortado por lâminas opacas (simulando janelas empilhadas), seja através de outros mecanismos, deixados ao encargo da criatividade de cada projetista.

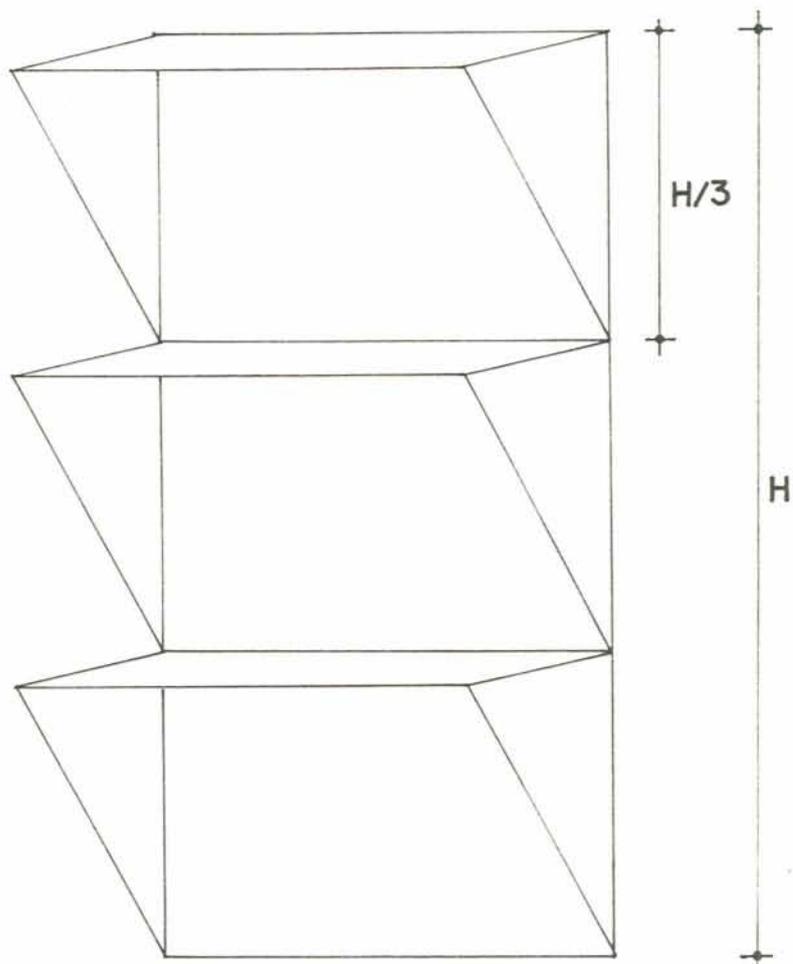


FIGURA B6 - Sugestão para dispositivo de sombra em abertura de altura H , calculado para uma altura H/n e repetido n vezes. (Ex: $n=3$)