

# *Pesquisas em Geociências*

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

---

## **Relações entre Temperatura do Ar e Variáveis do Ambiente Urbano de Porto Alegre, RS**

*Heinrich Hasenack, Feliciano Edi Vieira Flores*

*Pesquisas em Geociências, 21 (1): 3-11, maio/ago., 1994.*

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21245>

---

Publicado por

## **Instituto de Geociências**

---



## **Portal de Periódicos UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

---

### **Informações Adicionais**

**Email:** [pesquisas@ufrgs.br](mailto:pesquisas@ufrgs.br)

**Políticas:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

**Submissão:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

**Diretrizes:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

---

Data de publicação - maio/ago., 1994.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

## Relações entre Temperatura do Ar e Variáveis do Ambiente Urbano de Porto Alegre, RS

HEINRICH HASENACK E FELICIANO EDI VIEIRA FLORES

Centro de Ecologia, UFRGS Caixa Postal, 15007 CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 21/07/93. Aceito para publicação em 09/06/94.)

**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 April 1985 - March 1986. The environment around the meteorological shelters was characterized by three variables: mean screening angle (obstruction by buildings, by vegetation and maximum obstruction), as well as vegetation cover (arboreal and herbaceous) of 10.000m<sup>2</sup> and built-up area in squares of 10.000 m<sup>2</sup>. 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. The use of such obstruction diagrams to define adequate locals to perform meteorological observation in urban environment is suggested.

**Resumo** – Para 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. 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 (herbácea e arbórea) em 10.000 m<sup>2</sup> e superfície com edificações também em 10.000 m<sup>2</sup>. A correlação da obstrução do horizonte por edificações com a média das temperaturas mínimas foi a mais significativa. É sugerida a construção de diagramas solares com obstrução por edificações na identificação de locais próprios à observação meteorológica em ambiente urbano.

### INTRODUÇÃO

O clima urbano é consequência da grande alteração das propriedades meteorológicas do ar imediatamente acima das cidades (Kratzer, 1956; Chandler, 1970 e 1976; Lowry, 1976; Oke, 1978; Landsberg, 1981; Weischet, 1982).

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.*). Nesta escala é a cobertura do solo, a circulação local e a poluição do ar da cidade que impõem um balanço de energia distinto daquele de áreas rurais cuja variedade climática está no mesmo nível urbano (Weischet, 1982). O excesso de temperatura de uma cidade, gerado pela combinação desses controles, em relação aos seus arredores, foi denominado por Böhm (1979) de *ilha de calor*.

As diferenças mesoclimáticas que se desenvolvem em uma área urbana em 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). Sob condições sinópticas de alta pressão, as diferenças urbano-rurais se acentuam. Landsberg (1981) lembra, no entanto, que cada localidade é governada pelos padrões meteorológicos de grande escala (macroclima), 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 o macroclima e o clima local oscila continuamente. Algumas vezes predominam con-

dições de grande escala e, em outras, prevalecem as condições locais, embora ambas sempre estejam presentes. Linke (1940) caracterizou o clima urbano como um fenômeno de "bom tempo", que mostra seu maior desenvolvimento sob ar calmo e céu sem nebulosidade, situação sob a qual as características da superfície exercem maior influência sobre o clima local.

O clima urbano em latitudes médias já vem sendo estudado desde o final do século passado e tem sido levado em consideração no planejamento das cidades. Ao lado de publicações que buscam fazer uma revisão geral do assunto, merecem destaque Kratzer (1956), Chandler (1976) e WMO (1970). A necessidade de se conhecer, porém, o clima de cidades em latitudes subtropicais e tropicais levou a WMO a organizar um Simpósio dedicado ao assunto na Cidade do México (WMO, 1986), no qual Monteiro (1986) faz uma revisão bibliográfica dos estudos de clima urbano no Brasil.

A localização de Porto Alegre (30°S; 51°W) na porção oriental do continente lhe confere um clima regional (macroclima) do tipo subtropical úmido ou *Cfa*, segundo o sistema de classificação de Köppen (Fig. 1). As 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 cidade de Porto Alegre 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, todas elas comprometidas com a expansão metropolitana (Ab'Saber, 1965).

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

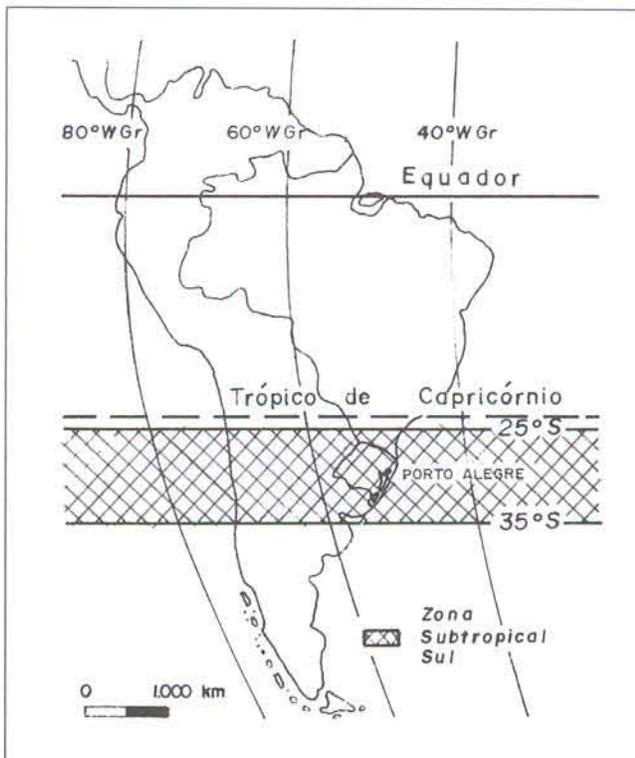


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

pode se expandir. A crescente valorização das áreas já ocupadas, por outro lado, 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.

Em cidades onde a variedade de ambientes é grande a definição de locais para a observação meteorológica é particularmente complexa.

Os trabalhos já realizados em Porto Alegre (RS) por Danni (1980 e 1987); Hasenack *et al.* (1982) e Hasenack & Becke (1986 e 1990) comprovaram a ocorrência do fenômeno Ilha de Calor.

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

- identificar elementos da paisagem urbana que possam auxiliar na seleção de locais representativos para a implantação de uma rede de observação meteorológica em escala local;
- analisar a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre e sua correlação com a obstrução do horizonte local, a cobertura vegetal e a superfície edificada.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Obtenção de Dados

#### Dados meteorológicos

Foram utilizados dados de temperatura coletados em seis estações meteorológicas na área urbana de Porto Alegre (Fig.2).

Estação do 8º DISME - DIS (30°03'10"W; 51°10'29"W; 47m), mantida pelo INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia), no bairro Jardim Botânico.

Cinco estações instaladas para os propósitos deste trabalho.

- Estação Arquivo Público - ARQ (30°01'53"S; 51°13'52"W; 16m) no Centro.
- Estação Colégio N. Srª da Glória - COL (30°04'33"S; 51°11'55"W; 58m) no bairro Glória.
- Estação Seminário Concórdia - SEM (30°01'46"S; 51°11'55"W; 73m) no bairro Mont'Serrat.
- Estação Supervisão de Produção Animal - SUP (30°03'19"S; 51°13'20"W; 7m) no bairro Menino Deus.

As últimas cinco estações foram instaladas sobre superfície gramada (abrigo tipo estação auxiliar) e em local relativamente seguro para evitar danos ao equipamento. As estações são representativas para categorias de uso do solo distintas e possuem uma distância entre si que permitiu 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. O equipamento instalado em cada uma destas estações do Centro de Ecologia consistia, entre outros instrumentos, em um termo-higrógrafo marca Thies com rotação diária e semanal. A estação DIS, por pertencer à rede nacional do INEMET, já possuía este equipamento. O termo-higrógrafo é de fabricação Belfort com rotação semanal. Os termo-higrógrafos foram calibrados utilizando-se um psicrômetro de aspiração do tipo Assmann (marca Thies).

A troca dos gráficos dos instrumentos registradores foi feita semanalmente. Em DIS a observação é diária, realizada por pessoal do próprio órgão.

Em laboratório, os dados de cada estação meteorológica eram plotados manualmente em tabelas construídas para tal fim. Tomou-se a temperatura a cada hora, bem como a máxima e a mínima do dia, com aproximação de 0,5°C.

Neste trabalho foram utilizadas as temperaturas mínimas e máximas diárias do período abril 1985 - março 1986.

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

### Obstrução do horizonte local

Tomando como centro o abrigo de cada estação meteorológica observou-se em um intervalo de 10º de azimute, o ângulo de obstrução do horizonte local que a vegetação e/ou as 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°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 solstícios 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 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*.

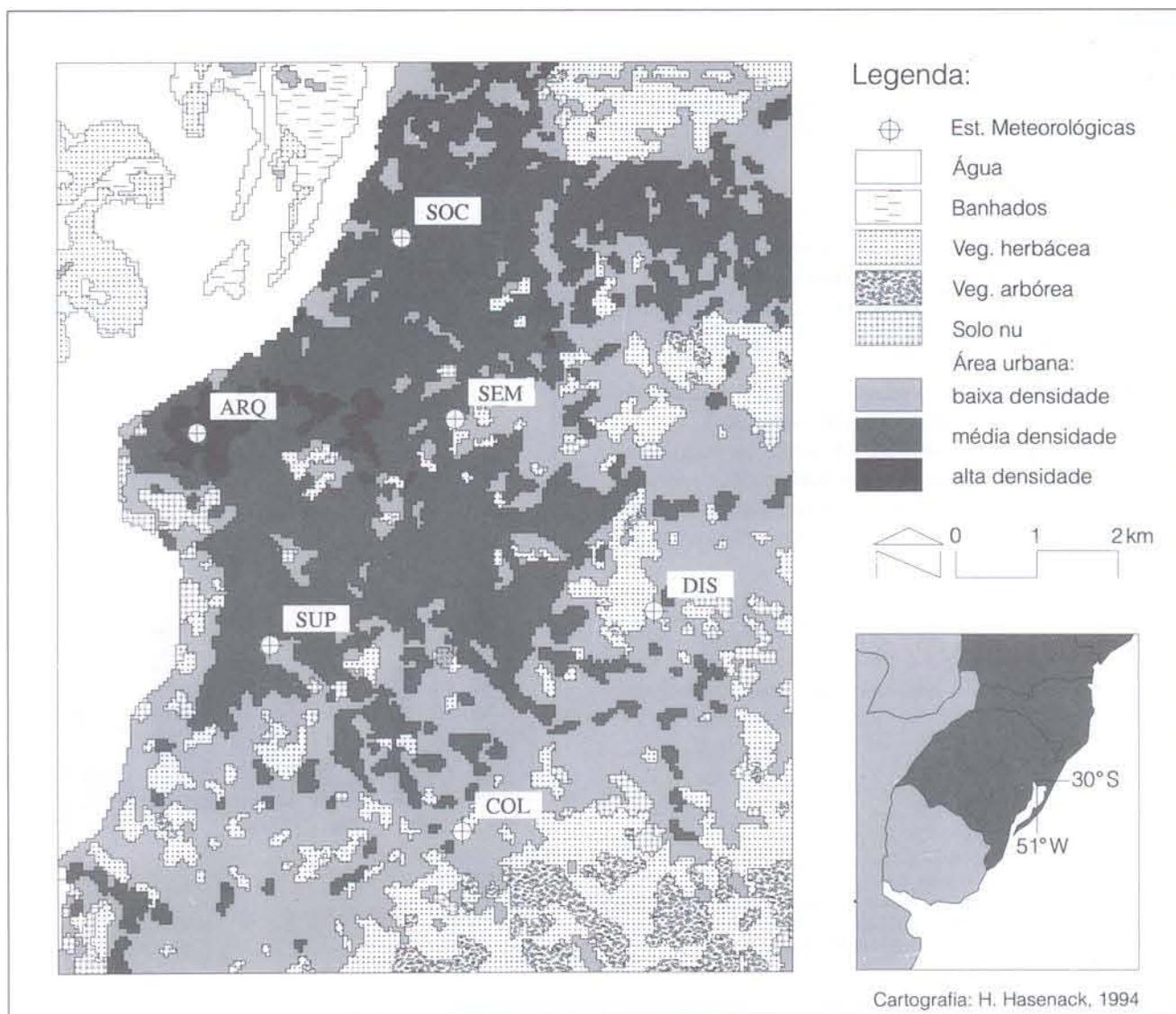


Figura 2 - Localização das estações meteorológicas na área urbana de Porto Alegre, RS.

A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=0}^{35} \alpha_i}{n}$$

$\bar{\alpha}$  ângulo médio;

$\sum \alpha_i$  somatório dos ângulos observados em cada azimute;

$n$  número de observações realizadas por estação.

Considerando a abóbada celeste local como um hemisfério de raio igual a uma unidade, é possível calcular a área média obstruída em cada sítio, como segue:

$$A = 2\pi R^2 \sin \bar{\alpha};$$

A superfície obstruída ( $un^2$ );

$2\pi R^2$  superfície total do hemisfério celeste de raio ( $R = 1$  unidade);

$\bar{\alpha}$  ângulo médio de obstrução do horizonte local.

Além dos valores absolutos de obstrução calculou-se também seus valores relativos.

Área com edificações

Estando o abrigo no centro, definiu-se em torno de cada estação meteorológica uma área quadrada com  $100 m^2$  ( $10.000 m^2$ ). Uma das faces do quadrado tinha orientação norte.

A área com edificações foi avaliada pela superposição de uma rede de quadrículas sobre o mapa cadastral. Cada quadrícula representava  $25 m^2$  em escala real, atribuindo-se a cada uma o valor da classe predominante.

Área da cobertura vegetal

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

Sobre fotografias aéreas em escala 1:5.000, obtidas em 1982 por Terrafoto, foram identificadas, com auxílio de estereoscópio de espelhos Zeiss, duas classes de vegetação: arbórea e herbácea.

As áreas fotointerpretadas foram ampliadas em ampliador de lentes para a escala 1:1.000 e ajustadas às cartas cadastrais de 1982 da METROPLAN (Fundação Metropolitana de Planejamento).

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.

### 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).

Esta análise permitiu a seleção, para cada conjunto de dados ambientais, do elemento mais relevante (Tab. 1).

Dos três índices de obstrução do horizonte local (obstrução máxima, por vegetação e por edificações), optou-se pelo de obstrução por edificações, por ser o índice que melhor correlação apresentou com a vegetação ( $\alpha = 0,01$ ) e com as

	oe	ov	om	lv	la	lh	le	Mx	Mn
oe		n.s.	0,943	-0,943	n.s.	n.s.	0,886	n.s.	0,949
ov			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
om	**			-0,866	n.s.	n.s.	0,943	0,829	0,906
lv	**	*			n.s.	n.s.	-0,943	n.s.	n.s.
la						n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
lh							n.s.	n.s.	n.s.
le	*		**	**				n.s.	n.s.
Mx			*						0,943
Mn	**		*					**	

Tabela 1- Correlação por postos de Spearman, entre as variáveis ambientais e as temperaturas máxima média e mínima média do ano (\* - correlação ao nível de  $\alpha=0,05$ ; \*\* - correlação ao nível de  $\alpha =0,01$ ).

oe obstrução por edificações

ov obstrução por vegetação

om obstrução máxima

lv vegetação total em 10.000 m<sup>2</sup>

la vegetação arbórea em 10.000 m<sup>2</sup>

lh vegetação herbácea em 10.000 m<sup>2</sup>

le edificações em 10.000 m<sup>2</sup>

Mx temperatura máxima média do ano

Mn temperatura mínima média do ano

edificações ( $\alpha = 0,05$ ). 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.

## RESULTADOS

### Temperaturas

#### Médias 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°C e 1,6°C, respectivamente) com valor médio, no período, de 2,1°C (Tab. 2).

Os locais com maior amplitude térmica, no período, foram SUP (15,0°C) e SOC (14,2°C) tendo a menor amplitude ocorrido em DIS (11,8°C).

	OUT	INV	PRI	VER	$\bar{X}$ ANO	$\Delta t$ (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	21,8	20,9	30,0	30,8	25,7	15,0
$\Delta t$	1,8	1,6	2,9	2,1	1,6	

Tabela 2 - Médias das temperaturas máximas no período abril 1985 - março 1986 em Porto Alegre, RS, por estação meteorológica (valores em °C).

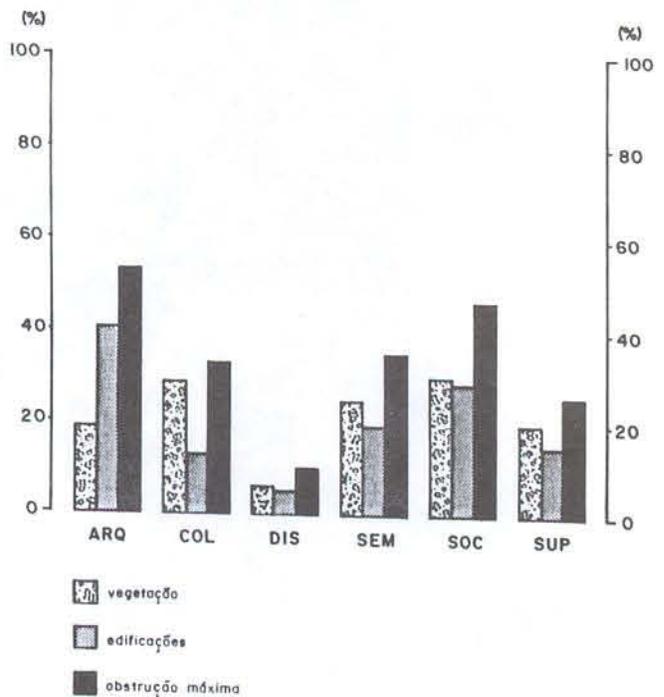


Figura 3 - Superfície da abóbada celeste local obstruída por vegetação, edificações e valor máximo obstruído.

Com exceção do outono, onde a Mx mais baixa ocorreu em SUP (21,8°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°C e 31,1°C, respectivamente), durante o inverno em COL (21,8°C) e, na primavera, em SOC (30,3°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°C). O inverno e a primavera apresentaram diferenças de 1,7° e o verão, 1,4°C.

A amplitude térmica anual foi de 12,7°C em SUP e 10,5°C e 10,4°C em SOC e DIS, respectivamente. Os menores valores ocorreram em SEM e em ARQ (8,5°C e 9,7°C, respectivamente).

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

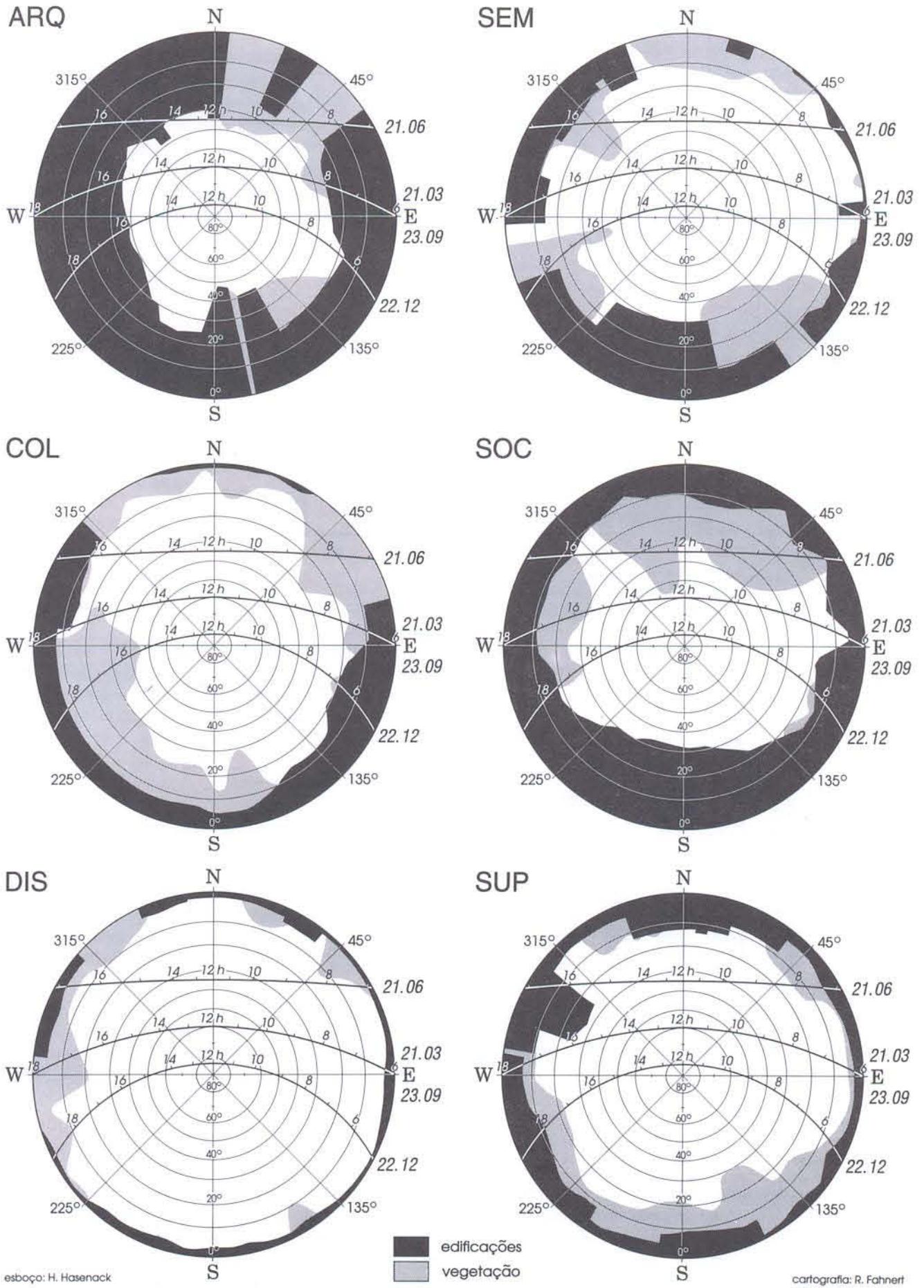


Figura 4 - Diagrama solar com obstrução do horizonte local, por edificações e vegetação nas diferentes estações meteorológicas.

	OUT	INV	PRI	VER	xANO	$\Delta t(\text{ano})$
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
$\Delta t$	2,7	1,7	1,7	1,4	1,4	

Tabela 3 - Médias das temperaturas mínimas no período abril 1985 - março 1986 em Porto Alegre, RS, por estação meteorológica (valores em °C).

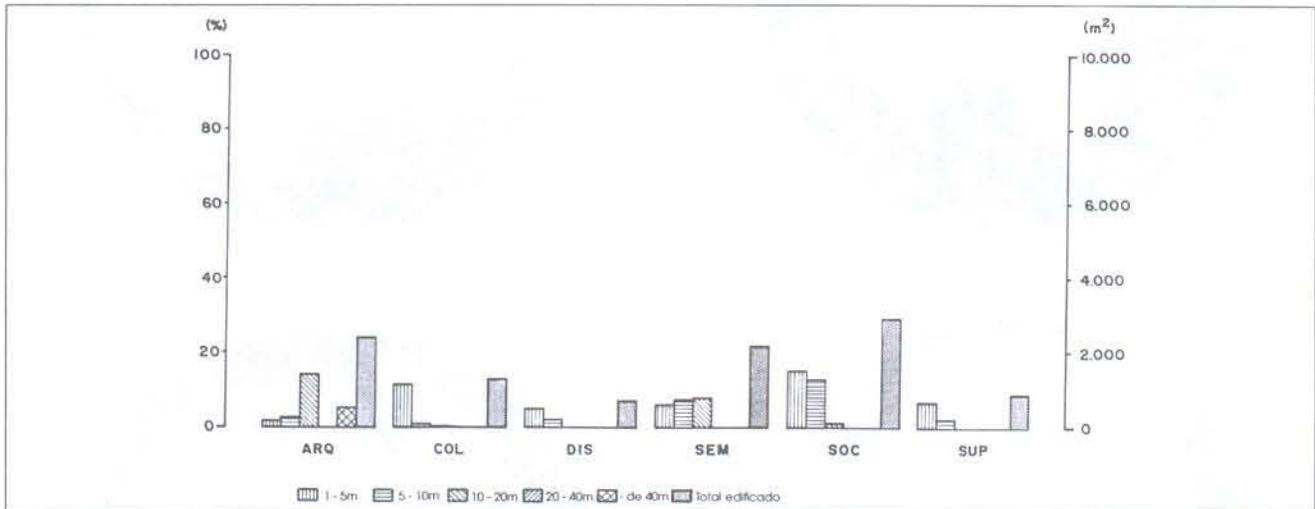


Figura 5 - Área total edificada e proporção por altura dos prédios para 10.000m<sup>2</sup> em torno de cada estação meteorológica (quadrículas de 100x100m).

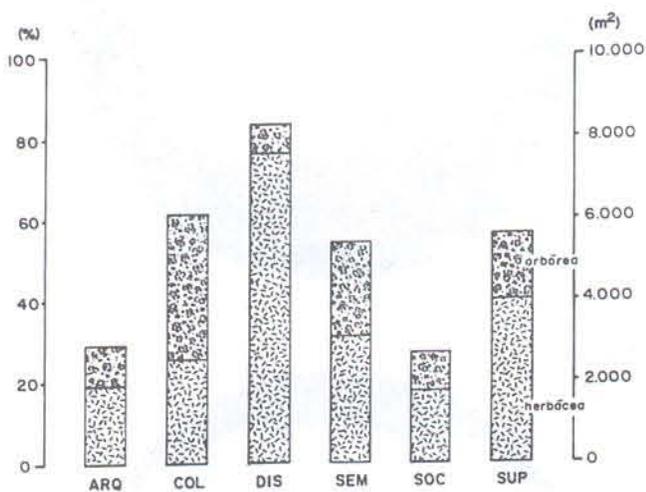


Figura 6 - Área total obstruída por vegetação e proporção dos estratos herbáceo e arbóreo em cada estação meteorológica (quadrículas de 100x100 m).

e 21,4°C no verão) embora no verão a diferença entre esta e ARQ seja apenas 0,1°C).

### Variáveis ambientais

#### Obstrução do horizonte local

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 (Fig 3).

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. 4).

#### Área com edificações

Índices de área edificada superiores a 20% ocorreram em SOC, ARQ e SEM, com 29%, 24% e 22%, respectivamente (Fig. 5). ARQ, embora situado no centro comercial da cidade, não possuía a maior superfície construída mas, em contrapartida, apresenta prédios mais elevados que os outros dois locais. Enquanto ARQ continha 22% do total edificado com mais de 40 m de altura, em SOC e em SEM, os prédios sequer ultrapassavam os 30 m (Hasenack, 1989).

COL apresentava 13% de área edificada sobre a área total, enquanto SUP e DIS tinham taxa inferior a 10% sobre a área total (9% e 7%, respectivamente). Nestes locais a maior parte correspondeu a prédios com altura até 5 m (COL=90%; DIS=77%; SUP=69%) (Hasenack, 1989).

#### Área da cobertura vegetal

Em DIS a vegetação cobria 80% da área em torno da estação, da qual apenas cerca de 9% correspondia à vegetação arbórea (Fig. 6).

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 (59% do total) e em SEM e SUP a herbácea (57% e 60% do total).

Os locais com menos vegetação foram ARQ e SOC, não atingindo 30% da área total. Em ARQ predominou a vegetação herbácea (65% do total), já em SOC os valores foram mais equilibrados (44% vegetação arbórea e 56% vegetação herbácea).

### DISCUSSÃO

Os dados de temperatura mostraram relação com as variáveis ambientais (Tab. 1). 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. 7). O ângulo de obstrução (Fig. 3) representa não só as características físicas dos objetos presentes em torno da estação meteorológica (Figs. 4 e 5), mas também a

interferência destes sobre a radiação recebida em cada abrigo meteorológico. A maior obstrução do horizonte além disso reduz a velocidade com que a energia armazenada na superfície do solo e nas edificações é devolvida por irradiação à atmosfera. Além disso, os locais mais obstruídos são os que maior volume de energia absorvem, já que as paredes dos edifícios possuem área bem superior à superfície do terreno ocupado por eles. Em consequência, a liberação de energia destes locais se dá por um período mais longo. Áreas com o hemisfério celeste menos obstruído, em função do menor volume de energia armazenado, liberam esta energia mais rapidamente. Já nos locais menos abertos, esta liberação pode por vezes ocorrer até nas primeiras horas da manhã. É neste momento que podem ser observadas as maiores diferenças de temperatura entre áreas com horizonte celeste reduzido e outras com horizonte mais aberto. Tendo em vista serem os dados de temperatura aqui tratados valores médios anuais, é de se esperar que as diferenças entre os locais sejam bem superiores sob condição de tempo anticiclônico, em especial nas primeiras horas da manhã. As diferenças térmicas observadas (Tab. 2) também parecem sugerir a existência de comportamento sazonal distinto das temperaturas médias. Na primavera e no verão são observados contrastes maiores do que no outono e no inverno.

O fato de a correlação das variáveis ambientais ter sido maior com as temperaturas mínimas do que com as máximas está provavelmente associada à maior estabilidade do ar nas primeiras horas do dia, quando a contra-irradiação é a componente mais atuante do balanço de energia. Já à tarde, a radiação incidente e as trocas turbulentas decorrentes do aquecimento distinto das diversas estruturas urbanas torna a identificação dos fatores influentes nas diferenças térmicas mais complexa.

Parry (1967) analisou as causas da Ilha de Calor de Reading (53°N), Inglaterra, baseado na observação da temperatura em 10 estações meteorológicas instaladas ao longo de uma transecção norte-sul, envolvendo área urbana e rural. Esse 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 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 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 de energia, tal como as edificações mas, como ser vivo, utiliza apenas parte desta radiação nos processos de evapo-transpiração.

Em adição ao proposto por Parry (1967), no presente trabalho foi feita a transformação do ângulo médio de obstrução em superfície da abóbada celeste obstruída (Fórmula 2), o que deu uma idéia da redução relativa do horizonte em cada local. Nübler (1979), em Freiburg (48°N), Alemanha, 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.* (1985) também relacionaram a redução do horizonte com as temperaturas, utilizando uma máquina fotográfica com lente *olho-de-peixe*, colocada horizontalmente sobre a superfície.

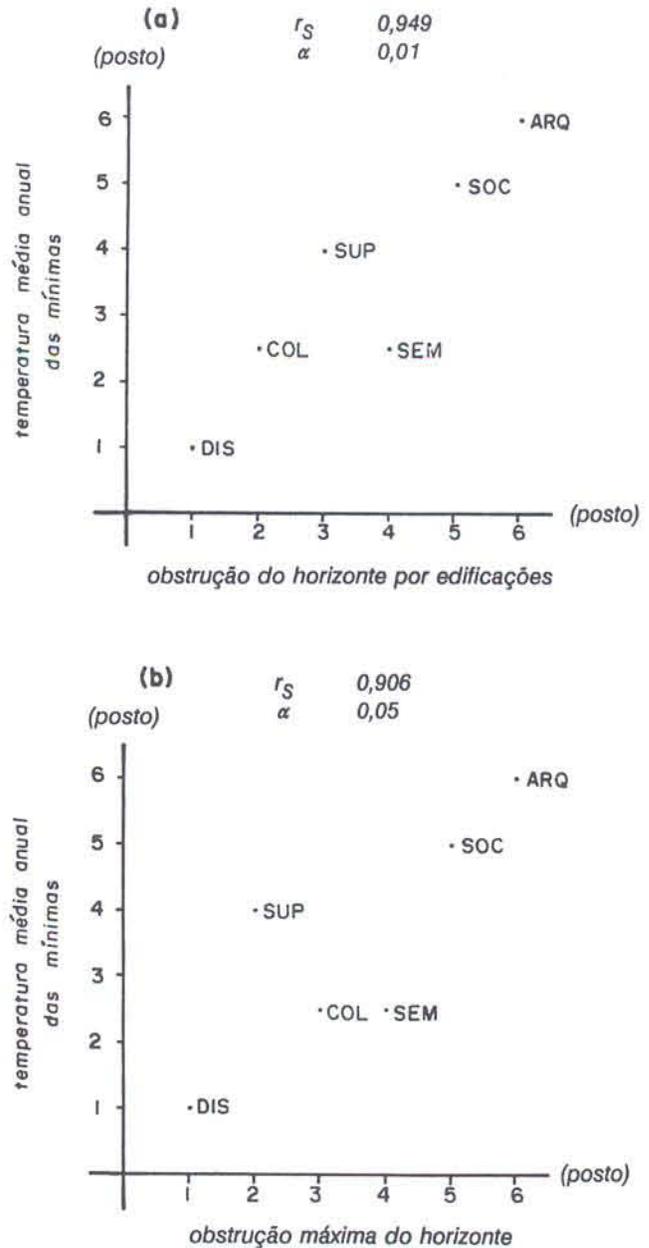


Figura 7 - Correlação por postos de Spearman entre temperatura média das mínimas (abril 85-março 86) e obstrução do horizonte: (a) obstrução por edificações; (b) obstrução máxima.

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. Barring *et al.* (1985) analisaram a relação entre as temperaturas noturnas e a porção de céu visível em Malmö (56°N), Suécia. O índice utilizado nos dois trabalhos (*sky view factor*) 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 ou de altura inferior às edificações.

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 edificações, tendo em vista os estudos de Parry (1967) e os resultados aqui obtidos.

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 aproximadamente 400 m de raio (1/4 de milha ou cerca de 508.326m<sup>2</sup>) em torno de cada estação, tendo obtido boa correlação com a média das temperaturas mínimas. Weischet (1982) utilizou o termo *Baukörperstrukturtypen* (tipos de estruturas de edificações) para definir uma área homogênea em termos de orientação, distribuição e altura dos prédios (conjunto habitacional, casas unifamiliares com jardim, centro comercial etc.) cujas propriedades térmicas seriam uniformes dentro do mesmo padrão de *Baukörperstruktur*. Lombardo (1985) utilizou áreas quadradas de 1 km<sup>2</sup> 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.

Hasenack (1989) ao elaborar 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 uma superfície edificada em áreas quadradas de 40.000 m<sup>2</sup> em torno de cada estação. Isto poderia indicar ser a área de 10.000m<sup>2</sup> (contida na de 40.000m<sup>2</sup>) pouco representativa. As correlações entre a cobertura vegetal, a área edificada e o ângulo de obstrução máxima e por edificações em 10.000 m<sup>2</sup>, 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.

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 da vegetação arbórea. A inexistência de padronização na caracterização do solo urbano entre os diferentes autores, 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

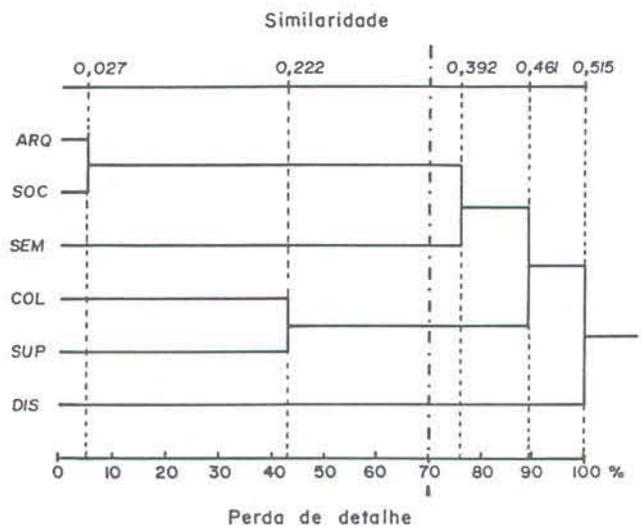


Figura 8 - Dendrograma multidimensional de similaridade a partir dos dados de redução do horizonte local, cobertura vegetal e área edificada das diferentes estações meteorológicas.

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. 8) permitiu um agrupamento das estações que correspondeu, aproximadamente, às temperaturas observadas.

A variedade de ambientes existentes em uma cidade torna complexa a escolha do local adequado para a instalação de um abrigo meteorológico para observação da temperatura. A maior rugosidade da superfície urbana, gerada pela presença dos edifícios, p. ex., exerce forte influência 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, ele representa tanto a componente horizontal como a vertical da cobertura do solo urbano.

Embora diferenças sazonais devam ser consideradas (Hasenack, 1989) é provável que, independente da estação do ano, a maior influência na amenização das diferenças térmicas entre os locais analisados têm relação com os tipos de tempo observados ao longo do ano. Tendo em vista as considerações feitas por Landsberg (1981), uma seleção de dias com tempo anticiclônico permitiria definir as diferenças máximas entre as temperaturas mínimas diárias observadas em locais com obstrução do horizonte distinta. Para tal é necessário primeiramente classificar os dias do ano em função do tipo de tempo observado. A análise de diferenças relativas entre locais com características ambientais distintas com o uso das temperaturas mínimas médias mostrou-se adequado por ter permitido uma avaliação simples e rápida.

## 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.

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. Esta correspondeu, 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.

**Agradecimentos** - Ao 8º DISME pela gentil cessão dos dados meteorológicos. Ao Arquivo Público do Estado, Colégio N. Srª da Glória, Igreja Evangélica Luterana do Brasil, Sociedade Gondoleiros e Supervisão de Produção Animal pela cessão dos locais para instalação dos abrigos meteorológicos. A E. R. Fazenda e L. W. Ferraro, pelo auxílio na montagem, calibração e observação do equipamento.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. N. 1965. O sítio urbano de Porto Alegre: Estudo geográfico. *Bol. Paulista de Geografia*, 42:3-30.
- Bärring, L.; Mattsson, J.O. & Lindqvist, S. 1985. Canyon Geometry, Street Temperature and Urban Heat Island in Malmö, Sweden. *Journal of Climatology*, 5:433-444.
- Böhm, R. 1979. Meteorologie und Stadtplanung in Wien - Ein Überblick. *Wetter und Leben*, 31 (2): 1-11.
- Chandler, T. J. 1970. Urban Climatology: Inventory and Prospect. In: WMO, 1970. *Urban Climates*, Geneva. p. 1-14 (Tech. Note 108)
- . 1976. *Urban Climatology and its Relevance to Urban Design*. WMO, Geneva. 61p. (Tech. Note 149)
- Danni, I. M. 1980. A ilha térmica de Porto Alegre. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 8:33-48.
- . 1987. *Aspectos tempororo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982: Contribuição ao estudo do clima urbano*. Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 2v.
- Eriksen, W. 1964. *Beiträge zum Stadtklima von Kiel*. Geogr. Inst. Univ. Kiel, Kiel. 218p.
- Hanwell, J. & Newson, M. 1973. *Techniques in Physical Geography*. McMillan, Basingstoke. 230p.
- Hasenack, H. 1989. *Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS*. Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, 108p.
- & Becke V.L. 1986. Comparação entre dois métodos de medida móvel de temperatura em ambiente urbano. *Geografia*, 11 (22): 137-141.
- & ———. 1990. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis. *Anais, 1º Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído*. Gramado, ANTAC. 1:139-145.
- ; Schmidt J. & Becke, V.L. 1982. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS. *Anais, 5º Encontro Nacional de Geógrafos*, Porto Alegre, AGB. 1:438.
- Kratzer, A. 1956. *Das Stadtklima*. 2.ed. Friedrich Vieweg, Braunschweig. 184p.
- Landsberg H. E. 1981. *Urban Climates*. Academic Press, New York. 275p.
- Linke, F. 1940. Das Klima der Groszstadt. In: Linke, F. & Derudder, B. (ed.) 1940. *Biologie der Groszstadt*. Theodor Steinkopff, Dresden. p. 75-90.
- Lombardo, M.A. 1985. *A ilha de calor nas metrópoles*. Hucitec, São Paulo. 244p.
- Lowry, W. P. 1976. El clima de las ciudades. In: Scientific American, 1976. *La ciudad: Su origen, crecimiento e impacto en el hombre*. H. Blume, Madrid. p. 160-169.
- Monteiro, C.A.F. 1986. Some Aspects of the Urban Climates of Tropical South-America: The Brazilian Contribution. In: WMO, 1986. *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas*. WMO, Geneva. p.166-198. (Tech. Note 652)
- Nübler, W. 1979. *Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg*. Geogr. Inst. I Univ. Freiburg, Freiburg i. Br. 113p.
- Oke, T.R. 1973. City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, 7:769-779.
- . 1978. *Boundary Layer Climates*. Methuen, London. 372p.
- . 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Journal of Climatology*, 1:237-254.
- Parry, M. 1967. The Urban "Heat-Island". *Biometeorology*, 2:616-624.
- Rocha, G.L. s.d. *Introdução ao estudo climático*. Porto Alegre, 27p.
- Siegel, S. 1975. *Estatística não-paramétrica*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo. 350p.
- Snedecor, G. W. 1948. *Métodos de estadística; su aplicación a experimentos en agricultura e biología*. Acme, Buenos Aires. 558p.
- Steyn, D. G. 1980. The calculation of view factors from fish-eye lens photographs. *Atmosphere-Ocean*, 18: 254.
- Weischet, W. 1982. Thermalluftbilder für die Stadt-und Landesplanung. *Beiträge-Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, 62:23-38.
- WMO, 1970. *Urban Climates*. WMO, Geneva. 390p. (Tech. Note 108)
- . 1986. *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas*. WMO, Geneva. 534p. (Tech. Note 652)