

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS
SOBRE A TEMPERATURA DO AR NA
ÁREA URBANA DE PORTO ALEGRE, RS

Heinrich HASENACK

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de MESTRE em Ecologia, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Feliciano Edi
Vieira Flores

Comissão Examinadora:

Dr. Feliciano Edi Vieira Flores - UFRGS
Dr. Miguel Aloysio Sattler - CIENTEC
Dr. Homero Bergamaschi - UFRGS

Data do exame da dissertação: 10 de novembro de 1989

Porto Alegre
1989

AGRADECIMENTOS

- A Simone e Alexandre a quem, pelo afeto e pela paciência, dedico este trabalho;
- A Feliciano Edi Vieira Flores, pelo apoio e incentivo e pelas sugestões críticas recebidas durante a execução deste trabalho;
- A Gilberto Lazare da Rocha e Gisela Copstein, pelo auxílio ímpar em assuntos de sua especialidade;
- A Lilian Waquil Ferraro, César Raupp Meucci, Erika Collischonn, Cláudio Soares e Ana Elisa Sparano Fontoura, pelo auxílio dedicado na coleta e organização dos dados meteorológicos e na elaboração de desenhos;
- A Ozório José de Menezes Fonseca e Walter Adolfo Voss, pela amizade e sugestões críticas na organização da dissertação;
- A Vera Luise Becke, Luiz Antonio Cestaro e Marlúcia Elias de Farias, pelas inúmeras e proveitosas discussões;
- A Wilfried Nübler, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, Magda Adelaide Lombardo e Luiza Sakamoto pelas sugestões e bibliografia cedida;
- A Ely da Rosa Fazenda, pela colaboração desmedida na restauração, instalação e conservação dos abrigos meteorológicos e calibração dos instrumentos registradores;
- A Eneida Mari Ávila de Biagio, pela amizade, e pela gentil colaboração na datilografia das tabelas;
- A Sedinei Antunes de Souza Jr. pelo auxílio no uso do microcomputador;
- A Manoel Fraga da Cunha e Braulo Antonio da Silva, pela paciente colaboração na troca semanal dos gráficos;
- A Ricardo Cláudio Meister, pela amizade, e pela colaboração nos trabalhos de fotointerpretação e ajuste de escala do mapa de cobertura vegetal;
- Aos funcionários do Oitavo Distrito de Meteorologia, pelo carinho com que fomos recebidos naquele órgão;
- A Leonardo de O. Polidori, da Biblioteca do Instituto de Biociências, pelo auxílio na revisão bibliográfica;
- Aos colegas do Departamento de Geografia e do Centro de Ecologia, pelo apoio e estímulo;
- Ao Centro de Ecologia, pelo auxílio na manutenção das estações meteorológicas;
- Ao Arquivo Público do Estado do Rio Grande do Sul, ao Colégio N. Sra. da Glória, à Igreja Evangélica de Confissão Luterana, à Sociedade Gondoleiros e à Supervisão de Produção Animal, pela gentil cessão dos locais onde foram instaladas as estações meteorológicas;
- Ao Oitavo Distrito de Meteorologia e ao Departamento de Geografia da UFRGS, por terem colocado à disposição os dados meteorológicos e as cartas sinópticas necessárias;
- À Prefeitura Municipal de Porto Alegre e à Fundação Metropolitana de Planejamento, pelo acesso aos dados cartográficos e aerofotogramétricos;

- Ao UNEP-GRID (United Nations Environment Programme - Global Resources Information Database), Genebra, pela oportunidade de elaboração do mapa de cobertura do solo de Porto Alegre.

SUMÁRIO

	página
AGRADECIMENTOS	2
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE ANEXOS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. ÁREA DE ESTUDO	29
2.1. Posição, localização e características macroclimáticas	29
2.2. Características do sítio urbano	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1. Obtenção dos dados	37
3.1.1. Dados Meteorológicos	37
3.1.2. Obstrução do horizonte local	42
3.1.3. Área com edificações	43
3.1.4. Área da cobertura vegetal	44
3.2. Tratamento dos dados	45
4. RESULTADOS	50
4.1. Variáveis ambientais	50
4.1.1. Obstrução do horizonte local	50
4.1.2. Área com edificações	50
4.1.3. Área da cobertura vegetal	56

	página
4.2. Temperaturas	60
4.2.1. Média das temperaturas máximas e mínimas do período	60
4.2.2. Amostras sazonais	63
5. DISCUSSÃO	71
6. CONCLUSÃO	83
7. LITERATURA CITADA	85
ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

	página
01. Esquema idealizado das estruturas da camada limite sobre uma área urbana (OKE, 1984).	22
02. Mapa de localização da área de estudo.	30
03. Elementos meteorológicos observados na estação meteorológica do 8. DISME: a) condições normais (1931-1960); b) condições médias do período abril 1985 - março 1986.	33
04. Participação da população da Região Metropolitana de Porto Alegre e do município de Porto Alegre no total da população do estado do Rio Grande do Sul.	35
05. Mapa de cobertura do solo de Porto Alegre.	36
06. Mapa base da área de estudo, com indicação dos bairros e a localização das estações meteorológicas.	38
07. Superfície da abóbada celeste local, obstruída por vegetação, por edificações e valor máximo obstruído.	51
08. Diagrama solar com obstrução do horizonte local por edificações e por vegetação: a. ARQ e COL (30°02'S, 51°14'W Gr; 30°05'S, 51°12'W Gr) b. DIS e SEM (30°03'S, 51°10'W Gr; 30°02'S, 51°12'W Gr) c. SOC e SUP (30°01'S, 51°12'W Gr; 30°03'S, 51°13'W Gr)	52
	53
	54
09. Área total edificada e proporção de altura dos prédios para 10.000m ² em torno de cada estação meteorológica (quadrículas de 100 x 100 m).	55
10. Distribuição espacial das edificações, por intervalo de altura dos prédios, por estação meteorológica.	57
11. Área total ocupada por vegetação e proporção dos estratos herbáceo e arbóreo em cada estação meteorológica (quadrículas de 100 x 100 m).	58
12. Distribuição espacial da vegetação herbácea e arbórea, por estação meteorológica.	59
13. Correlação por postos de Spearman, entre a temperatura média das mínimas (abril 1985 - março 1986) e redução do horizonte: a) horizonte edificado b) horizonte máximo	72
14. Dendrograma multidimensional de similaridade a partir dos dados de redução do horizonte local, cobertura vegetal e área edificada.	79

LISTA DE TABELAS

	página
01. Correlação por postos de Spearman, entre as variáveis ambientais, as temperaturas máximas médias do ano e as temperaturas mínimas médias do ano (* = 0,05; ** = 0,01)	47
02. Médias das temperaturas máximas do período abril 1985 - março 1986, em Porto Alegre, RS.	62
03. Médias das temperaturas mínimas do período abril 1985 - março 1986, em Porto Alegre, RS.	62
04. Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do OUTONO (03-04.05.85), nas diferentes estações meteorológicas.	64
05. Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do INVERNO (06-07.09.85), nas diferentes estações meteorológicas.	66
06. Características da temperatura para dois dias anticiclônicos de PRIMAVERA (11-12.10.85), nas diferentes estações meteorológicas.	68
07. Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do VERÃO (06-07.01.86), nas diferentes estações meteorológicas.	70

LISTA DE ANEXOS

	página
I. Glossário	96
II. Cartas sinópticas simplificadas dos dias anti-ciclônicos selecionados em cada estação do ano.	102
III. Valores da obstrução do horizonte em cada estação meteorológica.	106
IV. Área com edificações (total e por intervalo de classes) em 10.000 m ² e 40.000 m ² .	107
V. Área com vegetação (total, arbórea e herbácea) em 10.000 m ² e 40.000 m ² .	108

RESUMO

Com o objetivo de verificar qual o controle mais importante das temperaturas no meio urbano, correlacionou-se a temperatura observada em seis estações meteorológicas com três índices representativos do ambiente em torno de cada abrigo meteorológico.

Os dados de temperatura corresponderam às médias das temperaturas mínimas e às médias das temperaturas máximas do período abril 1985-março 1986. Também foram extraídos deste conjunto de dados, amostras sazonais de 2 dias consecutivos com tempo anticiclônico.

O ambiente em torno dos abrigos meteorológicos foi caracterizado por três variáveis: ângulo de obstrução do horizonte (obstrução por edificações, por vegetação e máxima obstrução), cobertura vegetal em 10.000 m² e 40.000 m² e superfície com edificações também em 10.000 m² e 40.000 m².

A correlação da obstrução do horizonte por edificações com a média das temperaturas mínimas foi a mais significativa. Diferenças observadas entre a situação outono-inverno e primavera-verão, entretanto, sugerem controle significativo da circulação atmosférica regional.

ABSTRACT

To verify the most important control of the temperature in urban areas, the temperature observed in six meteorological stations was correlated with three indexes concerning the environment around the meteorological shelters.

The temperature data were defined as the averages of the minimum temperatures and the averages of the maximum temperature of the period from April 1985 to March 1986. Seasonal samples of two consecutive days with anticyclonic weather were also extracted.

The environment around the meteorological shelters was characterized by three variables: mean screening angle (obstruction by buildings, vegetation, and maximum obstruction), as well as vegetation cover (arboreal and herbaceous) and built-up area in squares of 10.000 m² and 40.000 m².

The correlation between screening angle (obstruction by buildings) and the average of the minimum temperatures (period April 1985 - March 1986) showed to be the best. Observed differences between autumn-winter and spring-summer data, however, suggest that the regional atmospheric circulation has a significant control over the urban climate of Porto Alegre, RS, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A rápida urbanização e crescimento das cidades no último meio século mudou a fisionomia da Terra mais do que, provavelmente, qualquer outro resultado da atividade humana em toda a história (ODUM, 1985). Segundo DAVIS (1976), este crescimento é consequência coletiva imprevista de uma série de ações individuais deliberadas.

Tendo passado 99% de sua existência em acampamentos nômades ou aldeias (DAVIS, 1976), a transição do Homem para a vida urbana foi um fato histórico muito importante. As cidades ocupam apenas de 1 a 5% da área da paisagem terrestre (ODUM, 1985). Em contrapartida, concentram um terço da população urbana em cidades com mais de 20.000 habitantes e um quinto da população urbana em cidades com mais de 100.000 habitantes (MARCUS & DETWYLER, 1972).

Somente na última década a população urbana mundial aumentou em 450 milhões (UNEP-United Nations Environment Programme, 1987). As estatísticas também demonstram ser o crescimento urbano bem mais acelerado nos países em desenvolvimento e, em especial, na América Latina, onde em 1920 apenas 14% da população vivia em cidades, em 1980 (estimativa) elevou-se para 43% e deverá atingir 54% no ano 2000. Este crescimento urbano acelerado não pode ser explicado apenas pelo crescimento vegetativo da população mas principalmente pelo êxodo rural que, segundo BOYDEN & CELECIA (1981), é consequência da diferença de investimentos

no campo e na cidade. Este fato não produz somente a expansão das grandes metrópoles^(*) e capitais regionais, mas gera também o surgimento e evolução de inúmeras cidades de médio e pequeno porte (COFSTEIN, 1987).

Se, por um lado, as cidades são locais onde se misturam as idéias, se trocam informações e se adquire conhecimento, de outro, vemos que se a cidade cresce muito, o seu próprio tamanho passa a ser inconveniente à população (LOMBARDO, 1985), na medida em que acumulam e difundem, com a mesma intensidade, desordem, degradação e desperdício (GIACOMINI, 1981). Diante da proliferação de cidades tentaculares no Terceiro Mundo, que fogem a qualquer tentativa governamental de planejamento, as cidades do "Velho Mundo" perdem muito em importância (BOYDEN & CELECIA, 1981).

As modificações introduzidas pelo Homem moderno tendem a ocorrer mais rapidamente do que aquelas que ocorrem em ambientes não modificados, tendo como consequência efeitos mais dramáticos (MARCUS & DETWYLER, 1972). Com o desenvolvimento tecnológico, a dominação local sobre a natureza deu-se baseada na idéia ocidental-cristã tradicional de que o Homem é independente da Natureza e não parte integrante dela (WHITE JR, 1967).

A convergência de forças antropogênicas (população, urbanização e tecnologia) e do ambiente, no entanto, gerou conflitos. Embora os elementos do meio natural sejam geralmente modificados pelo Homem, em especial nas áreas

(*) ver glossário

urbanas, suas características essenciais permanecem e, se de um lado o controle da Natureza pelo Homem aparentemente cresce, cada novo dia traz clara evidência do seu potencial destruidor (MARCUS & DETWYLER, 1972).

A história da urbanização tem mostrado que o avanço tecnológico não está necessariamente associado à qualidade de vida das cidades.

A cidade é a quintessência da capacidade do Homem em iniciar e controlar (sic) modificações no seu 'habitat' (MARCUS & DETWYLER, 1972). Por se tratar de um ambiente cada vez mais artificializado, o crescimento, a produtividade, o sucesso competitivo e mesmo a fisionomia das cidades são grandemente influenciadas pelas quantidades de energia importada e utilizada (MARCUS & DETWYLER, 1972). A principal razão dos problemas ambientais urbanos, entre outros, parece estar associada à separação Homem/Meio Natural. WHITE JR(1967) diz que todas formas de vida modificam seu contexto. O Homem, no entanto, tem sido tão dinâmico que freqüentemente não se sabe exatamente ONDE e COM QUE efeitos as alterações antropogênicas apareceram.

Embora mencione apenas o ambiente atmosférico, KNEESE(1973) ressalta algo que pode ser estendido aos demais componentes do meio físico ('natural'): A necessidade de se conhecer no geral e no particular os efeitos de 'feedback' que as atividades humanas exercem sobre seu meio-ambiente. Os efeitos têm implicações nas tomadas de decisão que vão desde a disposição geográfica dos povoamentos humanos até a

taxação do custo efetivo nas estratégias de controle à poluição.

Para que seja seguida a sugestão acima proposta, é necessário ter-se um amplo conhecimento da estrutura, funcionamento e evolução destes sistemas urbanos, vistos como ecossistemas (MARCUS & DETWYLER, 1972).

Vários autores têm discutido a visão da cidade como ecossistema: MARCUS & DETWYLER(1972), MÜLLER(1980), ODUM(1985) e SCHÄFER(1986).

MARCUS & DETWYLER(1972) denominaram a cidade como "ecossistema" baseados no conceito de que ele "representa os organismos de uma localidade em conjunto com seu ambiente, considerados como uma unidade". Este conceito, provavelmente baseado em TANSLEY(1935), citado em SCHÄFER(1986) é correto mas talvez muito simplificado, pois não observa os demais fatores que influem nos níveis tróficos da estrutura deste sistema.

Já a definição de ODUM(1985), de que "a cidade é um sistema heterotrófico ou incompleto, dependente de grandes áreas externas a ele para obtenção de energia, água e matérias-primas, baseia-se no conceito de ecossistema por ele proposto em 1963 (SCHÄFER, 1986) como sendo "formações de vida e seu ambiente, caracterizadas por certa estabilidade e circuitos internos de troca de substâncias". Em consequência, ao pretender-se definir cidade como ecossistema, é necessário englobar as relações de entrada e saída supra-regionais (MÜLLER, 1980; ODUM,, 1985).

Além de não apresentar circuitos internos de troca de substâncias entre os diferentes níveis tróficos, o sistema CIDADE vive (ecologicamente) da troca de substâncias com outros sistemas circundantes (SCHÄFER, 1986).

O ecossistema heterotrófico CIDADE, afirma ODUM(1985), difere de um ecossistema heterotrófico natural pela grande exigência de energia por unidade de área (metabolismo mais intenso) e pela necessidade de matérias-primas e alimentos para sustentação da própria vida. Em consequência, apresenta saídas de resíduos em maior volume e mais tóxicas do que em um ambiente natural.

Para dar uma idéia da extensão das ENTRADAS e SAÍDAS numa cidade, ODUM(1985) diz que, nos Estados Unidos, um hectare de área metropolitana exige 1000 vezes mais energia do que semelhante área em ambiente rural. Uma cidade de um milhão de habitantes que ocupa uma área de 250 km² necessita, para satisfazer suas necessidades de alimentação, vestuário e água, nada menos do que 8000 km² de áreas produtoras (área aproximadamente 32 vezes maior).

Embora em países menos desenvolvidos o metabolismo urbano seja menor (menor consumo de energia 'per capita'), a falta de infraestrutura para tratamento de esgotos e efluentes industriais resulta num impacto local mais grave. Segundo UNEP(1987), aproximadamente 1/3 dos habitantes urbanos nos países em desenvolvimento são posseiros e/ou moram em favelas.

O rápido e desordenado crescimento das cidades, em especial no mundo não desenvolvido, tem tornado quase impossível a tarefa de prover a população em suas necessidades biológicas e culturais. O acompanhamento deste crescimento permite constatar que, embora os problemas decorrentes sejam predominantemente de cunho político e sócio-econômico, a adoção de alguns cuidados climatológicos simples, por ocasião do planejamento da renovação e expansão urbana, poderia contribuir para melhorar a qualidade de vida nas cidades.

O clima urbano é consequência da profunda alteração das propriedades meteorológicas do ar imediatamente acima das cidades (CHANDLER, 1976). Estas alterações, segundo WEISCHET (1980) relacionam-se com:

- as características térmicas da superfície;
- a circulação do ar (ventilação);
- a poluição atmosférica.

O excesso de temperatura de uma cidade, gerado pela combinação destes controles, em relação aos seus arredores é denominado de "Ilha de Calor" (BOHM, 1979).

Por ser um fenômeno de escala local (OKE, 1978; LANDSBERG, 1981), o clima urbano tem como controle climático(*) principal a natureza do substrato (ROCHA, s.d.). É o tipo de cobertura do solo da cidade que, nesta escala, impõe um balanço de energia distinto daquele das áreas rurais cuja variedade climática está no mesmo nível do urbano.

As diferenças que se desenvolvem entre uma área urbana e uma paisagem rural dependem das condições sinópticas^(*). Elas são, na essência, uma diferenciação de climas locais e, como tal, dependem da não similaridade dos fluxos de radiação e das trocas turbulentas nos dois locais. Mais intensos sob condições de céu claro e ar calmo, os contrastes tendem a desaparecer sob céu nublado e na presença de vento (ERIKSEN, 1964; LOWRY, 1967; OKE, 1978; LANDSBERG, 1981; e outros). Sob condições sinópticas de alta pressão, as diferenças urbano rurais se acentuam. LINKE(1940) caracterizou o clima urbano como um fenômeno de "bom tempo"^(*), que mostra seu maior desenvolvimento sob ar calmo e céu sem nebulosidade.

Do ponto de vista energético, OKE(1978) identifica as causas hipotéticas da Ilha de Calor ao nível da Camada dos Tetos Urbanos^(*) (Urban Canopy Layer) como sendo:

- o aumento da radiação líquida ($L\downarrow$) através da absorção de radiação de onda longa emitida na superfície e reemitida pela atmosfera poluída;
- a diminuição da perda líquida de radiação de onda longa (L^*) nos "canyons" urbanos^(*), devido à redução do horizonte local (sky view factor^(*)) pelos edifícios;
- a maior absorção de radiação de onda curta (K^*) pelo efeito de geometria do "canyon" sobre o albedo^(*);

- o maior armazenamento de calor diurno (ΔQ_G) devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos, e sua liberação noturna;
- a irradiação de calor antropogênico (Q_F) pelas paredes dos edifícios;
- a diminuição da evaporação (Q_E) devido à remoção da vegetação, impermeabilização do solo pela pavimentação e à rede de drenagem pluvial (esgotos);
- a diminuição das perdas de calor sensível^(*) (Q_H) pela redução da velocidade do vento no interior da camada dos tetos urbanos.

Em outras palavras,

- O aumento da poluição do ar reduz a quantidade de radiação que chega à superfície e supre a atmosfera com núcleos de condensação^(*) adicionais em torno dos quais se formam as gotículas das nuvens.
- O aumento da rugosidade, devido à geometria dos prédios, cria a possibilidade de maior retenção da radiação, com estagnação do ar. Sob tempo anticiclônico^(*), o aquecimento/sombreamento pode gerar circulação local do ar enquanto sob predomínio da circulação secundária e primária, com ventos moderados e fortes, a cidade funciona como um quebra-vento.
- A maior quantidade de núcleos de condensação associada à maior rugosidade da superfície pode provocar um aumento do volume de chuva devido aos movimentos ascendentes na massa

de ar (UR inferior a 100%) além da redução da velocidade na passagem frontal pela cidade.

- a natureza dos materiais de construção urbana tornam o sistema um armazenador de calor mais eficiente (albedo menor, condutividade térmica maior), além de aumentar a impermeabilização da superfície. A água precipitada, imediatamente escoada pelo esgoto pluvial para fora da área urbana, reduz a evaporação real e, em consequência, diminui a umidade absoluta do ar urbano.
- As atividades humanas, a presença (densidade maior) e o deslocamento das pessoas na cidade (veículos) têm consequência sobre a composição do ar pelo lançamento de aerossóis e gases na atmosfera local, além do aquecimento artificial do ambiente.

Para uma melhor compreensão do clima urbano é interessante situá-lo, em termos de hierarquia, no contexto geral da Climatologia.

Embora os extremos da escala climática^(*) (macroclima e microclima) estejam claros para a maioria dos autores, o mesmo não acontece com a(s) divisão(ões) intermediária(s), havendo inclusive superposição dela(s) (KRATZER, 1956; OKE, 1978; ROCHA, s.d.; NÜBLER, 1979).

Por serem termos muito vagos, em função das variações das escalas verticais e horizontais, LANDSBERG(1981) prefere o uso do termo LOCAL ao invés de MESO ou MICRO, para

destacar as influências da superfície sobre a camada de ar junto ao solo.

Na verdade, nenhum fenômeno atmosférico é independente, mas parte de um contínuo, daí a dificuldade de se chegar a um consenso neste tema (OKE, 1978). É necessário, entretanto, ter-se presente a noção de que um microclima só pode ser compreendido quando tiverem sido estabelecidas as particularidades das hierarquias climáticas superiores sob as quais ele se estabeleceu (ROCHA, s.d.). LANDSBERG (1981) observa, na mesma linha, que cada localidade é governada pelos padrões meteorológicos de grande escala (escala sinóptica^(*)), sendo que cada ambiente modifica, em maior ou menor grau, as condições locais da fina camada de ar acima do solo (camada limite da atmosfera). A interação entre a escala sinóptica e a local oscila continuamente. Algumas vezes predominam condições de grande escala e, em outras, prevalecem as condições locais, embora ambas estejam sempre presentes.

Do ponto de vista metodológico, torna-se importante estabelecer os controles climáticos principais atuantes na escala do clima local.

ROCHA(s.d.) indica como controles climáticos do clima local (denominado por ele de coroclíma) a distribuição terra-água, a orientação do relevo, a natureza do substrato e a circulação atmosférica terciária (brisa rural^(*), por exemplo), com reduzida influência do efeito Coriolis^(*) e grande influência da topografia.

OKE(1984) sugere que sejam observados dois grupos de controle subjacentes ao clima urbano (Fig. 1):

A) as camadas turbulentas:

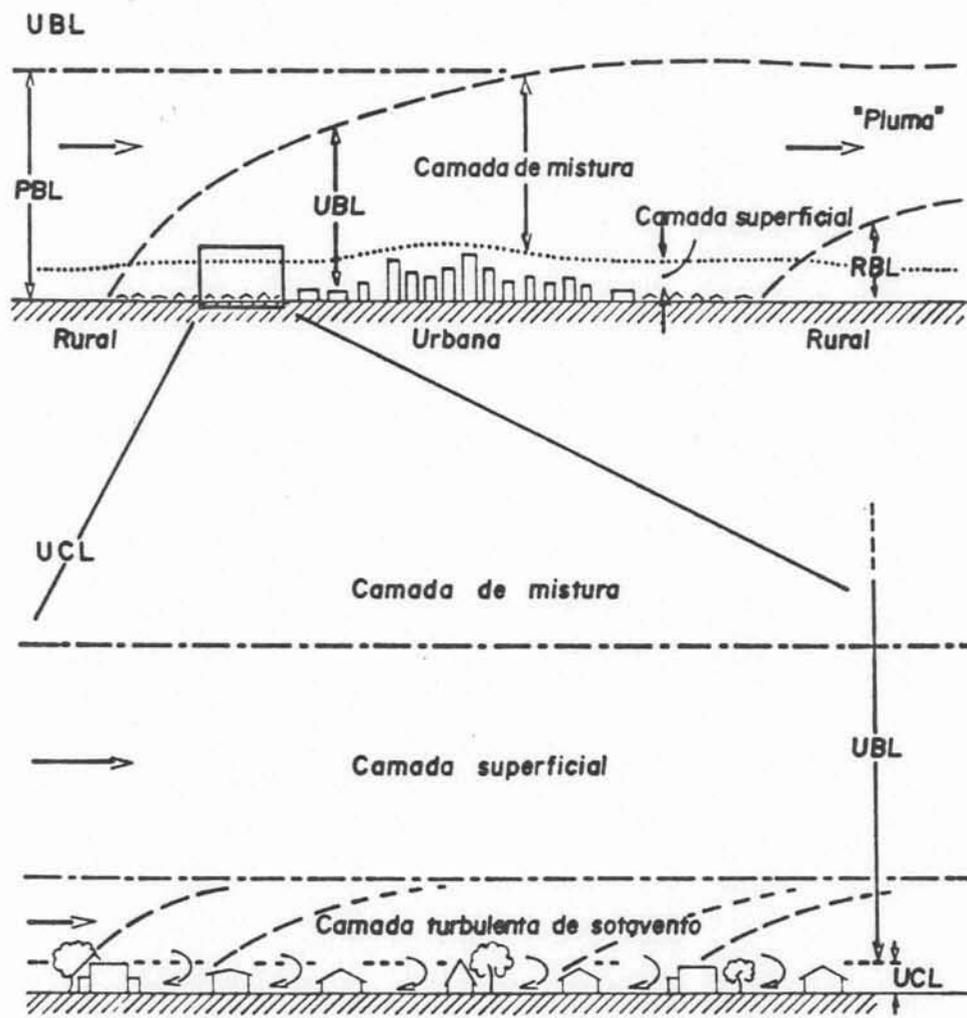
- I a. Camada limite II (UCL - Camada dos Tetos Urbanos)
 - b. Camada turbulenta de sotavento
- II a. Camada limite da atmosfera^(*) (UBL - Camada Limite Urbana^(*))

B) as unidades morfológicas:

- 1- edifício
- 2- "canyon" urbano^(*)
- 3- Bairro
- 4- Classes de uso do solo
- 5- Cidade

As combinações entre A e B oferecem esquemas simples de classificação dos climas urbanos. Neste caso, é importante que a escala seja considerada, pois ajuda a identificar as superfícies morfológicas relevantes aos objetivos do estudo, contribuindo assim para evitar a confusão entre os fenômenos climáticos urbanos e os sistemas definidos para sua observação ou modelagem (OKE, 1984).

A superfície ativa é um dos controles climáticos mais importantes porque é o local em que ocorrem as trocas de matéria e transformação de energia, e é ela que



PBL	Camada Limite Planetária
UBL	Camada Limite Urbana
RBL	Camada Limite Rural
UCL	Camada dos Tetos Urbanos

Fig. 1: Esquema idealizado das estruturas da camada limite sobre uma área urbana (OKE, 1984).

frequentemente experimenta os climas mais variados e extremos.

Mesmo não possuindo instrumentos, já na antiguidade o Homem distinguia a atmosfera rural da urbana. Embora fossem observações subjetivas, inúmeros exemplos são citados por YOSHINO(1975) apontando a utilização destas observações na organização e planejamento das cidades. Na Roma antiga, na Índia e no Japão, existiam normas quanto à orientação das ruas, visando o aproveitamento da insolação e do vento, bem como com o objetivo de minimizar a poluição ou os riscos de incêndio. Londres, na Idade Média, era protótipo de poluição urbana (LANDSBERG, 1981). A conhecida expressão de EVELYN (1661) de que a cidade de Londres podia ser percebida a milhas de distância em função do mau cheiro sentido pelos viajantes que para lá se dirigiam, revela que, já naquela época, sua poluição atmosférica era significativa.

Foi apenas no começo do século XIX, porém, que HOWARD(1818), citado em LANDSBERG(1981), publicou de forma sistemática, os primeiros dados relativos às diferenças de temperatura entre a cidade e o campo. Em edições sucessivas do mesmo livro (HOWARD, 1920 e 1933), esse químico atribuiu ao uso excessivo de combustíveis o excesso de calor urbano (LANDSBERG, 1981).

Em Paris, RENO(1855 e 1868) observou diferenças entre a cidade e o campo, constatando um retardamento no resfriamento da cidade em relação aos seus arredores, além

de verificar que o número de dias com temperaturas inferiores a 0°C era 40% menor na área urbana do que na rural (LANDSBERG, 1981).

Posteriormente, vários estudos surgiram para outras localidades, em especial na Europa, comentando principalmente diferenças térmicas entre a cidade e o campo circunvizinho.

Com SCHMIDT(1927) e PEPPLER(1929) é que se iniciaram os estudos visando as causas do clima urbano. A maior contribuição destes autores foi a introdução do método de medidas móveis de temperatura, com o instrumento instalado num veículo automotor. A correção temporal era feita com auxílio de um ou mais pontos fixos contendo registradores. Hoje, helicópteros e satélites artificiais também são utilizados (HOFFMANN et al., 1965; LOMBARDO, 1985).

A primeira obra clássica em Climatologia Urbana foi escrita por KRATZER em 1937, sendo reeditada em 1956 (KRATZER, 1956), com acréscimo significativo de trabalhos em climatologia e poluição do ar em cidades.

Dos estudos separativos dos elementos meteorológicos voltou-se, a partir do pós-guerra, para a caracterização do clima de cada local com material mais detalhado. Esta análise espacial, segundo NÜBLER (1979), passou então a contar com a colaboração de geógrafos, visando não só o conhecimento dos processos que ocorriam na atmosfera urbana, mas também no sentido de minimizar, senão eliminar, os efeitos adversos causados ao clima pela urbanização. A

destruição causada pela II Guerra e a necessária reconstrução das cidades aumentaram o interesse pelos aspectos climatológicos, assim como por outros conhecimentos do ambiente físico a serem considerados no planejamento (LANDSBERG, 1981).

O Simpósio sobre clima urbano e de edificações, em Bruxelas, Bélgica, em 1968 (WMO, 1970), é um marco histórico no desenvolvimento da climatologia urbana, a partir do qual foram definidos objetivos mais amplos em relação às perspectivas e aplicações destes conhecimentos. OKE(1974, 1979, 1982) e CHANDLER(1976) realizaram, talvez, as revisões mais completas dos progressos da climatologia urbana no globo. Um balanço destes estudos mostra uma concentração de interesse em relação a locais em latitudes médias e altas, enquanto nas áreas tropicais e subtropicais estes estudos são ainda bastante reduzidos. Isto se deve, em parte, ao crescimento rápido das grandes cidades e ao fato de serem os problemas advindos deste fenômeno bem mais recentes do que aqueles ocorridos em médias e altas latitudes (JAUREGUI, 1986). Sob o patrocínio da WMO (World Meteorological Organization) e da WHO (World Health Organization), foi organizado o Simpósio de Climatologia Urbana com ênfase especial às áreas tropicais, realizado na Cidade do México, em 1984 (WMO, 1986).

Os estudos têm sido realizados predominantemente sobre cidades em latitudes médias e altas (Europa, América Anglo-saxônica, Japão), onde a urbanização é mais antiga. Para

locais em latitudes subtropicais e tropicais ainda é pequena a bibliografia existente, o que gerou, inclusive, a organização, em 1984, do simpósio antes mencionado.

A maioria dos estudos em áreas tropicais tem destacado a preocupação com aspectos meteorológicos (análise separativa dos elementos do tempo) e de poluição do ar (CHATTERJEE, 1964, em Calcutá e PADMANABHAMURTY, 1986, em Delhi, Índia; JAUREGUI, 1973, na Cidade do México, México; DJEN, 1986, em Shangai, China; entre outros).

No Brasil, tais estudos tiveram início no princípio da década de 1970. GALLEGU(1972) escreveu o primeiro ensaio de climatologia urbana no País. Em meados da mesma década, MONTEIRO(1976) lançou as bases teórico-metodológicas da pesquisa em clima urbano no Brasil.

MONTEIRO(1986), em sua revisão dos estudos sobre a climatologia urbana brasileira, agrupou-os segundo a posição dos locais estudados na hierarquia da rede urbana.

Nas metrópoles nacionais, São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), foram estudados aspectos tais como a análise temporal dos elementos climáticos em duas décadas distintas (CONTI, 1979), a estrutura térmica urbana (LOMBARDO et al., 1983; LOMBARDO, 1985), a relação dos tipos de tempo com o grau de poluição atmosférica (GALLEGU, 1972; TITARELLI, 1982 e SETZER et al., 1979) além da precipitação na área urbana (MONTEIRO, 1980).

No nível das metrópoles regionais destacam-se Salvador (BA) e Porto Alegre (RS). Na primeira, SAMPAIO(1981) faz uma

correlação do uso do solo com a ocorrência da Ilha de Calor. A segunda, foi objeto do primeiro estudo no Brasil visando à caracterização do fenômeno Ilha de Calor (DANNI, 1980) e da aplicação pioneira do método de medidas móveis na determinação da distribuição da temperatura no ambiente urbano (HASENACK et al., 1982). Mais recentemente, além da temperatura do ar, também a umidade relativa foi objeto de estudo em Porto Alegre (LIVI, 1983 e DANNI, 1987).

Para cidades de porte médio, são exemplos os estudos realizados por TARIFA(1977), em São José dos Campos (SP), com temperatura e umidade em diferentes tipos de cobertura do solo rural e urbano e por SARTORI(1979), no Rio Grande do Sul, comparando as condições climáticas locais de Santa Maria com as de Júlio de Castilhos e São Gabriel sob condições de tempo pré-frontais.

É exemplo da aplicação do clima urbano no planejamento o trabalho de MONTEIRO & TARIFA(1977), em Marabá (PA).

Os trabalhos já realizados em Porto Alegre por DANNI(1980 e 1987), HASENACK et al.(1982) comprovam a ocorrência do fenômeno Ilha de Calor, seja em termos médios como, especialmente, sob condição de tempo anticiclônico. Neste caso, a associação entre as anomalias térmicas e a cobertura do solo fica bem evidenciada (HASENACK, 1989b).

Como continuidade dos estudos de climatologia urbana de Porto Alegre, o presente trabalho tem como objetivos básicos:

- Aprofundar o estudo do clima local de Porto Alegre (RS) como subsídios para a pesquisa básica e aplicada nas áreas de ecologia e geografia urbana (clima de edificações, conforto térmico, planejamento urbano, estudos de poluição do ar);
- Identificar elementos da paisagem urbana que possam servir de auxílio à escolha de locais para implantação de uma rede de observação meteorológica em escala local através de sua maior ou menor influência sobre a temperatura.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Posição, localização e características macroclimáticas

A área de estudo no município de Porto Alegre, limitada aproximadamente pelos paralelos $30^{\circ}00'S$ e $30^{\circ}06'S$ e meridianos $51^{\circ}09'W$ Gr e $51^{\circ}15'W$ Gr, está totalmente inserida na Zona Subtropical Sul, definida por STRAHLER(1977) como sendo a zona entre 25° e $35^{\circ}S$ (fig. 2).

Esta posição, com localização na porção oriental do continente, confere ao clima regional (macroclima) as características de subtropical úmido ou "Cfa", segundo o sistema de classificação de Köppen. A temperatura média situa-se entre $-3^{\circ}C$ e $18^{\circ}C$ para o mês mais frio e superior a $22^{\circ}C$ no mês mais quente. A precipitação é uniformemente distribuída ao longo do ano com pequena concentração no inverno e total superior a 1200 mm.

Estas características termo-pluviométricas estão associadas às massas de ar^(*) atuantes na região: a massa tropical marítima (mT) e a massa polar marítima (mP). A massa tropical continental (cT) tem ocorrência eventual, no verão.

A massa tropical marítima (mT) tem origem na borda ocidental do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul^(*). É úmida, quente e muito instável. Sua frequência é maior na primavera e verão quando os sistemas circulatórios atmosféricos estão mais deslocados para o Sul devido à posição aparente do Sol neste hemisfério (declinação solar^(*) negativa). Ela é responsável, nesta latitude, pelas

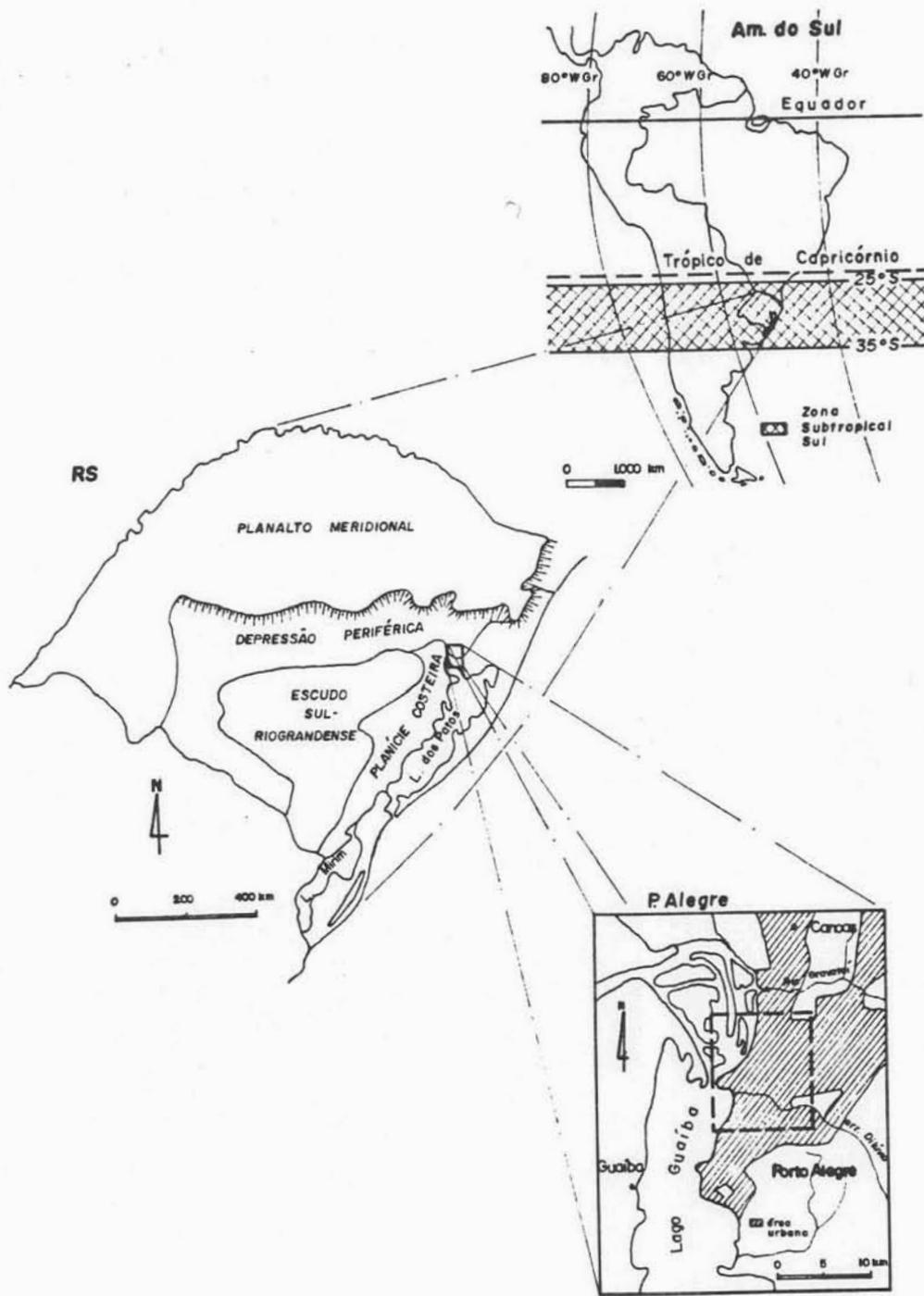


Fig. 2: Mapa de localização da área de estudo.

altas temperaturas na primavera-verão e pelas temperaturas anormalmente altas no outono-inverno (ROCHA, 1977). As temperaturas e teor de umidade elevados favorecem a ocorrência de "ondas de calor" ou "mormaços", caracterizados por períodos de 3 a 4 dias com temperaturas máximas superiores a 33°C . O elevado teor higrométrico gera a ascensão das mínimas (superiores a 22°C), produzindo noites extraordinariamente quentes (MACHADO, 1950). A precipitação característica é do tipo convectivo, intensa e de curta duração.

A massa polar marítima (mP) tem origem na superfície oceânica ao sul do continente sul-americano e atinge a área com maior frequência no outono-inverno. O deslocamento para norte do Anticilone Subtropical dá lugar às incursões de ciclones e anticiclones migratórios polares, associados à descontinuidade da Frente^(*) Polar. As chuvas são do tipo frontal, de menor intensidade que as convectivas, porém mais prolongadas.

De forma não periódica ocorrem no outono-inverno de Porto Alegre "ondas de frio" caracterizadas por quedas bruscas de temperatura (10°C em 24 h), por mínimas entre 0 e 3°C , em 48 h, com duração de 3 a 9 dias. Elas são geradas pela penetração rápida dos anticiclones^(*) migratórios polares, causando modificações rápida dos tipos de tempo meteorológico^(*). Também aperiódico é o "veranico", período de 4 a 7 dias em que as temperaturas máximas são superiores

a 25°C e as mínimas superiores a 12°C. O céu é límpido e o vento fraco ou inexistente (MACHADO, 1950).

A figura 3 apresenta um resumo dos elementos do macroclima^(*) de Porto Alegre, a partir dos dados do 8º Distrito de Meteorologia para valores normais^(*) e para o período abril 1985-março 1986.

2.2. Características do sítio urbano

Porto Alegre situa-se no encontro de três regiões morfo-estruturais. Estão presentes no município porções do Escudo Sul-Riograndense, da Depressão Periférica Gaúcha e da Planície Lagunar e Costeira (AB'SABER, 1965).

A cidade está irregularmente distribuída sobre áreas de relevo pertencentes aos diferentes níveis de morros baixos do maciço de Porto Alegre e sobre as planícies aluviais restritas nele intercaladas. Extravasa também pelas planícies e baixos terraços do setor inferior do Jacuí e Gravataí, atingindo parcialmente as colinas da depressão periférica que contornam o maciço de Porto Alegre pelo norte. O relevo é formado, portanto, por um mosaico de pequenos compartimentos bem individualizados, todos eles comprometidos com a expansão metropolitana (AB'SABER, 1965).

No início do povoamento, quando a cidade ocupava apenas as partes altas e encostas do espigão sobre o qual surgiu, o sítio urbano era adequado (HAUSMAN, 1961). A expansão prosseguiu para o interior do maciço, por sobre os morros de nível intermediário (80-130 m) sendo interrompida pela

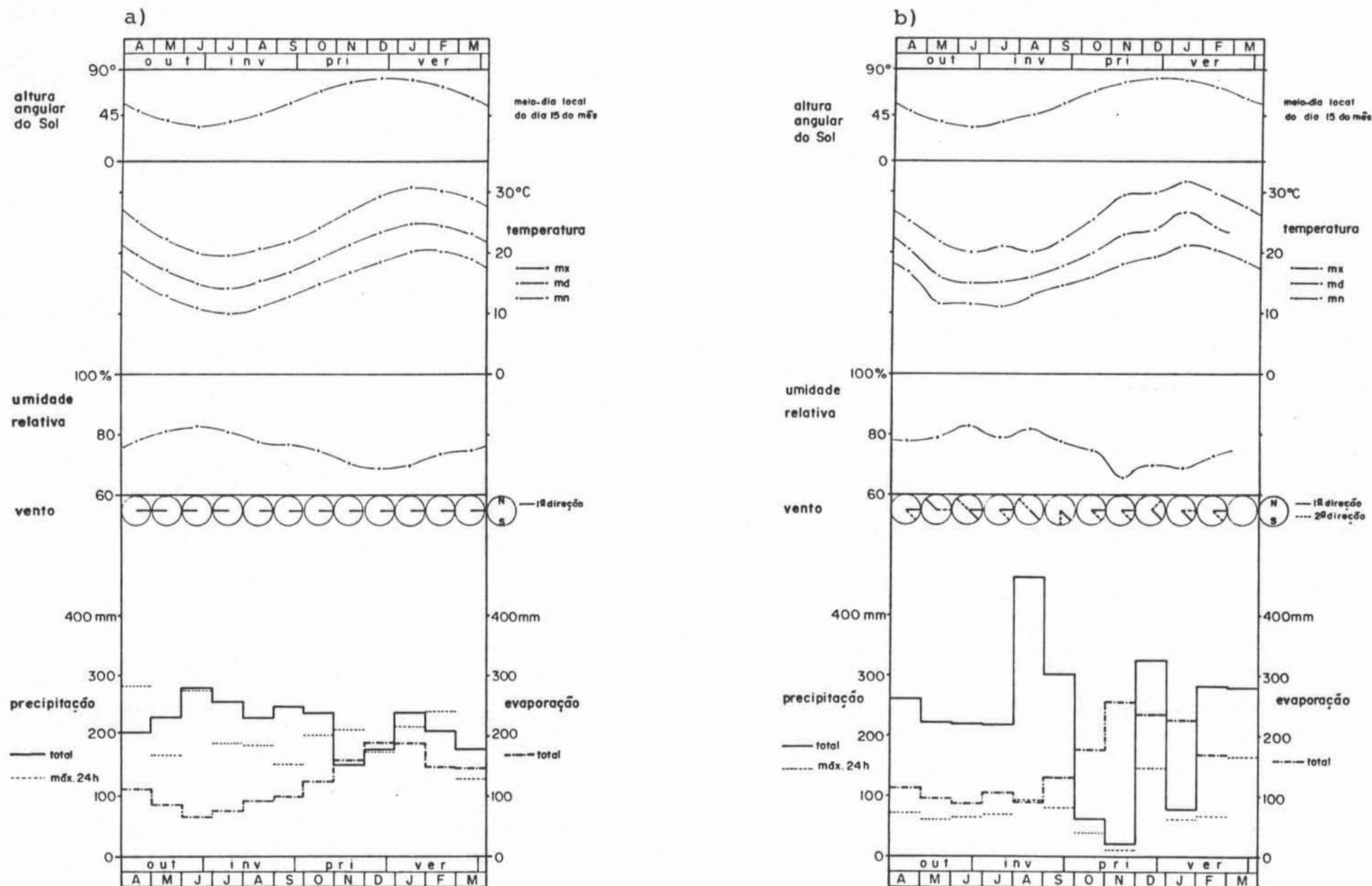


Fig. 3 : Elementos meteorológicos observados na estação meteorológica do 8º DISME. a) condições normais (1931-1960); b) condições médias mensais do período abril 1985 a março 1986. Fonte INEMET.

barreira formada pelos morros altos (200-300 m) de acentuada declividade (mais de 30%). A partir daí o crescimento para o sul dá-se apenas ao longo do Guaíba e nas estreitas planícies e "passos" que dissecam estes morros (AB'SABER, 1965).

A população de Porto Alegre representava, em 1940, 12% da população total do Rio Grande do Sul. Em 1985, correspondia a 35%, conforme METROPLAN, 1980 (fig. 4). Atualmente, a pressão decorrente do rápido crescimento populacional da Região Metropolitana de Porto Alegre cria dificuldades à expansão urbana, pois são poucos os locais para onde a cidade pode se expandir. A maior densidade de edificações está no centro de Porto Alegre e ao longo das principais saídas da cidade (Av. Farrapos/ BR-116, a norte, Av. Assis Brasil, a nordeste; Av. Protásio Alves e Av. Bento Gonçalves/RS-40 a sudeste), diminuindo em direção à periferia, e às áreas mais íngremes (fig. 5).

Com a crescente valorização das áreas já ocupadas aumenta a pressão para um acréscimo das taxas de ocupação dos respectivos terrenos e da altura dos prédios.

Isto tem como resultado um aumento da superfície impermeabilizada, um aumento da rugosidade e um maior armazenamento e liberação de energia devido à climatização e à maior circulação de pedestres e veículos.

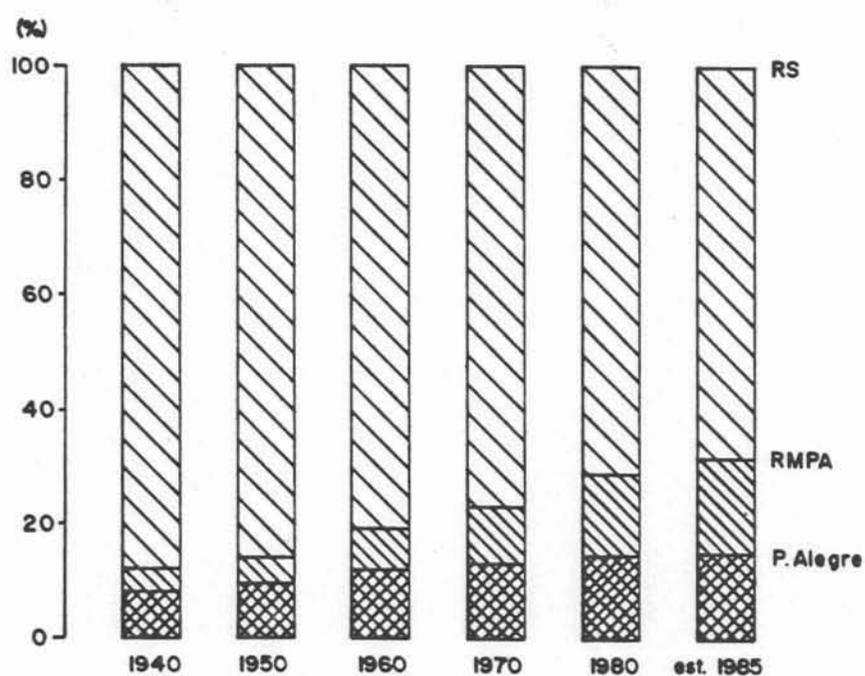


Fig. 4: Participação da população da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) e do município de Porto Alegre no total da população do Estado (RS). Fonte: IBGE

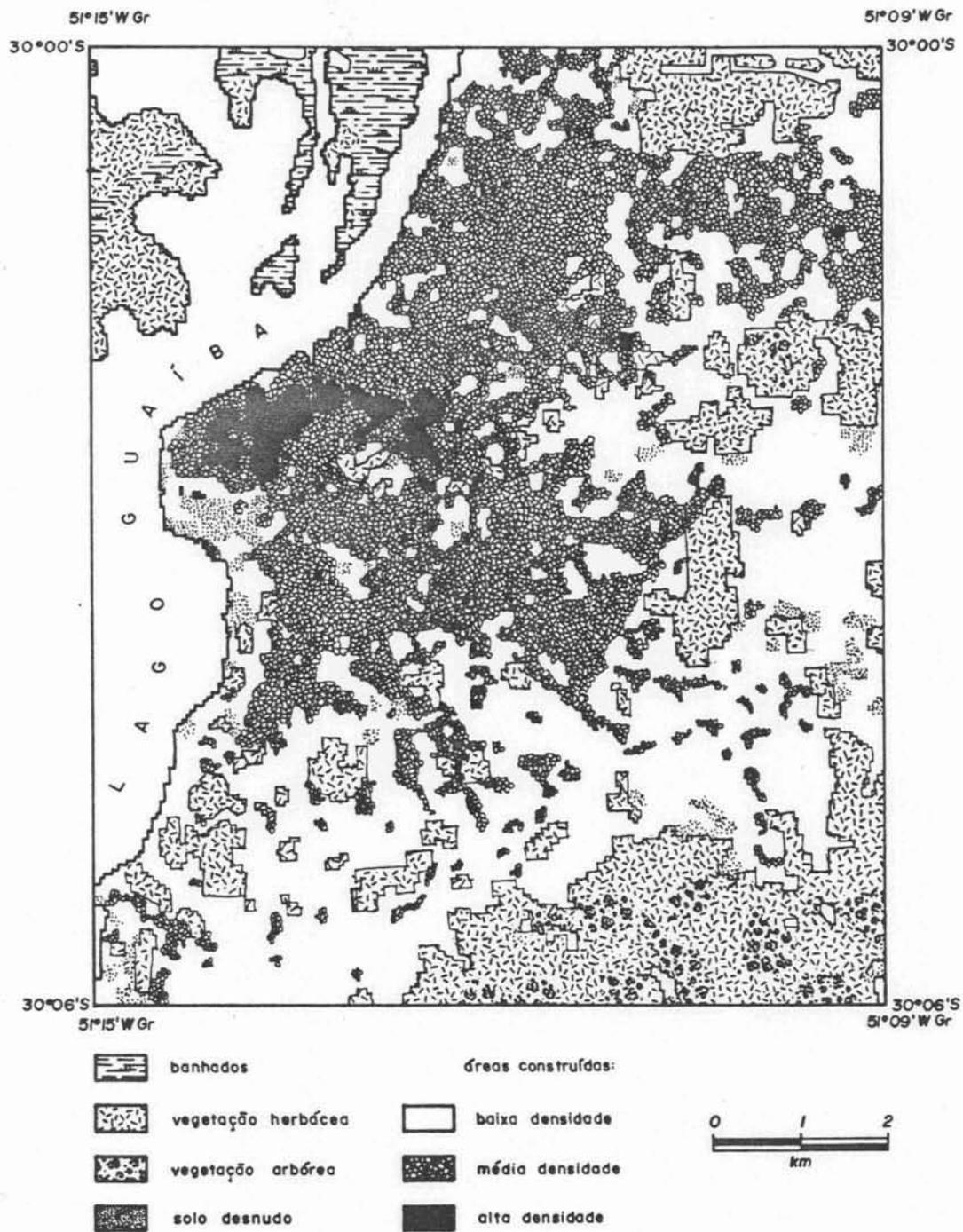


Fig. 5 : Mapa de cobertura do solo de Porto Alegre (HASENACK, 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção dos dados

3.1.1. Dados Meteorológicos

Foram utilizados dados de temperatura coletados em sete estações meteorológicas na área urbana de Porto Alegre (fig. 6):

- Estação 8º DISME - DIS ($30^{\circ}03'10''$ S; $51^{\circ}10'29''$ W Gr; 47 m) mantida pelo INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia), no Bairro Jardim Botânico;

- Estação Parque Farroupilha - FAR ($30^{\circ}02'04''$ S; $51^{\circ}13'02''$ W Gr; 9 m) mantida pelo Departamento de Geografia da UFRGS, no Parque Farroupilha;

- Cinco estações instaladas para os propósitos deste trabalho e mantidas (em parte) pelo Centro de Ecologia da UFRGS:

- Estação Arquivo Público - ARQ ($30^{\circ}01'53''$ S; $51^{\circ}13'52''$ W Gr; ~16 m) no Centro;

- Estação Colégio Nossa Senhora da Glória - COL ($30^{\circ}04'33''$ S; $51^{\circ}11'55''$ W Gr; ~58 m) no Bairro Glória;

- Estação Seminário Concórdia - SEM ($30^{\circ}01'46''$ S; $51^{\circ}11'55''$ W Gr; ~73 m) no Bairro Mont Serrat;

- Estação Sociedade Gondoleiros - SOC ($30^{\circ}00'40''$ S; $51^{\circ}12'21''$ W Gr; ~3 m) no Bairro São Geraldo;

- Estação Supervisão de Produção Animal - SUP ($30^{\circ}03'19''$ S; $51^{\circ}13'20''$ W Gr; ~7 m) no Bairro Menino Deus.

A localização destas cinco últimas obedeceu aos seguintes critérios:

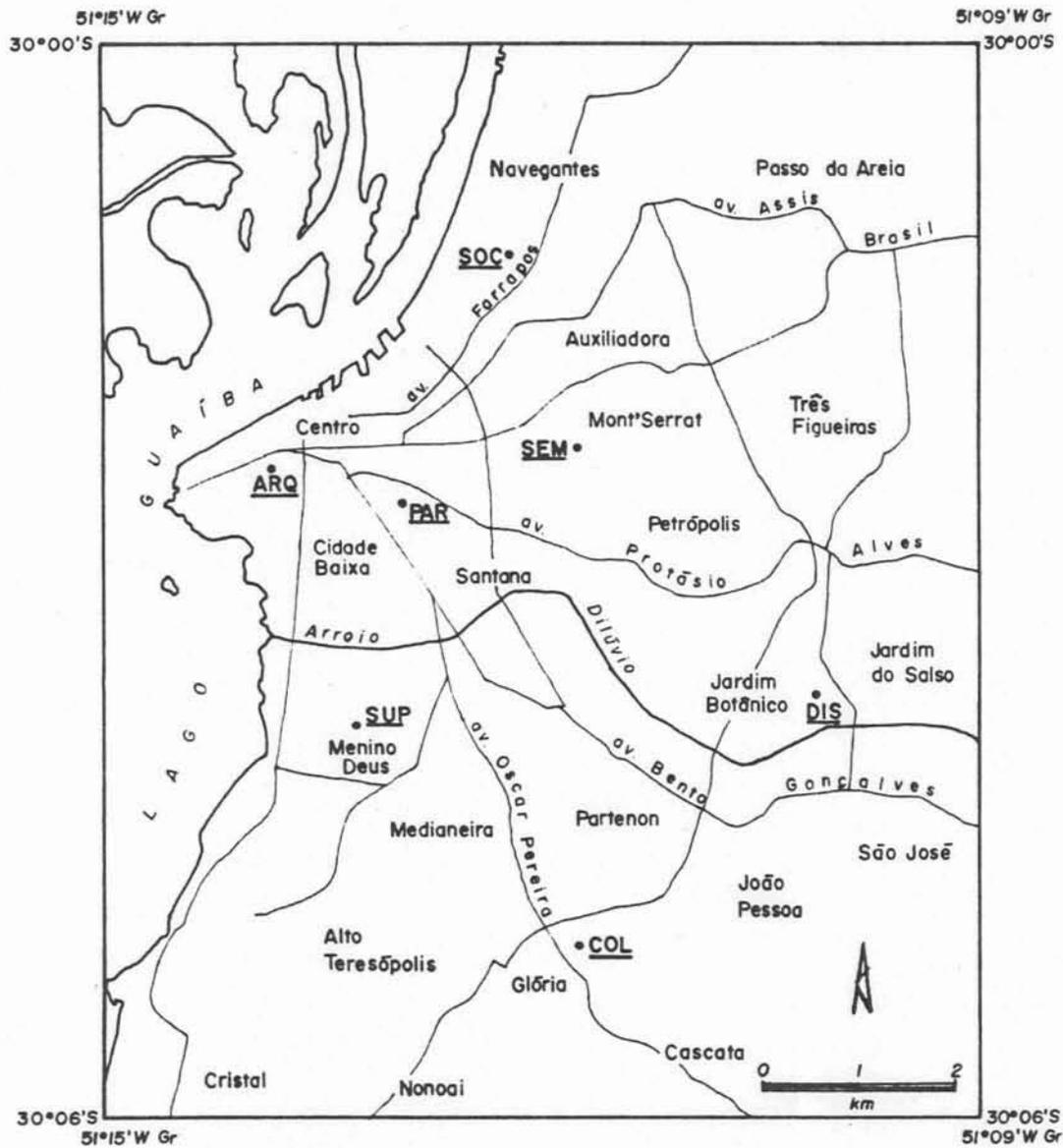


Fig. 6 : Mapa-base da área de estudo, com indicação dos bairros e a localização das Estações Meteorológicas:

ARQ	Arquivo Público
COL	Colégio Nossa Senhora da Glória
DIS	8º Distrito de Meteorologia
PAR	Parque Farroupilha
SEM	Seminário Concórdia
SOC	Sociedade Gondoleiros
SUP	Supervisão de Produção Animal

- os abrigos deveriam ser instalados sobre superfície idêntica (gramado, no caso);

- o local deveria ser relativamente seguro para evitar danos ao equipamento;

- as estações deveriam representar categorias com cobertura do solo distintas;

- a distância entre as seis estações deveria permitir a troca dos gráficos dos instrumentos registradores num prazo máximo de duas horas, sem perda de continuidade na informação;

Segundo HASENACK et al. (1982), os locais escolhidos parecem ter apresentado comportamento térmico distinto.

Os abrigos das estações meteorológicas DIS e PAR são do tipo "Estação de 1ª Classe", com paredes de venezianas duplas, enquanto que os das demais são do tipo "Estação Auxiliar" de parede simples com venezianas duplas.

O equipamento instalado em cada uma das cinco estações do Centro de Ecologia constituía-se de:

- 1 termo-higrógrafo marca THIES, com rotação diária e semanal;
- 1 evaporímetro de Piché;
- 1 pluviógrafo marca THIES com rotação diária e semanal.

A estação PAR recebeu o mesmo equipamento, com exceção do pluviógrafo que, por razões de segurança, não foi instalado. Esta estação, porém, já possuía pluviômetro. A estação DIS, por pertencer à rede nacional do INEMET, já

possuía esse equipamento, não tendo recebido nenhum adicional. O termo-higrógrafo da estação DIS é de fabricação BELFORT e o pluviógrafo é IH, com rotação semanal e diária, respectivamente.

Os termo-higrógrafos foram calibrados utilizando-se um psicrômetro de aspiração tipo Assmann (marca THIES).

A troca dos gráficos dos instrumentos registradores e a observação da evaporação foi feita semanalmente, sendo repetida na mesma semana quando da ocorrência de feriados nos dias de troca. Em DIS a observação é diária, realizada por pessoal do próprio órgão.

Por ocasião da troca em cada estação meteorológica, eram anotados dia e hora, para controle em caso de eventual falha no instrumento e/ou modificação do horário oficial.

Em laboratório, os dados de cada estação meteorológica eram plotados manualmente em tabelas construídas para tal fim. Embora as divisões dos gráficos fossem de 1°C para a temperatura e 2 horas para o dia, tomou-se a temperatura a cada hora, bem como a máxima e a mínima do dia, com aproximação de $0,5^{\circ}\text{C}$.

Foram utilizados neste trabalho dois grupos de dados de temperatura:

- Temperaturas mínimas e máximas diárias do período março 1985-abril 1986;
- Temperaturas horárias, máxima e mínima de um período seqüencial de 2 dias com tempo anticiclônico para

cada estação do ano (o anexo II apresenta as cartas sinópticas correspondentes).

Este último grupo foi definido a partir da observação das cartas sinópticas e imagens de satélite do período. Selecionou-se todos os dias com característica de tempo anticiclônico, isto é, tempo estável, sem nebulosidade, com centro de alta pressão sobre Porto Alegre ou proximidades. Destes dados tomou-se, para cada estação do ano, períodos de dois dias contínuos com esta condição de tempo, dentre os quais o grupo com menor modificação sinóptica no período foi o escolhido. NÜBLER (1979) utilizou 4 dias em cada estação do ano. O fato de ter-se encontrado, para o período do verão apenas dois dias sequenciais de tempo anticiclônico característico fez com que, nas demais estações do ano o número de dias também fosse reduzido a dois.

Os dados faltantes, decorrentes da demora na troca dos gráficos ou eventual falha mecânica do equipamento, foram estimados segundo o método proposto por SNEDECOR(1948):

$$x = \frac{tT + bB - S}{(t-1)(b-1)} \quad \text{onde,} \quad (1)$$

- x - dado faltante
- t - número de tratamentos (n. obs.)
- b - número de blocos (n. est. met.)
- T - soma dos itens com igual tratamento ao do que falta
- B - soma dos itens do mesmo bloco que o item que falta
- S - soma de todos os itens observados

Os dados foram estimados mês a mês.

3.1.2. Obstrução do horizonte local

Tomando como centro o abrigo de cada estação meteorológica observou-se em um intervalo de 10° de azimute^(*), o ângulo de obstrução do horizonte local que a vegetação e/ou edificações produziam. O equipamento utilizado foi uma bússola BREITHAUPT e um clinômetro HOPE.

Posteriormente estes dados foram plotados sobre um diagrama solar estereográfico construído para a latitude $30^{\circ}S$. Neste diagrama foi traçada a projeção do horizonte local em função da altura e distância das obstruções em torno do ponto. A indicação das horas (tempo local) para o curso do Sol nos soltícios e equinócios, dá uma idéia dos períodos em que cada abrigo ficava à sombra nas diversas estações meteorológicas, além de permitir uma rápida comparação entre elas.

Tomando-se as 36 leituras para cada local, foi calculado o ângulo de obstrução médio da vegetação e das edificações, assim como a média dos maiores valores destes, em cada azimute. Este último valor foi denominado "ângulo médio de obstrução máxima do horizonte".

A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=0}^{35} \alpha_i}{n} \quad \text{onde,} \quad (2)$$

- $\bar{\alpha}$ - ângulo médio ($^{\circ}$);
 $\sum \alpha_i$ - somatória dos ângulos observados em cada azimute ($^{\circ}$);
 n - número de observações realizadas por estação.

Considerando-se a abóbada celeste local como um hemisfério de raio igual a 1 (um), é possível calcular a área média obstruída em cada sítio, como segue:

$$A = 2 \pi R^2 \cdot \text{sen } \bar{\alpha} \quad \text{onde,} \quad (3)$$

- A - superfície obstruída (m^2);
 $2 \pi R^2$ - superfície total do hemisfério celeste de raio R (m^2);
 $\bar{\alpha}$ - ângulo médio de obstrução do horizonte local (m).

Além dos valores absolutos de obstrução calculou-se também seus valores relativos (anexo III).

3.1.3. Área com edificações

Estando o abrigo no centro, definiu-se em torno de cada estação meteorológica duas áreas quadradas com 100 m ($10.000m^2$) e 200 m ($40.000 m^2$) de lado. Uma das faces dos quadrados tinha orientação norte.

Nas áreas, cada edificação teve sua altura angular medida com o auxílio de clinômetro. A distância do observador até a edificação foi medida a partir do mapa

cadastral do município, em escala 1:1.000. A altura das edificações foi calculada pela seguinte fórmula:

$$h = (d \cdot \tan \alpha) + C \quad \text{onde,} \quad (4)$$

h - altura da edificação (m)
d - distância do prédio ao observador (m)
 α - altura angular do prédio ($^{\circ}$)
C - constante correspondente à altura do observador (m)

Edificações vizinhas, com altura similar, tiveram este valor estimado a partir das alturas calculadas.

As edificações foram agrupadas em cinco classes, de acordo com as alturas medidas:

< 5 m
5 - 10 m
10 - 20 m
20 - 40 m
> 40 m

A área com edificações foi avaliada pela superposição de uma rede de quadriculas sobre o mapa cadastral e identificada pelas classes de altura. Cada quadricula representava 25 m² em escala real atribuindo-se a cada uma o valor da classe predominante.

3.1.4. Área da cobertura vegetal

Nas mesmas área utilizadas para definição da superfície edificada, foi avaliada a vegetação.

Sobre fotografias aéreas em escala 1:5.000, obtidas por TERRAFOTO Aerolevantamentos, em 1982, foram identificadas,

com auxílio de estereoscópio de espelhos (marca ZEISS), duas classes de vegetação:

- herbácea;
- arbórea.

As áreas fotointerpretadas foram ampliadas (amplificador de lentes marca VARIO-GRAPH) para a escala 1:1.000 e ajustadas às cartas cadastrais de 1982 (PMFA e METROPLAN).

A superfície de vegetação arbórea foi definida pela ocupação da copa das árvores, independente do substrato ser edificação, solo pavimentado, solo descoberto, água ou superfície de vegetação herbácea. Neste último caso, a vegetação herbácea foi subestimada.

De forma similar ao procedimento utilizado com a área edificada, superpos-se uma rede de quadrículas (25 m^2 em escala real) sobre o produto ampliado da fotointerpretação, sendo atribuído a cada quadrícula o valor correspondente à classe predominante.

Para cada estação meteorológica foi, então, calculada a área de vegetação total, herbácea e arbórea para 10.000 m^2 e 40.000 m^2 .

3.2 Tratamento dos dados

Foram consideradas variáveis ambientais as características do substrato das quais a temperatura é dependente.

Para relacioná-las entre si e com as temperaturas máximas e mínimas, foi utilizada a correlação, por postos,

de Spearman (SIEGEL, 1975; tab. 1). Este teste não-paramétrico é utilizado no caso de amostras pequenas ou quando os dados não possuem distribuição normal. Os dados devem ter sido medidos no mínimo em escala ordinal. Uma vez ordenados de forma crescente ou decrescente, trabalha-se com o número do posto ocupado na escala pelos valores de cada variável.

Esta análise permitiu a seleção, para cada conjunto de dados ambientais, do elemento mais relevante.

Dos três índices de obstrução do horizonte local (obstrução máxima, por vegetação e por edificações), optou-se pelo de obstrução por edificações. Este índice mostrou estreita relação com a vegetação em 10.000 m² ($\alpha = 0,01$), boa correlação com edificações em 10.000 m² ($\alpha = 0,05$) e, em especial, apresentou correlação com a temperatura mínima média do ano a $\alpha = 0,01$, o que ocorreu com o índice de redução máxima apenas ao nível de $\alpha = 0,05$.

A subdivisão da vegetação em arbórea e herbácea, embora interessante do ponto de vista fisionômico, não resultou significativa, permanecendo como índice de vegetação o total de ambas as formas para cada local. Foi escolhida a área com vegetação de 10.000 m² em torno de cada estação meteorológica por apresentar boa correlação negativa com a redução do horizonte edificado ($\alpha = 0,01$; $\alpha = 0,05$ para 40.000 m²).

A área edificada para 10.000 m² foi definida por dois motivos: primeiro, por não ter havido correlação

Tab. 1. Correlação por postos de Spearman, entre as variáveis ambientais, as temperaturas máxima média e as temperaturas mínima média do ano. Asterisco simples identifica correlação ao nível de $\alpha = 0,05$, enquanto asterisco duplo corresponde ao nível de $\alpha = 0,01$.

	d e	d v	d m	l v	l a	l h	l e	4 v	4 a	4 h	4 e	x a	n a
d e		n.s.	0,943	-0,943	n.s.	n.s.	0,886	-0,886	n.s.	-0,829	n.s.	n.s.	0,949
d v			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
d m	**			-0,866	n.s.	n.s.	0,943	-0,943	n.s.	-0,943	n.s.	0,829	0,906
l v	**		*		n.s.	n.s.	-0,943	0,943	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
l a						n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
l h							n.s.	n.s.	l	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
l e	*		**	**				-1	n.s.	-0,886	0,829	n.s.	n.s.
4 v	*		**	**			**		n.s.	0,886	-0,829	n.s.	n.s.
4 a						**				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
4 h	*		**				*	*			-0,886	-0,943	-0,829
4 e							*	*		*		0,943	0,886
x a			*							**	**		0,943
n a	**		*							*	*	**	

de obstrução por edificações

dv obstrução por vegetação

dm obstrução máxima

lv vegetação total em 10.000 m²

la vegetação arbórea em 10.000 m²

lh vegetação herbácea em 10.000 m²

le edificações em 10.000 m²

4v vegetação total em 40.000 m²

4a vegetação arbórea em 40.000 m²

4h vegetação herbácea em 40.000 m²

4e edificações em 40.000 m²

xa temperatura máxima média do ano

na temperatura mínima média do ano

significativa entre área edificada em 40.000 m² e as demais variáveis (exceção feita às temperaturas máximas e mínimas anuais), enquanto que, para 10.000 m², a correlação foi positiva com a redução do horizonte edificado, com a redução máxima do horizonte e com a vegetação; segundo, por ter sido definida a mesma área para a vegetação.

A subdivisão da área edificada por classes de altura dos prédios foi levada em consideração apenas para caracterização fisionômica. Mesmo porque, a redução do horizonte local já dá uma idéia da altura dos prédios.

A correlação entre vegetação em 10.000 m² e 40.000 m² mostrou-se significativa para $\alpha = 0,01$, assim como as correlações entre vegetação e edificações em 10.000 m² e 40.000 m² (respectivamente $\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$). Estas relações, no entanto, não apresentavam relevância para a escolha final das variáveis ambientais. Estas ficaram, portanto, assim definidas:

- Obstrução do horizonte local por edificações (% obstruída da área total da abóbada celeste local);
- Área edificada total (% edificada 10.000 m² em torno de cada estação meteorológica);
- Área com vegetação (% com vegetação para 10.000 m² em torno de cada estação meteorológica).

O índice de similaridade foi aplicado aos dados ambientais com o objetivo de agrupar as estações meteorológicas em função da semelhança ambiental. Esta classificação tem por princípio a maximização de semelhanças

intra-classe e de diferenças inter-classes (GERARDI & SILVA, 1981).

4. RESULTADOS

4.1. Variáveis ambientais

4.1.1. Obstrução do horizonte local

A fig. 7 mostra a distribuição da porcentagem de área obstruída por vegetação, edificações e a obstrução máxima.

Os valores de obstrução máxima mais elevados ocorreram em ARQ e SOC. Num segundo nível, situaram-se as estações SEM, COL e SUP, enquanto a estação DIS apresentou os menores valores.

Em COL e SEM, e mesmo em SOC, a vegetação foi a variável mais importante na composição da obstrução máxima, não acontecendo o mesmo em ARQ, onde as edificações constituíam o componente principal (fig. 8 a, b e c).

Os baixos valores de obstrução em DIS apenas confirmaram a correta escolha do local, em termos de redução do horizonte, para instalação de uma estação meteorológica com fins de caracterização macroclimática.

4.1.2. Área com edificações

Índices de área edificada superiores a 20% ocorreram em SOC, ARQ e SEM com 29%, 24% e 22%, respectivamente (fig. 9). ARQ, embora situado no centro comercial da cidade não possuía a maior superfície construída, mas em contrapartida, apresentou prédios mais elevados que os outros dois locais. Enquanto ARQ continha 22% do total edificado com mais de 40 metros de altura, em SOC e em SEM, os prédios sequer ultrapassavam os 20 metros.

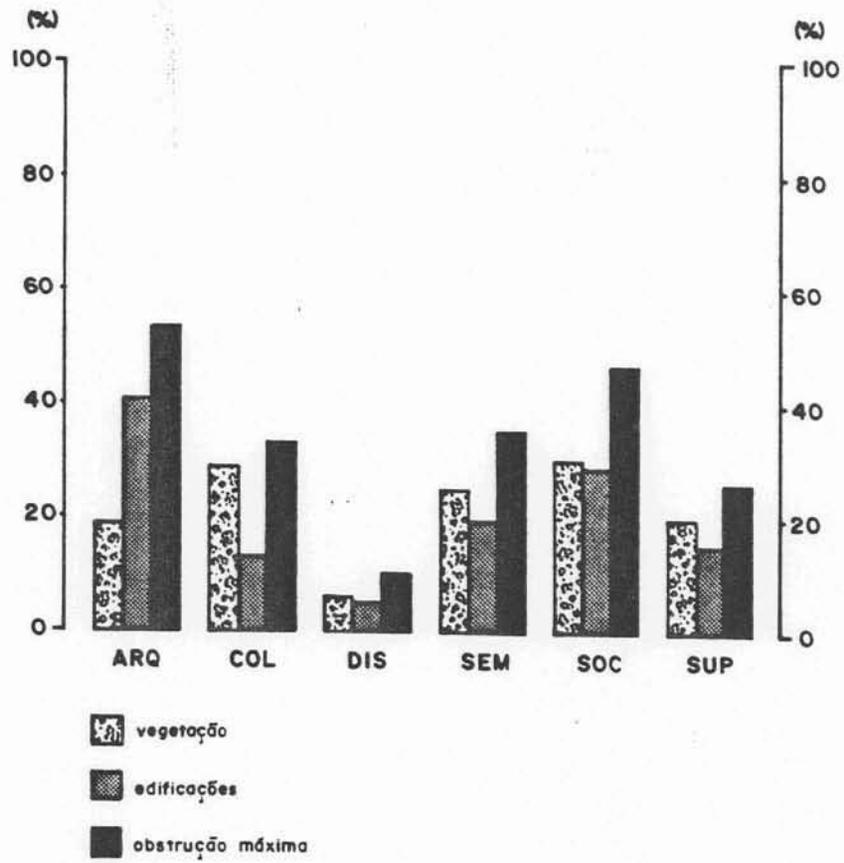


Fig.7 : Superfície da abóbada celeste local, obstruída por vegetação, edificações e valor máximo obstruído.

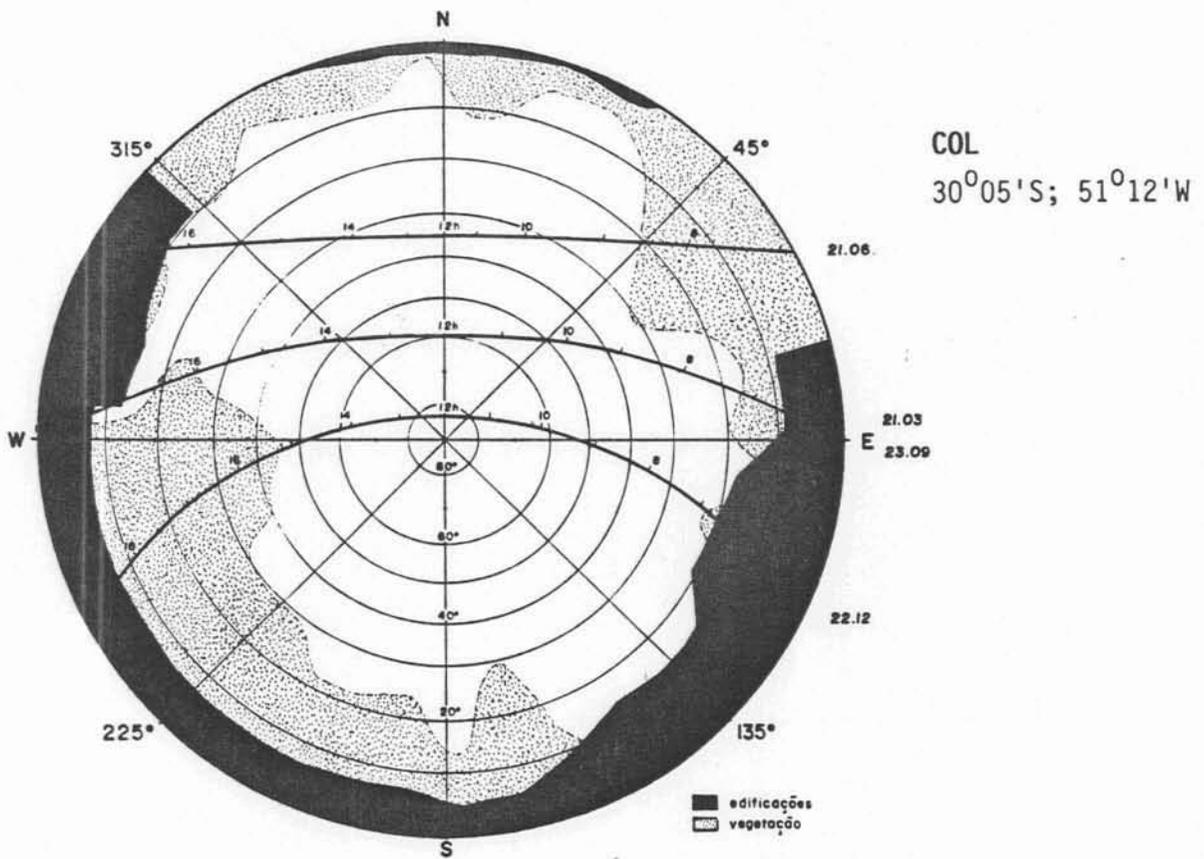
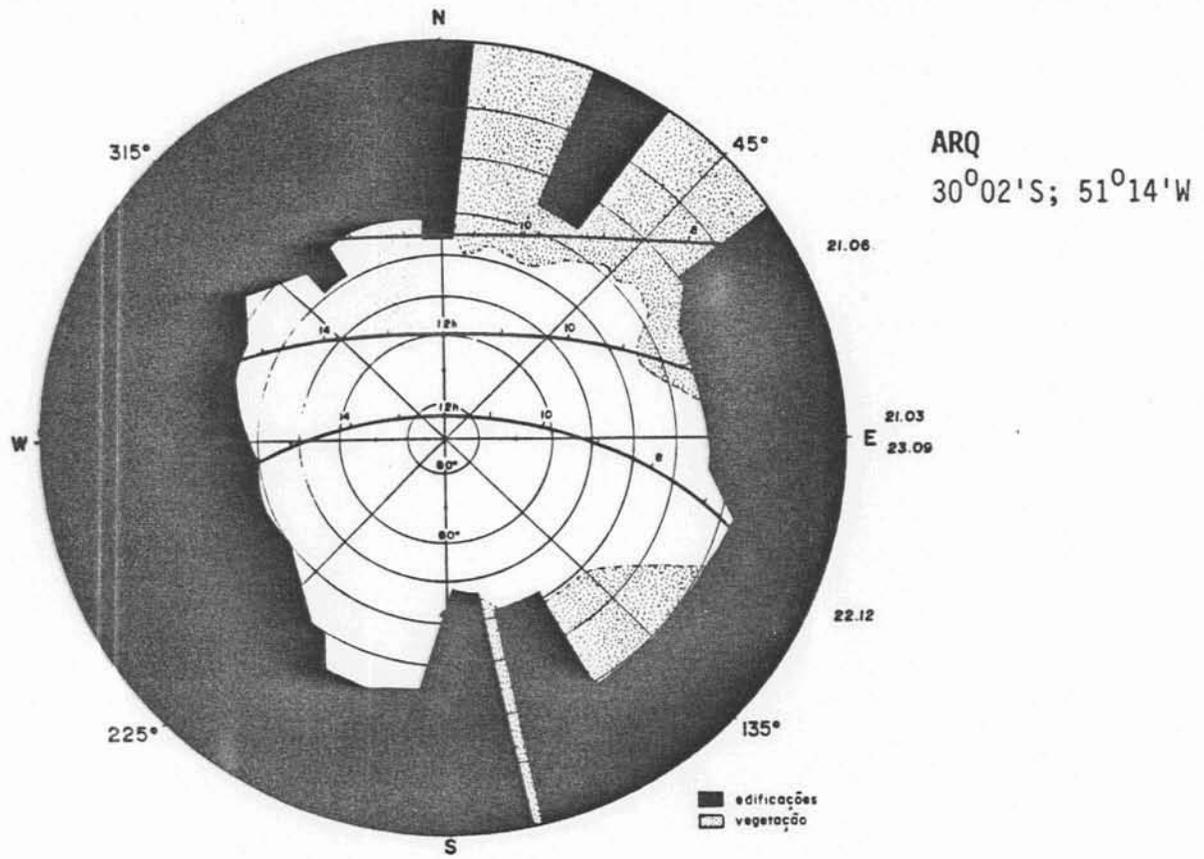


Fig. 8a: Diagrama solar com obstrução do horizonte por edificações e vegetação em ARQ e COL.

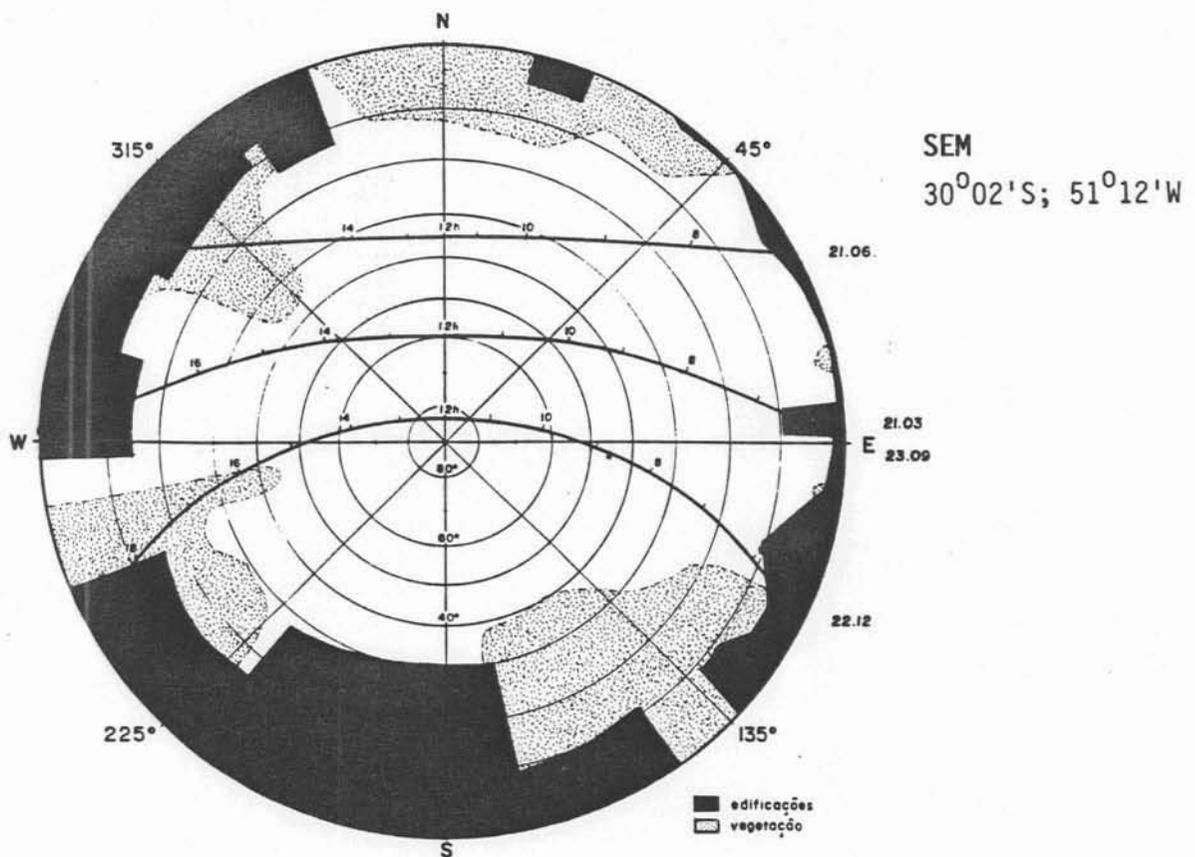
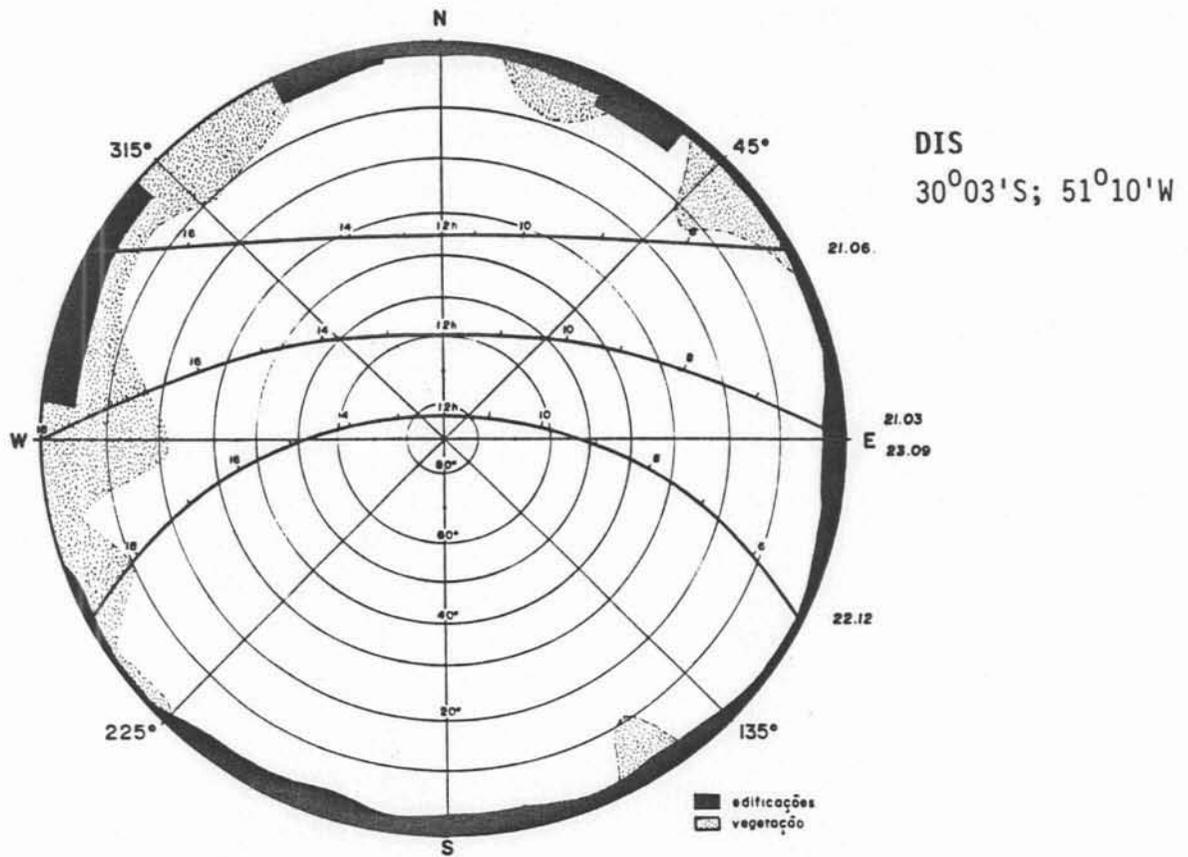


Fig. 8b: Diagrama solar com obstrução do horizonte por edificações e vegetação em DIS e SEM.

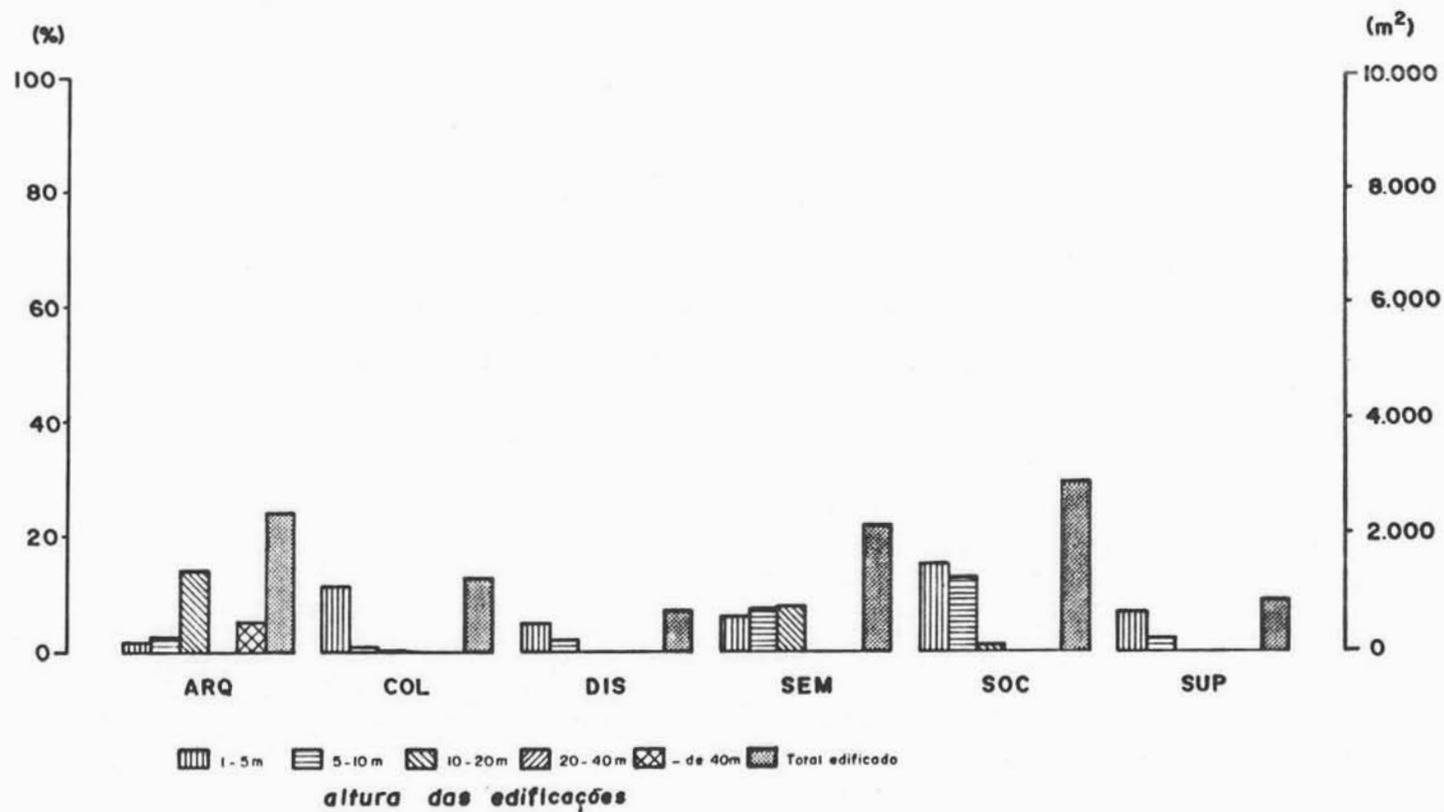


Fig. 9 : Área total edificada e proporção por altura dos prédios para 10.000 m² em torno de cada estação meteorológica (quadrículas de 100 x 100 m).

COL apresentava 13% de área edificada sobre a área total, mas a maior parte dos prédios (90%) tinha até 5m de altura. SUP e DIS tinham taxa inferior a 10% sobre a área total (9 e 7%, respectivamente). Nestes locais, 69% em SUP e 77% em DIS correspondiam a prédios com até 5m de altura. A superfície edificada está uniformemente distribuída em todos os locais, com exceção de DIS e SUP, onde a mesma concentrava-se na porção norte (fig. 10).

4.1.3. Área da cobertura vegetal

Em DIS, a vegetação cobria 80% da área de 10.000 m² em torno da estação, da qual apenas cerca de 9% correspondia à vegetação arbórea (fig.11).

Os totais de vegetação em COL, SUP e SEM eram similares, situando-se entre 55% e 60%, formando um grupo intermediário. Em COL predominou a vegetação arbórea, distribuída no sentido NE-SW, ficando a vegetação herbácea no norte e nordeste da área (fig. 12). Em SUP predominou a vegetação herbácea (70% sobre a vegetação total), no centro e a leste da área com a vegetação arbórea distribuída ao longo do limite sul.

Em SUP, o abrigo meteorológico estava, para condições urbanas, numa situação quase similar a de um Parque, já que as edificações estavam relativamente afastadas, na periferia da área, e a vegetação predominante era herbácea. As árvores, esparsamente distribuídas, favoreceram, portanto, a ventilação do local.

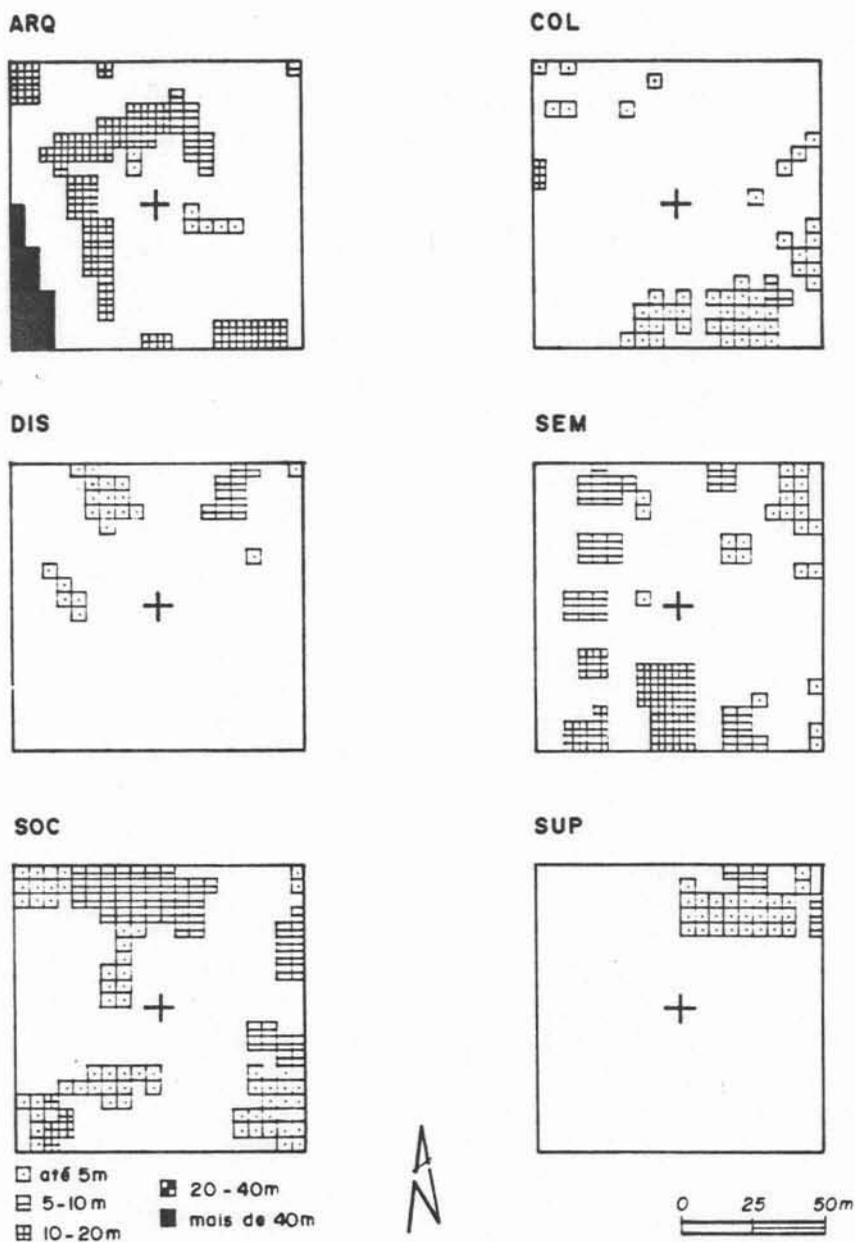


Fig.10: Distribuição espacial das edificações, por intervalo de altura dos prédios, por estação meteorológica.

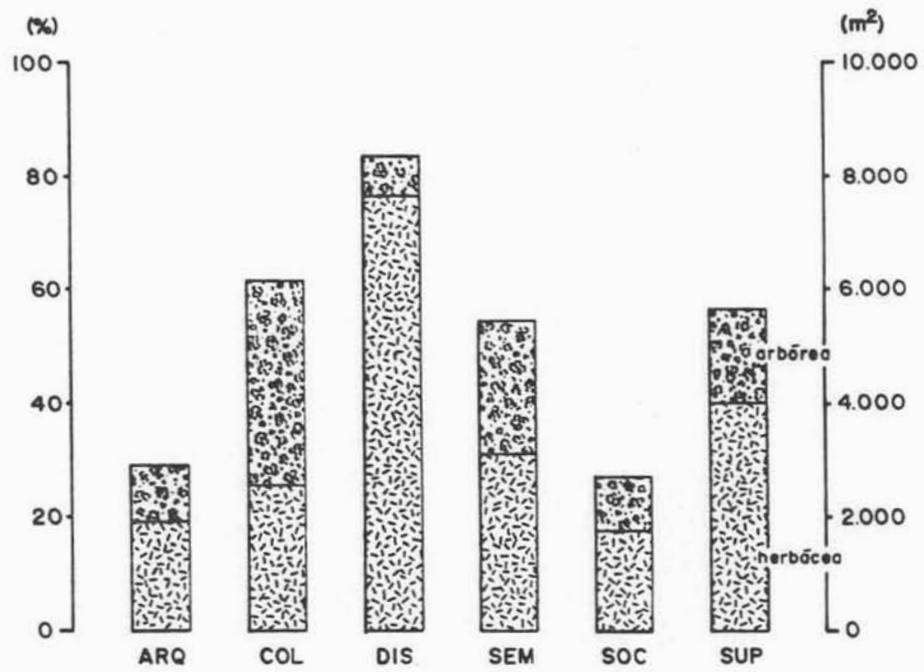


Fig.11: Área total ocupada por vegetação e proporção dos estratos herbáceo e arbóreo em cada estação meteorológica (quadrículas de 100 x 100 m).

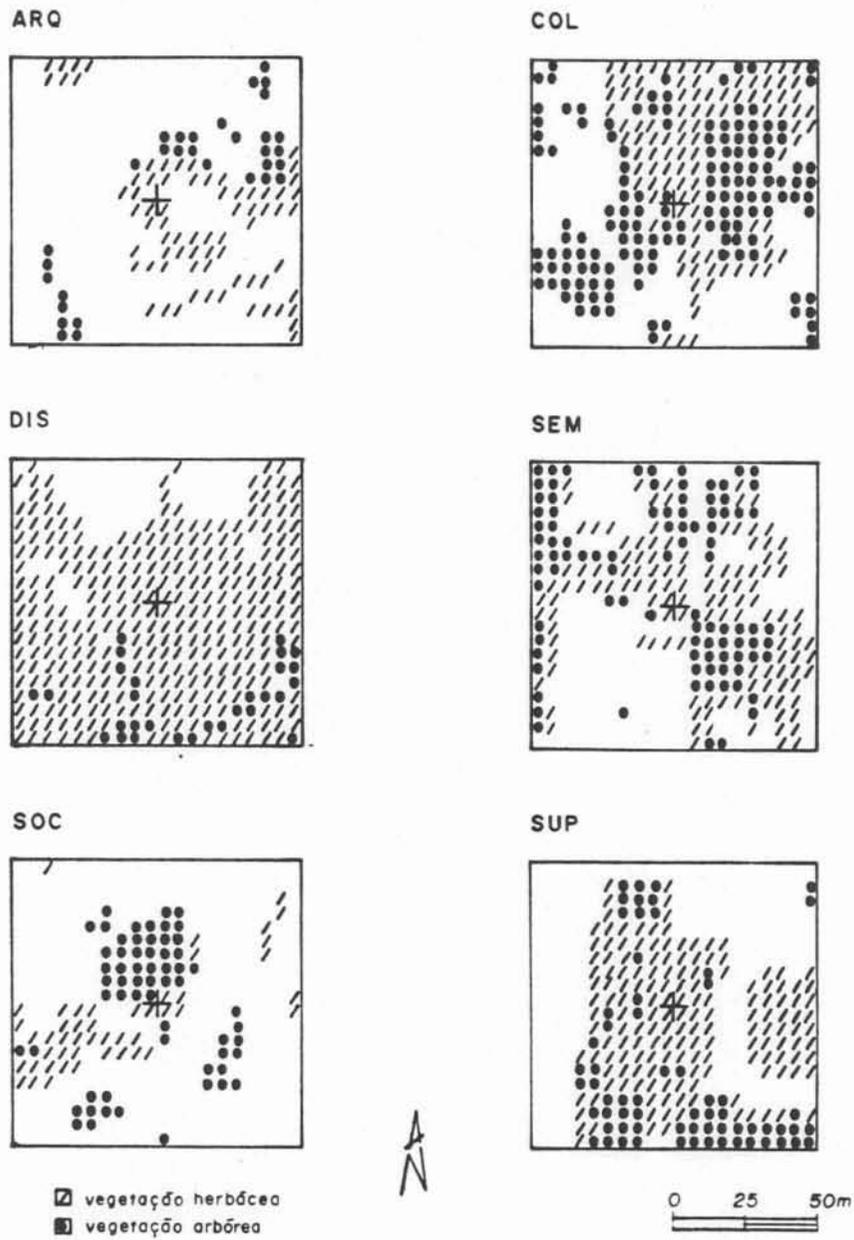


Fig. 12: Distribuição espacial da vegetação herbácea e arbórea, por estação meteorológica.

Em SEM, embora predominasse a vegetação herbácea, a distribuição era bem mais equilibrada (51% herbácea; 43% arbórea). Os locais com menos vegetação foram ARQ e SOC, não atingindo 30% da área total. Em ARQ, predominou a vegetação herbácea, com 65% da vegetação total e 35% da vegetação arbórea, estando ambas mais concentradas na porção leste da área. Em SOC, os valores foram mais equilibrados, 44% vegetação arbórea e 56% vegetação herbácea. Neste local, a vegetação herbácea ocorria na porção SW e a arbórea fortemente concentrada a N-NE, bastante próxima ao abrigo, o que teve influência direta sobre a temperatura observada no local.

4.2. Temperaturas

Dois tipos de informação de temperatura foram aqui analisados:

- Valores médios, anuais e sazonais, das máximas e mínimas diárias no período abril 1985-março 1986;
- Amostras de períodos de 48h para cada estação do ano, cuja condição sinóptica tenha sido de bom tempo com centro de alta pressão sobre Porto Alegre ou proximidades, com pouca nebulosidade e ventos fracos.

4.2.1. Médias das temperaturas máximas e mínimas do período

- Média das temperaturas máximas - Mx

A diferença na amplitude térmica sazonal foi maior na primavera e verão (2,9°C e 2,1°C respectivamente) do que no

outono e inverno ($1,8^{\circ}\text{C}$ e $1,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente), com valor médio, no período, de $2,1^{\circ}\text{C}$ (tab 2).

Os locais com maior amplitude térmica, no período, foram SUP (15°C) e SOC ($14,2^{\circ}\text{C}$) tendo a menor amplitude ocorrido em DIS ($11,8^{\circ}\text{C}$).

Com exceção do outono, onde a Mx mais baixa ocorreu em SUP ($21,0^{\circ}\text{C}$), nas demais estações do ano DIS apresentou os menores valores. Já as temperaturas mais elevadas no outono e verão ocorreram em ARQ ($22,8^{\circ}\text{C}$ e $31,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente), durante o inverno em COL ($21,8^{\circ}\text{C}$) e, na primavera, em SOC $30,3^{\circ}\text{C}$.

- Médias das temperaturas mínimas - Mn

Apesar das diferenças de Mn entre as estações meteorológicas não terem sido tão grandes quanto entre as Mx (tab. 3), elas parecem corresponder melhor às características ambientais de cada local e à circulação atmosférica regional. As maiores diferenças entre os locais ocorreram no outono ($2,7^{\circ}\text{C}$), o inverno e a primavera apresentaram diferenças de $1,7^{\circ}\text{C}$ e o verão $1,4^{\circ}\text{C}$.

A amplitude térmica anual foi de $12,7^{\circ}\text{C}$ em SUP e $10,5^{\circ}\text{C}$ e $10,4^{\circ}\text{C}$ em SOC e em DIS, respectivamente. Os menores valores ocorreram em SEM e em ARQ ($8,5^{\circ}\text{C}$ e $9,7^{\circ}\text{C}$ respectivamente).

Os locais onde ocorreram as Mn mais baixas foram SUP ($12,1^{\circ}\text{C}$), no outono, e DIS, nas demais estações do ano ($12,5^{\circ}\text{C}$, $17,3^{\circ}\text{C}$ e $20,0^{\circ}\text{C}$, respectivamente no inverno,

Tab. 2. Média das temperaturas máximas no período abril/85-mar/86 em Porto Alegre, RS, por estação meteorológica. (Valores em °C)

	OUT	INV	PRI	VER	\bar{X} ANO	Δt (ano)
ARQ	22,8	21,5	29,5	31,1	26,2	13,3
COL	22,6	21,8	29,7	30,7	26,2	12,8
DIS	22,1	20,2	27,4	29,0	24,7	11,8
SEM	22,2	21,1	28,8	30,1	25,6	12,6
SOC	22,4	21,4	30,3	31,0	26,3	14,2
SUP	21,0	20,9	30,0	30,8	25,7	15,0
Δt	1,8	1,6	2,9	2,1	1,6	

Tab. 3. Médias das temperaturas mínimas no período abril/85-mar/86 em Porto Alegre, RS, por estação meteorológica. (Valores em °C)

	OUT	INV	PRI	VER	\bar{X} ANO	Δt (ano)
ARQ	14,8	14,2	18,5	21,3	17,2	9,7
COL	13,0	13,3	18,3	20,2	16,2	10,2
DIS	13,2	12,5	17,3	20,0	15,8	10,4
SEM	13,4	13,3	17,8	20,2	16,2	8,5
SOC	13,4	13,4	18,5	20,8	16,5	10,5
SUP	12,1	12,8	19,0	21,4	16,3	12,7
Δt	2,7	1,7	1,7	1,4	1,4	

primavera e verão). As Mn mais elevadas ocorreram em ARQ (14,8°C no outono e 14,2°C no inverno) e em SUP (19,0°C na primavera e 21,4°C no verão) embora no verão a diferença entre esta e ARQ seja de apenas 0,1°C.

4.2.2. Amostras sazonais

Estas amostras foram constituídas pelos dois dias anticiclônicos escolhidos para análise em cada estação do ano.

- Outono (03-04.05.85)

A maior diferença entre as estações nas temperaturas mínimas (Tn) foi superior em 1,5°C à maior diferença entre as temperaturas máximas (Tx) (3,25°C e 1,75°C, respectivamente, tab.4).

O local mais quente (ARQ 14,3°C) foi o que apresentava maior proporção de área edificada, maior obstrução do horizonte local e vegetação mais escassa. Já o local mais frio, SUP, possuía, em comparação com ARQ, características ambientais praticamente opostas. Além disto, a maior amplitude ocorreu em COL (mais periférico) (14,5°C) seguido de DIS (14,25°C) e SEM (13,75°C). Estes locais apresentavam mais vegetação, menos edificação e menor redução do horizonte local, o que possibilitava maior período de insolação e conseqüentemente, Tx mais elevadas e maior irradiação noturna.

As estações com maior redução do horizonte local e maior proporção de área edificada, se por um lado possuíam

Tab. 4: Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do OUTONO (03-04.05.85), nas diferentes estações meteorológicas. Porto Alegre, RS.

	Tx	Tn	$t\bar{x}$	Δt	hTx	hTn	h > resfr.
ARQ	20,5	9,25	14,3	11,25	14/15	7-8	18-19
COL	21,0	6,5	12,8	14,5	15/16	7	18-19
DIS	21,0	6,75	13,4	14,25	16	7	19-20
SEM	21,25	7,5	13,4	13,75	15	7-8	17-19
SOC	21,0	8,5	13,4	12,5	17	2/5/-7	17-18
SUP	19,5	6,0	11,6	13,5	16	7	18-19
Δt	1,75	3,25	2,7				

Tx temperatura máxima
Tn temperatura mínima
 $t\bar{x}$ temperatura média
 Δt amplitude térmica
hTx hora da temperatura máxima
hTn hora da temperatura mínima
h>resfr. hora de maior resfriamento

menor período de insolação efetiva, armazenavam, em função da geometria e das características do material utilizado nas construções, mais calor. Em consequência, os menores valores de Tx e os maiores valores de Tn ocorreram nas estações onde a área com edificações e a redução do horizonte eram significativas. Isto também explicaria a menor amplitude térmica das Tx ($1,75^{\circ}\text{C}$) em relação às Tn ($3,25^{\circ}\text{C}$).

A hora da máxima em SOC foi mais tardia devido, provavelmente, ao sombreamento provocado por uma palmeira justamente ao norte do abrigo, projetando sombra, ao meio-dia local (hora de maior densidade de fluxo de radiação), diretamente sobre o abrigo.

As Tn mais elevadas ocorreram em ARQ ($9,25^{\circ}\text{C}$) e SOC ($8,5^{\circ}\text{C}$). ARQ e SEM foram os locais onde a Tn ocorreu mais tarde (7-8 h), enquanto nos demais locais ela ocorreu às 7 h. O período de maior queda de temperatura ocorreu, em média, entre 18 e 19 h.

- Inverno (06-07.09.85)

Nesta estação do ano as diferenças térmicas entre os locais foram ainda maiores do que no outono, tanto nas Tn ($4,0^{\circ}\text{C}$) quanto nas Tx ($5,5^{\circ}\text{C}$) (tab.5).

Assim como no outono, locais com mais vegetação em torno e menor ângulo de obstrução do horizonte apresentaram amplitudes térmicas maiores (COL $13,25^{\circ}\text{C}$, SUP $13,0^{\circ}\text{C}$).

A Tx mais antecipada (14 h) em DIS pode ter sido devida à menor redução do horizonte local, produzindo, mesmo nesta

Tab. 5: Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do INVERNO (06-07.09.85), nas diferentes estações meteorológicas. Porto Alegre, RS.

	Tx	Tn	$t\bar{x}$	Δt	hTx	hTn	h > resfr.
ARQ	26,25	13,5	19,3	12,75	15	8	16-18
COL	24,0	10,75	17,4	13,25	16	7	17-18
DIS	20,75	9,5	15,5	11,25	14	6	17-19
SEM	23,0	11,25	16,6	11,75	15	7	18-19
SOC	23,25	10,75	16,9	12,5	16	7	17-19
SUP	23,75	10,75	17,2	13,0	15-16	7	16-17
Δt	5,5	4,0	3,8				

Tx temperatura máxima
Tn temperatura mínima
 $t\bar{x}$ temperatura média
 Δt amplitude térmica
hTx hora da temperatura máxima
hTn hora da temperatura mínima
h>resfr. hora de maior resfriamento

época de menor altura do Sol, pouca sombra sobre o abrigo o que não ocorreu nos demais locais. A T_x relativamente baixa em SOC pode ter sido decorrente da sombra, ao meio-dia local, da palmeira já referida, associada à menor altura solar nesta estação do ano.

As temperaturas baixas em SUP poderiam estar relacionadas à maior ventilação existente no local.

As T_n observada mais cedo ocorreu em DIS (6 h). Em ARQ, além de ter sido a mais elevada ($13,5^{\circ}\text{C}$), apareceu mais tardiamente (8 h).

Em relação ao outono, o maior resfriamento ocorreu mais cedo (17-18 h).

-Primavera (11-12.10.85)

As diferenças verificadas entre as estações tiveram, de modo similar ao constatado com relação às médias sazonais (tab.2), variação menor nas T_n ($2,25^{\circ}\text{C}$) do que nas T_x ($3,75^{\circ}\text{C}$) (tab.6). Nesta época, a altura solar mais elevada acrescenta, proporcionalmente, mais horas de insolação efetiva nos locais com mais edificações, já que a projeção da sombra das edificações começa a diminuir, cobrindo, portanto, menor superfície de terreno. Alturas solares crescentes, proporcionam fluxos de radiação maiores.

Outra razão que pode ter influenciado sobre a menor variação das T_n é a circulação atmosférica nesta época do ano, quando as massas mT oriundas do Anticiclone do Atlântico Sul já começam a exercer influência.

Tab. 6: Características da temperatura para dois dias anticiclônicos da **PRIMAVERA** (11-12.10.85), nas diferentes estações meteorológicas. Porto Alegre, RS.

	Tx	Tn	$t\bar{x}$	Δt	hTx	hTn	h > resfr.
ARQ	27,5	13,75	19,4	13,75	14	6	16-17/18-20
COL	27,0	12,5	19,4	14,5	15	7	18-19
DIS	24,25	11,5	17,8	12,75	13	6	18-19
SEM	26,0	12,75	18,5	13,25	15	5-7	18-19
SOC	28,0	13,0	19,8	15,0	15	6	18-19
SUP	26,5	13,5	19,5	13,0	14	6	18-19
Δt	3,75	2,25	2,0				

Tx temperatura máxima
Tn temperatura mínima
 $t\bar{x}$ temperatura média
 Δt amplitude térmica
hTx hora da temperatura máxima
hTn hora da temperatura mínima
h>resfr. hora de maior resfriamento

As amplitudes térmicas, entretanto, continuaram sendo maiores nos locais com mais vegetação periférica (COL 14,5°C). A amplitude térmica elevada em SOC (15°C) foi acompanhada pela Tx também mais elevada (28°C). Provavelmente, a existência de uma parede branca, ao sul (\pm 3 m) do abrigo meteorológico, poder ter, por reflexão, influenciado sobre as Tx.

As Tn mais elevadas ocorreram em ARQ (13,75°C), SUP (13,5°C) e SOC (13,0°C).

A Tx ocorreu em DIS (13 h) antes do que nos outros locais. Já a Tn teve lugar em todas as estações no mesmo horário.

De forma similar ao outono, na primavera o momento de maior resfriamento foi entre 18 e 19 h.

-Verão (06-07.01.86)

As diferenças entre os locais repetiram o observado para a primavera. A diferença entre as Tn foi de 1,75°C e entre as Tx 3,5°C (tab.7).

A Tx ocorreu em SUP, às 18h, enquanto nas demais estações ocorreu às 16-17 h.

A Tn mais elevada ocorreu em ARQ e SUP, ambas com 18,75°C seguidas por SOC (18,25°C).

As Tx ocorreram entre 16 e 18 h, e as Tn entre 7 e 8 h.

O maior resfriamento ocorreu entre 20 e 21 h tendo sido mais precoce em DIS e mais tardio em ARQ.

Tab. 7: Características da temperatura para dois dias anticiclônicos do VERÃO (06-07.01.86), nas diferentes estações meteorológicas. Porto Alegre, RS.

	Tx	Tn	$t\bar{x}$	Δt	hTx	hTn	h > resfr.
ARQ	33,5	18,75	25,7	14,75	17	8	21-22
COL	32,75	17,0	24,6	15,75	17	8	20-22
DIS	30,5	17,5	23,9	13,0	16	7	19-20
SEM	32,75	17,5	24,5	15,25	16	7	20-21
SOC	34,0	18,25	25,7	15,75	16	7	20-21
SUP	32,5	18,75	25,6	13,75	18	7	20-21
Δt	3,5	1,75	1,8				

Tx temperatura máxima
Tn temperatura mínima
 $t\bar{x}$ temperatura média
 Δt amplitude térmica
hTx hora da temperatura máxima
hTn hora da temperatura mínima
h>resfr. hora de maior resfriamento

5. DISCUSSÃO

Os dois grupos de dados de temperatura utilizados mostraram dependência das variáveis ambientais.

A correlação da média das temperaturas mínimas do período abril 1985 - março 1986 com o ângulo de obstrução do horizonte edificado foi a mais significativa (fig.13).

PARRY (1967) analisou as causas da Ilha de Calor de Reading (53^oN), Inglaterra, baseado na observação da temperatura em 10 estações meteorológicas instaladas ao longo de uma transecção norte-sul envolvendo área urbana e rural. Temperaturas médias, mínimas e máximas de 12 meses (dez 51-nov 52) foram correlacionados com vários elementos do meio urbano: fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), número de residências, total de prédios, porcentagem de área construída e ângulo de obstrução médio. Aquele autor concluiu que para uma cidade de tal tipo, a densidade de área construída teve influência dominante, sendo mais importante que o conteúdo de fumaça no ar ou que o aquecimento artificial dos edifícios. Ele também obteve correlação significativa com a obstrução do horizonte local, embora aquela relativa à área construída tivesse sido melhor. A partir de 16 leituras em torno de cada um dos 10 pontos, calculou o ângulo médio de obstrução, não tendo feito distinção entre obstrução por edificações e por vegetação. Uma melhor correlação talvez fosse obtida se o autor apenas tivesse considerado a obstrução por edificações. A vegetação arbórea exerce um papel físico de obstáculo à condução da energia, tal como as edificações,

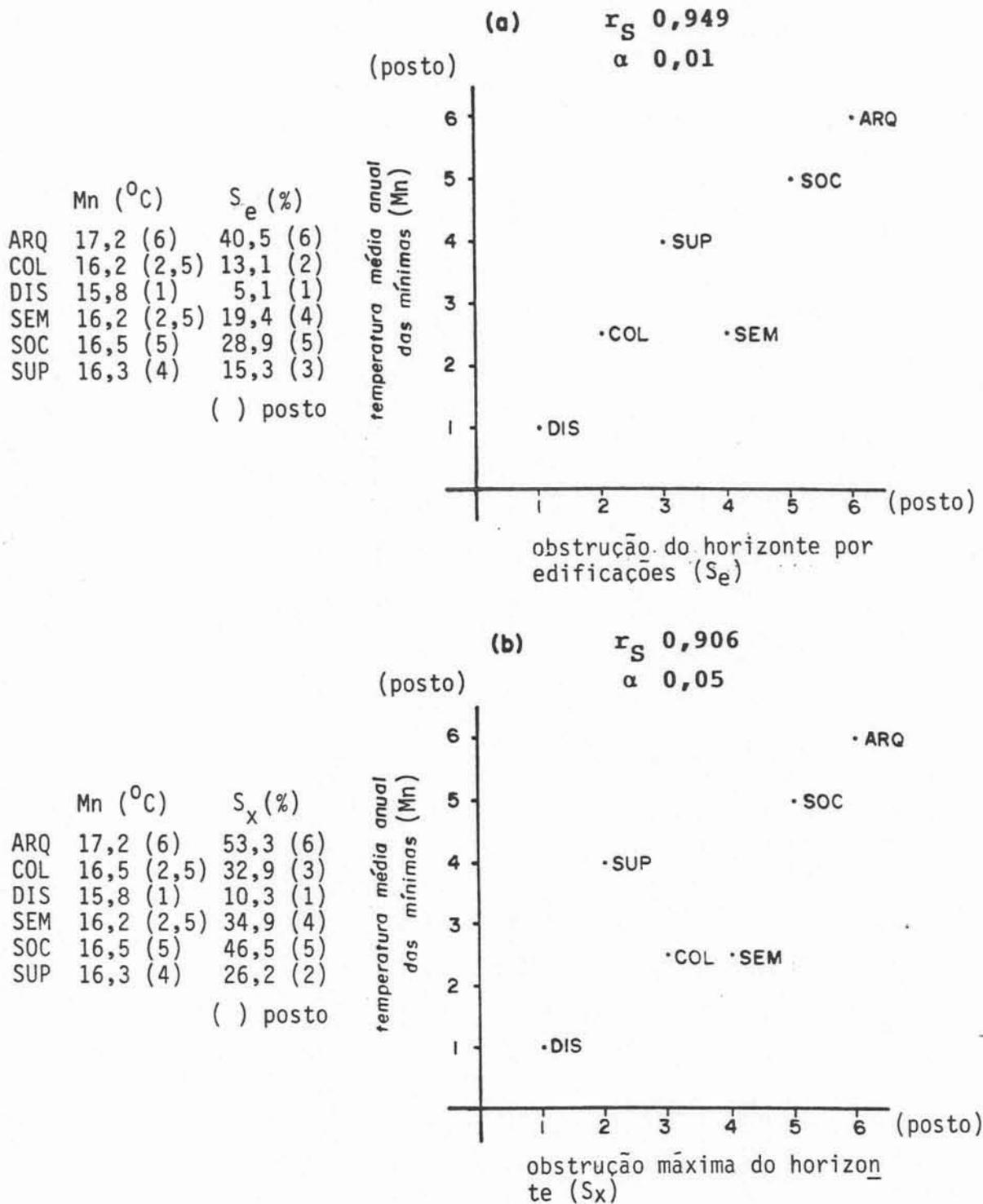


Fig. 13: Correlação por postos de Spearman entre temperatura média das mínimas (abr85 mar86) e obstrução do horizonte:

- a) obstrução por edificações
b) obstrução máxima

embora, como ser vivo, utilize parte desta radiação nos processos de evapotranspiração e não seja tão compacta quanto aquelas.

Em adição ao proposto por FARRY (1967) no presente trabalho foi feita a transformação do ângulo médio de obstrução em superfície da abóbada celeste obstruída (fórmula 3), o que deu uma idéia da redução relativa do horizonte em cada local. NÜBLER (1979), em Freiburg i.Br. (48°N), Alemanha Ocidental, verificou que os locais onde os abrigos se encontravam cercados por prédios altos, mostraram temperaturas superiores às observadas em locais mais abertos. OKE (1981) e BARRING et al. (1986) também relacionaram a redução do horizonte com as temperaturas utilizando-se de máquina fotográfica, com lente "olho-de-peixe", colocada horizontalmente sobre a superfície. OKE (1981) verificou que as diferenças de temperatura urbano-rurais possuem correlação estreita com a porção de céu visível (diferença urbano-rural).

Em trabalho anterior, OKE (1973) havia correlacionado as diferenças de temperatura urbano-rurais com a população das cidades. O autor constatou que a relação entre a diferença urbano-rural e o logaritmo da população urbana apresentava uma tendência distinta entre cidades européias e norte-americanas. Tal fato poderia estar relacionado à diferente estrutura urbana. Cidades européias, mais antigas, não possuem, no centro urbano, edificações tão elevadas quanto as cidades norte-americanas. Isto geraria, para

idades de igual população, uma diferença urbano-rural menor na Europa do que na América do Norte. BARRING et al. (1986) analisaram a relação entre as temperaturas noturnas e a porção de céu visível, em Malmö (56^oN), Suécia. O índice ("sky view factor") utilizado nos dois trabalhos foi proposto por STEYN (1980) e é inversamente proporcional ao utilizado por PARRY (1967) e no presente trabalho, pois representa a porção da abóbada celeste NÃO obstruída.

Como PARRY (1967), os autores citados também não fizeram distinção entre obstrução por vegetação e por edificações. A boa correlação obtida, no entanto, pode ser decorrente do fato de os locais fotografados terem sido ruas onde a vegetação era quase inexistente.

No presente trabalho, a obstrução do horizonte por edificações parece ter representado o controle mais importante das temperaturas. A maior significância da correlação entre a temperatura mínima e o ângulo de obstrução por edificações, em relação à obstrução máxima, sugere que, na elaboração do diagrama, seja observada a distinção de área obstruída por vegetação e por edificações, tendo em vista os estudos de PARRY (1967) e os resultados aqui obtidos.

Analisando a média das temperaturas de 4 dias consecutivos de tempo anticiclônico em cada estação do ano, em Freiburg i.Br., Alemanha Ocidental, NÜBLER (1979) observou que o maior resfriamento ocorria por volta das 19h, no verão, e em torno das 17h, no inverno. Verificou também

que o resfriamento, no centro, foi mais lento do que na periferia. Neste sentido, ao analisarem a Ilha de Calor em Montreal (45°N), Canadá, OKE & EAST (1971) verificaram que o resfriamento teve início mais tardiamente no centro do que na periferia. MIESS (1972) afirmou que a maior altura dos prédios seria a causa de um resfriamento mais lento nos centros urbano do que em locais periféricos à cidade.

A situação, em Porto Alegre, apresentou semelhanças com aquela observada pelos autores citados. O período de resfriamento mais rápido ocorreu às 18 h no inverno, às 21 h no verão e às 19 h no outono e na primavera (tab. 4 a 7). Constatou-se, no entanto, que o resfriamento em Porto Alegre foi mais tardio do que em Freiburg. Isto poderia estar relacionado à maior altura angular do Sol em Porto Alegre ($36,5^{\circ}$ no solstício de inverno; $83,5^{\circ}$ no solstício de verão) do que em Freiburg ($18,5^{\circ}$ no solstício de inverno; $65,5^{\circ}$ no solstício de verão). Esta maior altura solar, além de permitir insolação mais intensa, produziria dias mais longos no inverno, retardando, portanto, o resfriamento.

Devido à maior obstrução do horizonte, ARQ apresentou, nas amostras sazonais com tempo anticiclônico, T_n mais tardia e T_x mais precoce, especialmente no outono e inverno. O momento de maior resfriamento foi aproximadamente simultâneo em todas as estações meteorológicas. Em ARQ, no entanto, a insolação direta sobre o abrigo cessou antes do que nos demais locais. Disto se concluiria que a inércia do resfriamento seria maior nos locais mais centrais, mais

obstruídos, com maior superfície edificada e menos vegetação.

A obstrução do horizonte parece explicar não só as diferenças de temperatura entre os locais, como também o retardamento das T_n e o adiantamento das T_x , assim como os momentos de maior resfriamento. Parece assim, tratar-se de uma variável mais representativa do que a cobertura vegetal e a área edificada.

A área utilizada para caracterizar a cobertura do solo em torno de estações meteorológicas para fins de correlação com a temperatura observada não é consenso entre os pesquisadores. PARRY (1967) em Reading, Inglaterra, considerou uma área circular de ~400 m de raio ($1/4$ de milha ou aproximadamente 508.326 m^2) em torno de cada estação, tendo obtido boa correlação com a média das temperaturas mínimas. WEISCHET (1982) utilizou o termo "Baukörperstrukturtypen" para definir uma área homogênea em termos de disposição, distribuição e altura dos prédios (conjunto habitacional, casas unifamiliares com jardim, centro comercial, etc.) cujas propriedades térmicas seriam uniformes dentro do mesmo tipo de "Baukörperstruktur". LOMBARDO (1985) utilizou áreas quadradas de 1 km^2 para caracterizar a cobertura do solo em São Paulo (23°S), Brasil. Este tamanho de área correspondeu à resolução da imagem dos satélites da série NOAA, utilizadas para obtenção das temperaturas. A correlação entre as temperaturas e a cobertura do solo foi bastante boa tendo servido para

calibração do algoritmo desenvolvido pela autora para avaliar a distribuição da temperatura naquela metrópole.

No presente trabalho, a elaboração de um mapa de cobertura vegetal e outro da superfície edificada procurou isolar estas duas variáveis, normalmente utilizadas em conjunto com outros elementos para caracterizar a cobertura do solo. Os valores de cada mapa correlacionados com a média das temperaturas mínimas do período abril 1985 - março 1986 (Mn), mostraram significância apenas com a superfície edificada em 40.000 m^2 (tab.1). Isto poderia indicar ser a área de 10.000 m^2 (contida na de 40.000 m^2) pouco representativa. As correlações entre a cobertura vegetal, a área edificada e o ângulo de obstrução máxima e por edificações em 10.000 m^2 , parecem demonstrar porém que estes parâmetros são complementares entre si na caracterização do local. Segundo HANWELL & NEWSON (1973) a área de influência sobre a temperatura observada em abrigos meteorológicos localizados em áreas mais abertas ou mais restritas pode ser diferente de local para local.

Segundo BOHM (1979), as árvores e os arbustos são os responsáveis pelas temperaturas mais amenas em locais com menor área edificada, além da renovação do ar que os parques arborizados geram. As temperaturas mais baixas observadas por HASENACK & BECKE (1986) no Parque Farroupilha em relação ao centro de Porto Alegre confirmam a observação de BOHM (1979).

A boa correlação entre a temperatura e o uso do solo descrita na literatura parece decorrer principalmente da superfície edificada, a qual, no presente trabalho, mostrou boa correlação com a Mn. O mesmo, porém, não ocorreu com a vegetação. A não correlação entre a cobertura vegetal e as Mn possivelmente tenha sido consequência da maior participação da vegetação herbácea na vegetação total do que a vegetação arbórea. A não uniformidade dos diferentes autores na caracterização do solo urbano, no entanto, gera dúvidas quanto à representatividade desta variável. Talvez, no caso de estações fixas, devesse estar acompanhada do ângulo de obstrução em cada local, o que daria uma idéia da área de influência sobre o abrigo. O presente caso parece demonstrar que, em termos de caracterização do ambiente onde as estações estiveram instaladas, as três variáveis foram úteis.

A similaridade obtida entre as variáveis ambientais (fig.14) permitiu um agrupamento das estações que correspondeu, aproximadamente às temperaturas observadas.

A amplitude térmica diária nos locais foi maior na periferia da cidade do que no centro. NÜBLER (1979) também constatou esta diferença em Freiburg. A maior obstrução do horizonte e o armazenamento de maior volume de energia pela massa construída reduziriam a velocidade de irradiação, o que se refletiria especialmente no período noturno, determinando temperaturas mínimas mais elevadas.

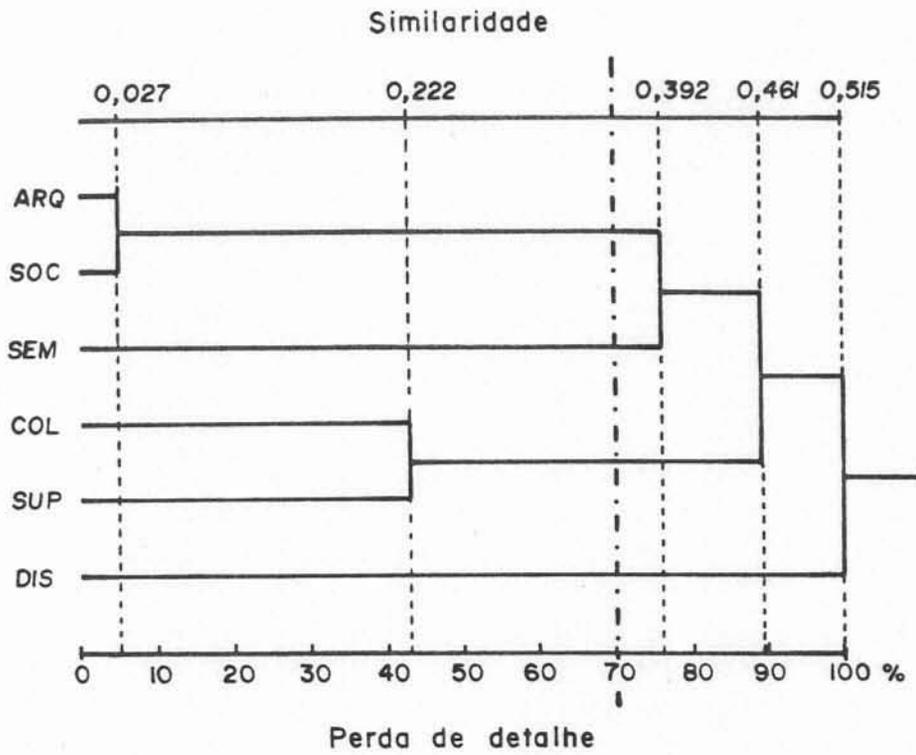


Fig. 14: Dendrograma multidimensional de similaridade a partir dos dados de redução do horizonte local, cobertura vegetal e área edificada das diferentes estações meteorológicas.

UNWIN (1980) ao associar diferenças urbano-rurais de temperatura com tipos de tempo em Birmingham (52°N), Inglaterra, verificou que o maior desenvolvimento da Ilha de Calor ocorria sob tempo anticiclônico. Como estes dias são mais típicos, em Porto Alegre, no outono-inverno, a menor amplitude térmica nos locais mais obstruídos (ARQ e SOC) também foi mais característica nesta época do ano.

As diferenças de temperatura entre os locais, observadas sob tempo anticiclônico, foram maiores do que as diferenças entre as médias das temperaturas anuais, confirmando a observação de UNWIN (1980). Isto parece demonstrar ter sido acertada a escolha de dias com tal característica para estudo mais detalhado.

As diferenças de temperatura entre os locais, por ocasião da temperatura máxima, foram superiores às diferenças observadas entre as mínimas na primavera e no verão. No outono e no inverno, a situação se inverteu e as diferenças observadas foram maiores por ocasião das temperaturas mínimas. Isto foi verificado tanto considerando as temperaturas médias do período como as temperaturas dos dias anticiclônicos. Nos últimos dados inclusive as diferenças entre outono-inverno e primavera-verão foram mais acentuadas. Esta inversão de diferenças nas temperaturas máximas e nas temperaturas mínimas entre as estações mais frias e mais quentes pode ter decorrido de influências distintas da massa tropical marítima (mT), na primavera-verão, e da massa polar marítima (mP), no outono-inverno,

sobre o clima urbano de Porto Alegre. Por estar mais aquecida, a mT possui também uma maior capacidade higrométrica, o que pode ter influenciado nas diferenças sazonais do comportamento da temperatura.

Sugere-se, assim, que estudos sobre o clima urbano de Porto Alegre, levem em consideração pelo menos dois momentos no ano: a situação de primavera-verão e a de outono-inverno.

A variedade de ambientes existentes em uma cidade, torna complexa a escolha do local adequado para instalação de um abrigo meteorológico para observação da temperatura. A maior rugosidade da superfície urbana aumenta a influência da componente vertical sobre a temperatura observada no abrigo. Neste sentido é que a obstrução do horizonte mostrou-se como parâmetro mais adequado do que a cobertura vegetal ou a superfície com edificações. Baseado em um valor angular, representa tanto a componente horizontal como a vertical da cobertura do solo urbano, explicando não só as temperaturas mas também os momentos de maior resfriamento em cada local.

De outro lado, o fato de haver diferenças sazonais entre os locais mostra que, embora a cobertura do solo seja um controle importante das temperaturas, sua influência é distinta sob distintas condições de tempo. LANDSBERG (1980) já afirmava, neste sentido, que cada localidade é governada pelos padrões meteorológicos de grande escala, sendo que cada ambiente modifica, em maior ou menor grau, as condições locais da fina camada de ar acima do solo.

É, portanto, fundamental que a noção de escala seja considerada pois, como afirmou LANDSBERG (1981) a interação entre a escala sinóptica e a local oscila continuamente.

6. CONCLUSÃO

- A obstrução do horizonte por edificações parece ter sido a variável ambiental que maior influência teve sobre as temperaturas mínimas nos locais de instalação das estações meteorológicas;
- A obstrução do horizonte, associada à altura angular do Sol, também parece ter sido responsável pelo resfriamento mais lento e mais tardio nos locais onde o horizonte era mais reduzido;
- Na determinação de locais para observação da temperatura do ar no meio urbano a elaboração de diagramas solares com obstrução do horizonte é um instrumento muito útil por sua simplicidade e por fornecer informações diretas sobre as componentes horizontal e vertical do ambiente;
- A combinação das três variáveis ambientais através do índice de similaridade separou as estações em 4 grupos. Estes corresponderam, aproximadamente, às temperaturas observadas nos mesmos locais, mostrando que as variáveis ambientais são, na verdade, complementares entre si na caracterização das estações meteorológicas;

- Das variáveis que representaram a cobertura do solo, a superfície com edificações mostrou melhor correlação com as temperaturas do que a área com cobertura vegetal, indicando que, no presente trabalho, a vegetação representou uma variável ambiental menos expressiva na caracterização local;
- As diferenças no comportamento das temperaturas no outono-inverno e na primavera-verão podem estar associadas à alternância da ação das massas mP e mT ao longo do ano. Sugere-se que em estudos futuros pelo menos estes dois momentos do ano sejam considerados separadamente.
- Os estudos em climatologia urbana devem dar ênfase maior às relações dos elementos meteorológicos com o substrato, mas sem desconsiderar a influência da circulação atmosférica regional sobre o clima das cidades.

7. LITERATURA CITADA

- AB'SABER, A.N. 1965. O sítio urbano de Porto Alegre: Estudo geográfico. *Bol. Paulista de Geografia*, 42:3-30. (AGB-São Paulo)
- BÄRRING, L.; MATTSSON, J.O.; LINDQVIST, S. 1985. Canyon Geometry, Street Temperatures and Urban Heat Island in Malmö, Sweden. *Journal of Climatology*, 5:433-444.
- BOHM, R. 1979. Meteorologie und Stadtplanung in Wien - ein Überblick. *Wetter und Leben*, 31(2):1-11. (Zeitschrift für Angewandte Meteorologie)
- BOYDEN, S. & CELECIA, J. 1981. A ecologia das megalópoles. *O Correio da UNESCO*, 9(6):24-27.
- CHANDLER, T.J. 1976. *Urban Climatology and its Relevance to Urban Design*. Geneva, WMO. 61 p. (Tech. Note 149)
- CHATTERJEE, S.B. 1964. The Microclimates of Calcutta. In: HAMILTON, I. (ed.) 1964. *Abstract of Papers: 20th International Geographical Congress*. London, Nelson. p.59-60.
- CONTI, J.B. 1979. Crescimento urbano e mudanças climáticas: O Estado de São Paulo. *O Estado de São Paulo*, 3(149):3. Suplemento Cultural.
- COPSTEIN, G. 1987. O estudo geográfico de uma cidade. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 15:33-38.
- DANNI, I.M. 1980. A ilha térmica de Porto Alegre. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 8:33-48.

- DANNI, I.M. 1987. Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982: Contribuição ao estudo do clima urbano. São Paulo. 2.v. Dissertação (Mestrado) USP/FFLCH.
- DAVIS, K. 1976. Introducción. In.: SCIENTIFIC AMERICAN. 1976. La ciudad: su origen, crecimiento e impacto en el hombre. Madrid, H.Blume. p.xii-xix.
- DJEN, C.S. 1986. Some Aspects of the Urban Climate of Shanghai. In.: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WORLD CLIMATE PROGRAMME. 1986 Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas. Geneva, WMO. p. 87-109. (Tech. Note 652)
- ERIKSEN, W. 1964. Beiträge zum Stadtklima von Kiel. Kiel, Geogr.Inst.Univ. Kiel. 218p.
- GALLEGO, L.P. 1972. Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio de climatologia urbana. São Paulo. 104 p. Tese (Doutorado) USP-FFLCH.
- GERARDI, L.H.O. & SILVA, B.-C.N. SILVA. 1981. Quantificação em Geografia. São Paulo, DIFEL. 161p.
- GIACOMINI, V. 1981. Por um urbanismo humano. O Correio da UNESCO 9(6):23.
- HANWELL, J. & NEWSON, M. 1973. Techniques in Physical Geography. Basingstoke, McMillan. 230 p.

- HASENACK, H. 1988. Geographical Information System Applications to Urban Environmental Studies: A Case Study of Porto Alegre, Brazil. Geneva, UNEP/GRID. 37p. (Final Report UNEP/UNITAR Training Programme in GIS Technology Applications in the Field of Environment).
- HASENACK, H. 1989a. Correlação entre temperaturas mínimas diárias e ângulo de obstrução do céu na área urbana de Porto Alegre, RS, Brasil. Presentación de Trabajo en el 2. Encuentro de Geógrafos de América Latina. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 27-31.03.89.
- HASENACK, H. 1989b. A GIS oriented Database for the Urban Environment of Porto Alegre, Brazil. Poster presentation at the International Symposium on the State-of-the-Art of Remote Sensing Technologies for Biosphere Studies. Centre for International Projects, Moscow, USSR. 18-22.09.89.
- HASENACK, H. & BECKE, V.L. 1986. Comparação entre dois métodos de medida móvel de temperatura em ambiente urbano. *Geografia*, 11(22):137-141.
- HASENACK, H.; SCHMIDT, J.; BECKE, V.L. 1982. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS. In.: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 5., Porto Alegre, 1982. Anais... Porto Alegre, Associação dos Geógrafos Brasileiros. v.1, p.438.
- HAUSMAN, A. 1961. Aspectos da geografia urbana de Porto Alegre. *Boletim Geográfico do Estado do RS*, 12:39-55.

- HOFFMANN, G.; MALKOWSKI, G.; HEUSELER, H. 1965. Versuchsflug mit einem Hubschrauber über West-Berlin zur Erprobung einer elektrischen Temperaturmeseinrichtung für die Untersuchung des sogenannten Stadteinflusses auf die Temperaturverteilung in der Höhe. Berliner Wetterkarte. (129):1-4. Beilage.
- JAUREGUI, E. 1973. The urban climate of Mexico City. Erdkunde, 27:298-307.
- JAUREGUI, E. 1986. Tropical Urban Climates: Review and Assessment. In.: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WORLD CLIMATE PROGRAMME. 1986. Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas. Geneva, WMO. p. 26-45. (Tech. Note 652)
- KIRSCH, H.; MAURER, R.; SCHMIDT-KOEHL, W.; SCHULZ, K.; VOLZING, Ø. 1980a. Fachbegriffe der Geographie A-K. Frankfurt a.M. Diesterweg/Sauerlander. v.1.
- KIRSCH, H.; MAURER, R.; SCHMIDT-KOEHL, W.; SCHULZ, K.; VOLZING, Ø. 1980b. Fachbegriffe der Geographie L-Z. Frankfurt a.M. Diesterweg/Sauerlander. v.2.
- KNEESE, A.V. 1973. Introduction. In.: FRISKEN, W.R. 1973. The Atmospheric Environment. Baltimore, John Hopkins University Press. p.1-5.
- KRATZER, A. 1956. Das Stadtklima. 2.ed. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn. 184p.
- LANDSBERG, H.E. 1981. Urban Climates. New York, Academic Press. 275 p.

- LINKE, F. 1940. Das Klima der Groszstadt. In.: LINKE, F. & DE RUDDER, B. (ed.) 1940. *Biologie der Groszstadt*. Dresden, Theodor Steinkopff. p.75-90.
- LIVI, F.P. 1983. Análise comparativa da temperatura e umidade relativa do ar na área urbana e rural de Porto Alegre. Porto Alegre. 87p. Dissertação (Bacharelado) UFRGS-Depto. Geografia.
- LOMBARDO, M.A. 1985. A ilha de calor nas metrópoles. São Paulo, HUCITEC. 244p.
- LOMBARDO, M.A.; CÂMARA, G.; PEREIRA, E.; TARIFA, J.R. 1983. Use of Infrared Images in the delimitation of São Paulo's Heat Island. Paper presented at the 7th Symposium on Remote Sensing and Environment. Ann Arbor, Michigan. 8p.
- LOWRY, W.P. 1976. El clima de las ciudades. In: SCIENTIFIC AMERICAN. 1976. La ciudad: Su origen, crecimiento e impacto en el hombre. Madrid, H.Blume. p. 160-169.
- MACHADO, F.P. 1950. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, IBGE. 91 p.
- MARCUS, M.G. & DETWYLER, T.R. 1972. Urbanization and Environment in Perspective. In.: DETWYLER, T.R. & MARCUS, M.G. 1972. *Urbanization and Environment*. Belmont, Duxbury. p. 2-25.
- METROPLAN/FEE. 1988. Região Metropolitana de Porto Alegre: informações e análise. Porto Alegre, Fundação de Economia e Estatística Sigfrid Emmanuel Heuser. 273 p.

- MONTEIRO, C.A.F. 1976. Teoria e Clima Urbano. São Paulo, USP-Instituto de Geografia, 181 p. (Série Teses e Monografias, 25)
- MONTEIRO, C.A.F. 1980. Environmental Problems in São Paulo Metropolitan Area: the Role of Urban Climate with Special Focus on Flooding. 24th International Geographical Congress. Tokyo.
- MONTEIRO, C.A.F. 1986. Some Aspects of the Urban Climates of Tropical South-America: The Brazilian Contribution. In.: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WORLD CLIMATE PROGRAMME. 1986. Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas. Geneva, WMO. p. 166-198. (Tech. Note 652)
- MONTEIRO, C.A.F. & TARIFA, J.R. 1977. Contribuição ao estudo do clima de Marabá. *Climatologia*, 7:1-51.
- MOORE, W.G. 1967. A Dictionary of Geography. London, Adam & Charles Black. 256 p.
- MÜLLER, F. 1980. Biogeographie. Stuttgart, Ulmer. 414p.
- NÜBLER, W. 1979. Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg. Freiburg i.Br., Geogr. Inst. I Univ. Freiburg. 113 p.
- ODUM, E. 1985. Ecologia. Rio de Janeiro, Interamericana. 434 p.
- OKE, T.R. 1973. City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, 7:769-79.
- OKE, T.R. 1974. Review of Urban Climatology 1968-73. Geneva, WMO. 132 p. (Tech. Note 134)

- OKE, T.R. 1978. *Boundary Layer Climates*. London, Methuen. 372 p.
- OKE, T.R. 1979. *Review of Urban Climatology 1973-76*. Geneva, WMO. 100 p. (Tech. Note 169)
- OKE, T.R. 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Journal of Climatology*, 1:237-254.
- OKE, T.R. (org.) 1982. *Bibliography of Urban Climate 1977-1980*. Geneva, WMO-World Climate Programme. 39 p. (Report WCF-45)
- OKE, T.R. 1984. *Methods in Urban Climatology*. Paper presented at the IGU Symposium on Applied Geography. Zürich, 21.08.84. 11 p.
- OKE, T.R. 1987. *Urban Boundary Layer - Observational Studies*. Trabalho apresentado no 1. Simpósio sobre urbanização e qualidade ambiental - efeitos adversos no clima. CETESB, São Paulo, SP. 07-11.12.87.
- OKE, T.R. & EAST, C. 1971. The Urban Boundary Layer in Montreal. *Boundary Layer Meteorol.*, 1:411-437.
- PADMANABHAMURTY, B. 1986. Some Aspects of the Urban Climates of India. In.: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WORLD CLIMATE PROGRAMME. 1986. *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas*. Geneva, WMO. p. 136-165. (Tech. Note 652)
- PARRY, M. 1967. The Urban "Heat-Island". *Biometeorology*, 2:616-624.

- PEPFLER, A. 1929. Das Auto als Hilfsmittel der meteorologischen Forschung. *Z.f. angew Met.*, 46:305-308.
- ROCHA, G.L. s.d. Introdução ao estudo climático. Porto Alegre. 27p. Datilografado.
- ROCHA, G.L. 1977. O clima do Parque Delta do Jacuí. Porto Alegre. (Relatório apresentado à Secretaria Municipal de Planejamento de Porto Alegre)
- SAMPAIO, A.H.L. 1981. Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador. São Paulo, 103 p. Dissertação (Mestrado) USP-FFLCH.
- SARTORI, M.G.B. 1979. O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano. Dissertação (Mestrado) USP/FFLCH. 162p.
- SCHÄFER, A.E. 1985. Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais. Porto Alegre, EDUFRGS/GTZ. 532 p.
- SCHMIDT, W. 1927. Die Verteilung der Minimumtemperaturen in der Frostnacht des 12.05.1927 im Gemeindegebiet von Wien. *Fortschr. d. Landwirtschaft.*, 21(2):681-686.
- SETZER, A.; CAVALCANTI, I.F.A.; MARCELINO, B.C. 1979. Influência meteorológica da poluição atmosférica em São Paulo. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais. Relatório Técnico.
- SIEGEL, S. 1975. Estatística não-paramétrica. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 350 p.

- SNEDECOR, G.W. 1948. Métodos de estadística; su aplicación a experimentos en agricultura e biología. Buenos Aires, Acme. 558p.
- STEYN, D.G. 1980. The calculation of view factors from fish-eye lens photographs. *Atmosphere-Ocean*, 18:254.
- STRAHLER, A.N. 1977. *Geografía Física*. 2.ed. Barcelona, Omega. 767p.
- TANSLEY, A.G. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Their Terms. *Ecology*, 16:284-307.
- TARIFA, J.R. 1977. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos, SP. *Geografia*, 2:59-80.
- TITARELLI, A.H.V. 1982. Air Pollution Episodes in São Paulo's Metropolitan Area. Paper presented at the 24th International Geographical Congress.
- TREWARTHA, G.T. & HORN, L.H. 1980. *An Introduction to Climate*. 5.ed. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha. 416p.
- UNEP. 1987. *UNEP Profile*. Nairobi, UNEP. 36p.
- UNWIN, D.J. 1980. The synoptic climatology of Birmingham's urban heat island, 1964-1974. *Weather*, 35:43-50.
- WEISCHET, W. 1982. Thermalluftbilder für die Stadt- und Landesplanung. *Beiträge*, 62:23-38. (Akademie für Raumforschung und Landesplanung)
- WHITE JR., L. 1967. The Historical Roots of Our Ecological Crisis. *Science*, 155:1203-1207.
- WMO. 1970. *Urban Climates*. Geneva, WMO. 390p. (Tech. Note 108)

WMO. 1986. Urban Climatology and its Applications with
Special Regard to Tropical Areas. Geneva, WMO. 534p.
(Tech. Note 652)

YOSHINO, M.M. 1975. Climate in a Small Area. Tokyo,
University of Tokyo Press. 549p.

ANEXOS

- I Glossário
- II Cartas sinópticas das amostras sazonais
- III Valores da obstrução do horizonte
- IV Área com edificações
- V Área da cobertura vegetal

Anexo I: Glossário

Albedo - é a proporção da radiação refletida por um corpo sobre o total de radiação incidente (OKE, 1978). Geralmente corresponde aos comprimentos de onda curtos mas também é largamente utilizado como a proporção refletida independente do comprimento de onda.

Anticiclone - uma região na qual a pressão atmosférica é alta em comparação às áreas adjacentes. No hemisfério norte a circulação do vento, divergente, dá-se no sentido horário e no hemisfério sul no sentido anti-horário em torno dos anticiclones (MOORE, 1967).

Anticiclone subtropical do Atlântico sul - Centro de alta pressão semi-permanente, localizado aproximadamente entre as latitudes 28°S e 35°S . No verão, quando a declinação solar é negativa, desloca-se para sul e no inverno, quando a declinação é positiva, seu deslocamento dá-se para norte. Também denominado Anticiclone de Santa Helena.

Azimute - é a direção da projeção horizontal do Sol, relativa à direção de referência (normalmente o Norte verdadeiro), expressa em graus, e no sentido horário (OKE, 1978).

"Bom tempo" - termo popular utilizado, geralmente, para designar tipos de tempo com céu claro ou parcialmente nublado e precipitação ausente.

Brisa rural - deslocamento muito lento de ar desde áreas rurais até áreas urbanas adjacentes, gerado pela diferença de aquecimento nas respectivas superfícies subjacentes. É um fenômeno típico de noites com céu claro, sem nebulosidade e sem vento, embora possa também ocorrer, com menor intensidade, durante o dia.

Calor específico - quantidade de calor absorvido (ou liberado) pela unidade de massa de um sistema para um determinado aumento (ou diminuição) da temperatura em 1°C , na unidade de tempo ($\text{cal/g}^{\circ}\text{C}/\text{min}$) (OKE, 1978).

Calor latente - Calor liberado ou absorvido por uma unidade de massa em um sistema em fase de mudança de estado físico (OKE, 1978).

Calor sensível - é energia calorífica que pode ser detectada (por um termômetro p. ex.). É utilizada em contraste ao calor latente (OKE, 1978).

Camada dos tetos urbanos - ("Canopy Layer") é um amálgama de microclimas, cada qual dominado pelas características de seu meio mais imediato (OKE, 1978).

Camada limite da atmosfera - ("Atmospheric Boundary Layer") um termo genérico para designar a camada de ar adjacente à superfície terrestre (OKE, 1978).

Camada limite planetária - ("Planetary Boundary Layer") é uma camada da atmosfera, compreendida entre a superfície e a altitude na qual a influência do atrito (friccional) deixa de existir (OKE, 1978).

Camada limite rural - ("Rural Boundary Layer") é a camada de ar sobrejacente a uma superfície rural cuja altitude é definida pela rugosidade rural.

Camada limite urbana - ("Urban Boundary Layer") é a camada de ar sobrejacente a uma superfície urbana cuja altitude é definida pela rugosidade da área edificada (OKE, 1978).

"Canyon" urbano - utilizado em climatologia urbana para designar uma rua ou avenida cujas margens constituem-se de prédios altos e justapostos, assemelhando-se à feição geomorfológica que recebe a mesma designação.

Ciclone - região onde a pressão atmosférica é baixa em relação ao seus arredores. Os ventos, convergentes, sopram no sentido anti-horário no hemisfério norte e horário no hemisfério sul, em torno de tais sistemas (MOORE, 1967).

Controles climáticos - definem as variações regionais e cronológicas do tempo e do clima. Embora os próprios elementos do clima e do tempo (energia solar, temperatura, precipitação, ventos) também atuem como controles, outros podem ser a eles adicionados. Os controles mais específicos são, entretanto, derivados de vários fatores geográficos (latitude, continentalidade, distribuição da pressão atmosférica, correntes marítimas, altitude, entre outros) (ROCHA, s.d.).

Declinação solar - é a distância angular para sul e para norte do Equador celeste onde os raios do Sol podem incidir perpendicularmente sobre uma superfície

horizontal, ao meio-dia local, pelo menos uma vez no ano. Corresponde às latitudes compreendidas entre $23^{\circ}27'S$ e $23^{\circ}27'N$ (trópicos). É considerada negativa quando o Sol aparente está no hemisfério sul, e positiva quando o Sol encontra-se no hemisfério norte.

Efeito Coriolis (força de Coriolis) - é o resultado da velocidade de rotação diferenciada da Terra em diferentes latitudes. Em consequência, qualquer corpo em movimento livre será desviado para a esquerda de sua trajetória no hemisfério sul e para a direita no hemisfério norte (KIRSCH et al., 1981b).

Elementos do tempo e do clima - são as variáveis atmosféricas cujas combinações caracterizam os tipos de tempo ou o clima de um dado local (insolação, umidade, precipitação, ventos e pressão atmosférica, p.ex.) (TREWARTHA & HORN, 1980).

Escala climática - é usada na classificação dos climas em diferentes grandezas naquilo que se refere aos controles climáticos. Idéias subjacentes à noção de escala são:

- extensão do ambiente em questão (no plano horizontal e vertical);
- o grau de "textura" dos climas;
- os tipos de controle mais efetivos de acordo com a extensão considerada;
- o tipo e grau de refinamento das observações e métodos necessários à posterior caracterização de um ambiente climático. (ROCHA, s.d.).

Escala sinóptica - é aquela correspondente ao macroclima cuja caracterização estatística é elaborada a partir das observações padrão utilizadas na previsão de tempo em grande escala.

Força de Coriolis - (v. Efeito Coriolis)

Frente - superfície de separação entre massas de ar quentes e frias. É geralmente produzida pelo deslocamento horizontal destas, originadas em regiões bastante distintas, p. ex., ar tropical ou polar. A frente é considerada quente quando o ar tropical avança SOBRE o ar polar. O avanço do ar frio SOB o ar quente é denominado frente fria.

Massa de ar - é um volume de ar mais ou menos homogêneo, que cobre uma área considerável da superfície da Terra e é limitado por superfícies frontais (v. frente). Massas de ar são geralmente classificadas de acordo com a região de origem, p. ex. tropical ou polar, continental ou marítimo. Uma massa de ar pode, ainda, ser classificada como tropical marítima, polar continental, etc. (MOORE, 1967).

Metrópole - é uma cidade que exerce simultaneamente um grande número de funções urbanas. Corresponde, genericamente, a cidades com população de mais de um milhão de habitantes (CHABOT, 1948).

Normal climatológica - é a média geral, aritmética das médias anuais de uma variável meteorológica (temperatura máxima, p.ex.) num período de 30 anos. A WMO (World

Meteorological Organization) oficializou os seguintes períodos de normais: 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, etc. (ROCHA, s.d.)

Núcleos de condensação - são partículas higroscópicas, geralmente sais solúveis, em suspensão na troposfera terrestre, em torno dos quais ocorre a condensação do vapor d'água, formando uma gotícula de nuvem (KIRSCH et al., 1981a).

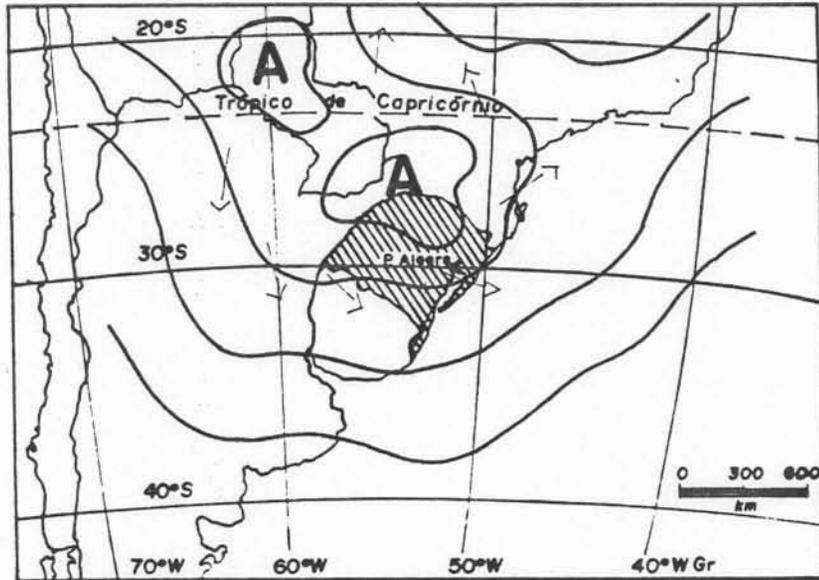
"Sky view factor" - é a proporção da quantidade de céu visível de um determinado ponto da superfície em relação ao total avaliável (i.e. a abóbada celeste acima de uma superfície horizontal (OKE, 1978).

Tempo anticiclônico - denominação atribuída à condição sinóptica de alta pressão sobre um determinado local. Tal tipo de tempo é caracterizado, geralmente, por céu claro e ventos fracos.

Tempo meteorológico - condição da atmosfera, em um determinado momento, e sobre um período curto de tempo, descrita por vários fenômenos meteorológicos, incluindo pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura, precipitação, nebulosidade e direção e velocidade do vento (MOORE, 1967).

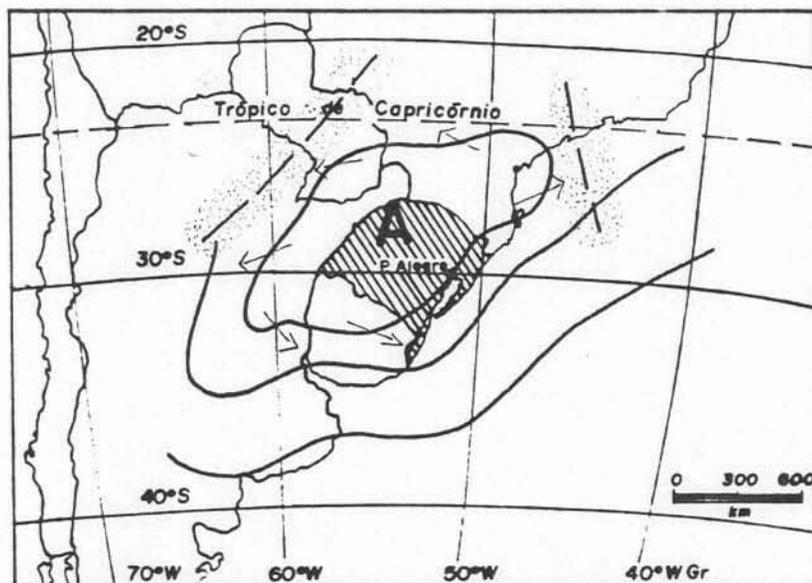
Anexo II: Cartas sinópticas simplificadas dos dias anticiclônicos selecionados em cada estação do ano (12h TMG). 8º DISME.

OUTONO (03 e 04.05.85)

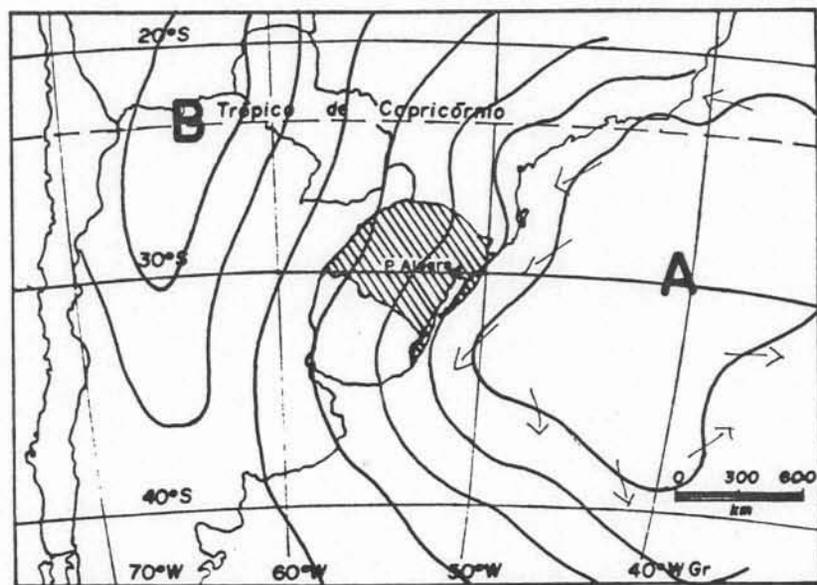
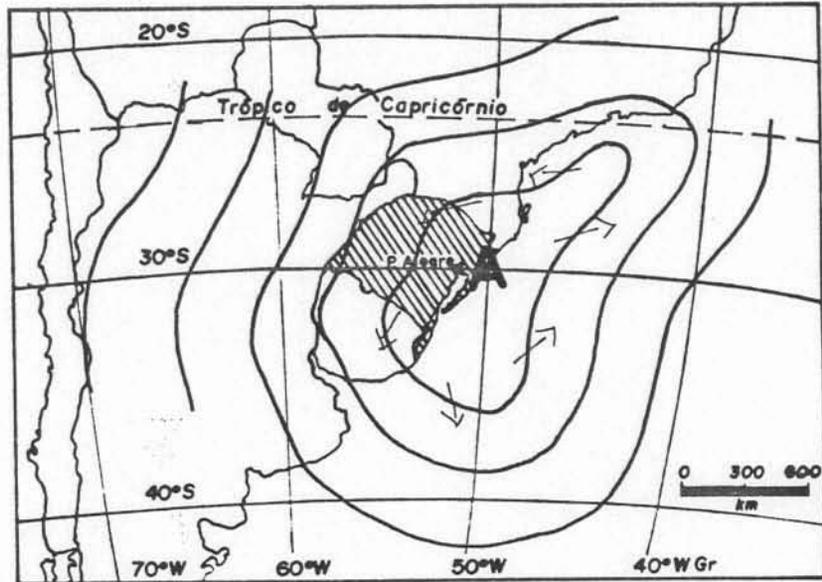


Legenda:

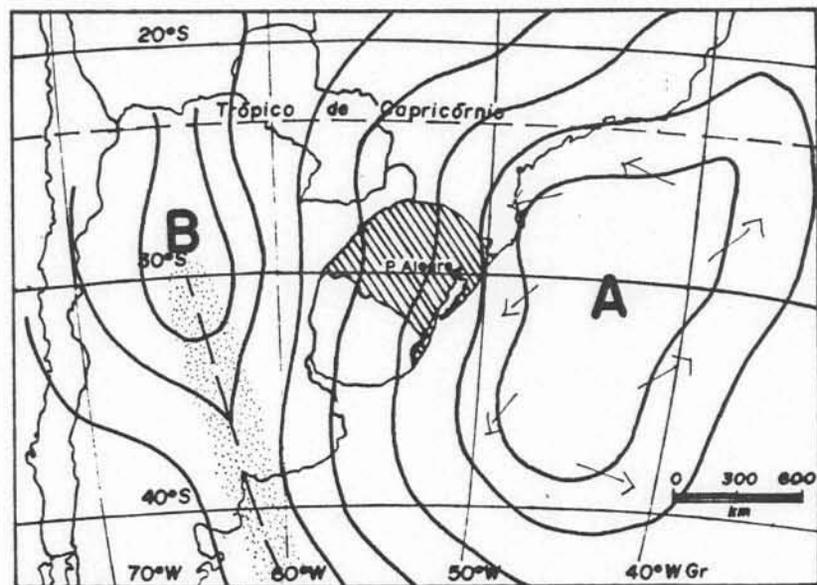
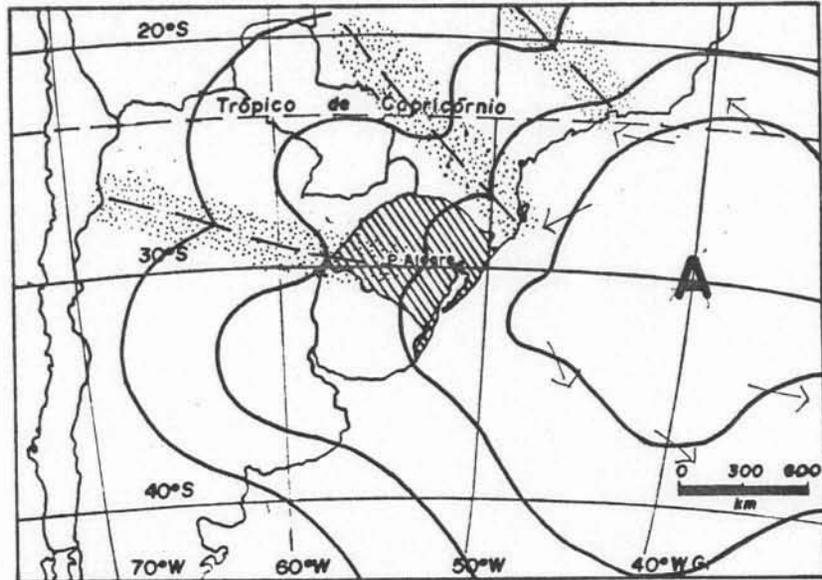
- | | | | |
|---|--------------------------------|----------|-------------------------|
|  | isóbaras | A | Centro de Alta Pressão |
|  | nebulosidade | B | Centro de Baixa Pressão |
|  | direção do vento em superfície | | |



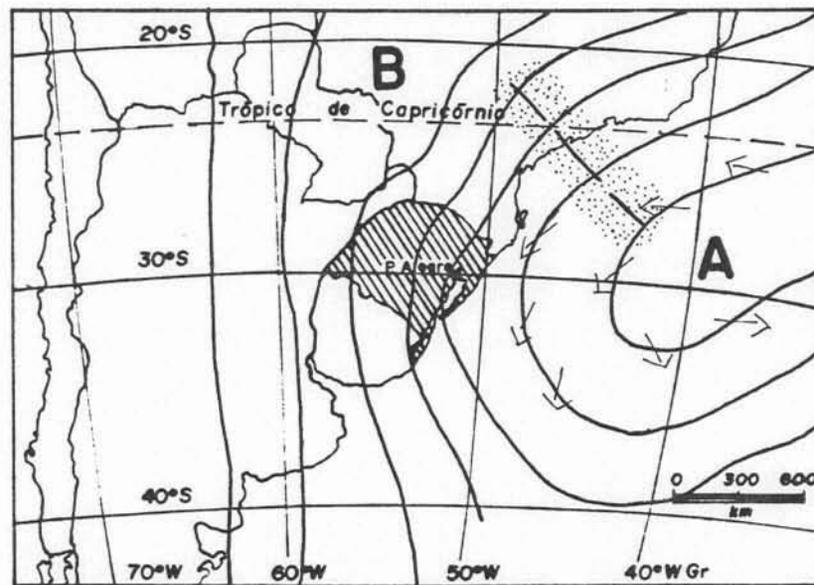
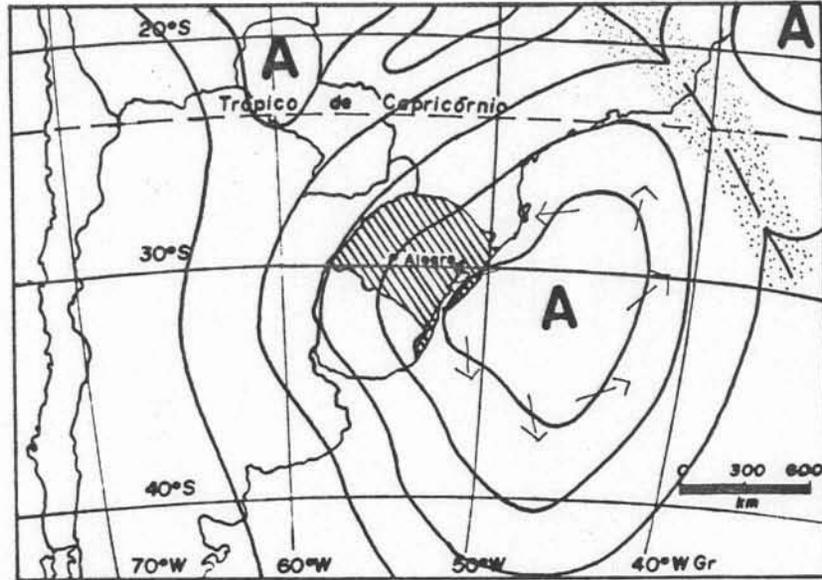
INVERNO (06 e 07.09.85)



VERÃO (06 e 07.01.86)



PRIMAVERA (11 e 12.10.85)



Anexo III: Valores da obstrução do horizonte em cada estação meteorológica.

DIAGRAMA SOLAR
Valores médios

E. Met	Mveg	Mcon	Mmx	Mmn	Sv tot	Sc tot	Smx tot	Sv %	Sc %	Smx %
ARQ	10,9	23,9	32,2	2,7	1,2	2,5	3,3	18,9	40,5	53,3
COL	16,7	7,5	19,2	5,0	1,8	0,8	2,1	28,7	13,1	32,9
DIS	4,1	2,9	5,9	1,1	0,4	0,3	0,6	6,3	5,1	10,3
PAR	13,1	1,0	14,1	0,0	1,4	0,1	1,5	22,7	1,7	24,4
SEM	14,3	11,2	20,4	5,1	1,6	1,2	2,2	24,7	19,4	34,9
SOC	17,4	16,8	27,7	6,4	1,9	1,8	2,9	29,9	28,9	46,5
SUP	11,4	8,8	15,2	5,0	1,2	1,0	1,6	19,8	15,3	26,2

Mveg	ângulo médio de obstrução por vegetação
Mcon	ângulo médio de obstrução por edificações
Mmx	ângulo médio de obstrução máxima
Mmn	ângulo médio de obstrução mínima
Sv	área da abóbada celeste (R=1) obstruída por vegetação
Sc	área da abóbada celeste (R=1) obstruída por edificações
Smx	máxima área obstruída (R=1) da abóbada celeste
Sv _%	área obstruída relativa ao total da abóbada celeste
Sc _%	área obstruída relativa ao total da abóbada celeste
Smx _%	área obstruída relativa ao total da abóbada celeste

Anexo IV: Área com edificações (total e por intervalo de classes) em 10.000 m² e 40.000 m².

ÁREA EDIFICADA		em 10.000 m ² (m ²)					
	ARQ	COL	DIS	PAR	SEM	SOC	SUP
1	175	1150	500		625	1525	675
2	275	75	225		750	1275	200
3	1400	50			800	125	
4							
5	525						
TOTAL	2375	1275	725	0	2175	2925	875

ÁREA EDIFICADA		em 40.000 m ² (m ²)					
	ARQ	COL	DIS	PAR	SEM	SOC	SUP
1	1075	7750	1800	75	2575	10050	2375
2	2175	2225	675		2000	4075	4000
3	5575	2375		125	2350	2175	1800
4	1450					1125	925
5	2975						
TOTAL	13250	12350	2475	200	6925	17425	9100

Anexo V: Área da cobertura vegetal (total, arbórea e herbácea) em 10.000 m² e 40.000 m².

SUPERFÍCIE VEGETADA em 10.000 m² (m²)

	ARQ	COL	DIS	PAR	SEM	SOC	SUP
arbórea	1025	3600	725	2575	2350	1525	1675
herbácea	1875	2550	7625	2700	3175	1175	3975
total	2900	6150	8350	5275	5525	2700	5650

SUPERFÍCIE VEGETADA em 40.000 m² (m²)

	ARQ	COL	DIS	PAR	SEM	SOC	SUP
arbórea	5175	7600	6325	15675	6625	3625	6750
herbácea	2675	6900	24475	7025	7550	3150	9350
total	7850	14500	30800	22700	14175	6775	16100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

Porto Alegre, 10 de novembro de 1989

A Coordenação do
Curso de Pós-graduação em Ecologia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

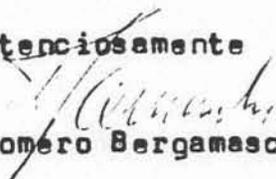
Prezados Senhores:

Com relação à dissertação "Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre", de autoria de Heinrich Hasenack, informamos o seguinte:

O trabalho está muito bem elaborado. A redação é clara e concisa, com boa concatenação de assuntos. O tema enfocado é de maior relevância, sob ponto de vista prático e científico e atendeu a critérios fundamentais claros, tanto na execução como na interpretação e discussão. Ficaram evidenciadas as interações de fatores do ambiente sobre o regime térmico de Porto Alegre. Algumas dessas interações foram suficientemente demonstradas e discutidas no trabalho, enquanto que outras ficaram implícitas, indicando a necessidade de sequência em novos estudos, mais detalhados e específicos.

Pela qualidade do trabalho e pelo excelente desempenho do candidato na sua defesa, emitimos conceito máximo (A).

Atenciosamente


Homero Bergamaschi, Prof. Adjunto

PARECER RELATIVO A DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE HEINRICH HASENACK
DESENVOLVIDA JUNTO AO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DA UNI-
VERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Com relação à dissertação de mestrado acima referida, cuja defesa ocorreu no dia 10/11/89, é o seguinte o meu parecer:

- Em primeiro lugar, o tema da dissertação: *Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre*, é de extrema relevância, à medida em que aprofunda o estudo de fatores contribuintes na formação de climas urbanos. Considerando a crescente concentração do Homem em áreas urbanas, as pesquisas que busquem caracterizar as conseqüências do crescimento das taxas de urbanização e os recursos para atenuar os fatores adversos da concentração humana nessas áreas assumem um importância extraordinária. Neste sentido o trabalho de Hasenack contribui para melhor caracterizar o clima de Porto Alegre, além de propiciar um novo enfoque no tratamento do assunto, ao discriminar obstrução do horizonte por edificações e por vegetação.

- A dissertação teve sua estrutura bem planejada, tendo sido bem redigida, com clareza e precisão, e convenientemente ilustrada.

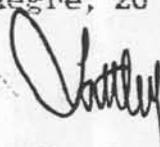
- O mestrando fez uso adequado de métodos científicos nas diversas etapas de seu trabalho. Os resultados obtidos foram adequadamente justificados e apresentados.

- Um dos aspectos a destacar no trabalho é o capítulo referente à revisão de literatura, que além de ser abrangente e pertinente, foi excelentemente redigida e concatenada.

- A única crítica a ser feita ao trabalho, refere-se a uma certa falta de atenção ao referir no texto da dissertação os valores contantes em algumas tabelas no capítulo referente à discussão de resultados, tendo aí sido encontrados alguns erros.

- Concluindo, o meu parecer geral é de que a dissertação apresentada é de EXCELENTE qualidade, tanto em conteúdo com em forma.

Porto Alegre, 20 de novembro de 1989.



Miguel Aloysio Sattler, Ph.D.