

**ambiente**



# **PROJECTO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DO AR EM MACAU**

*R.A.C. Carvalho\*, J.P.E. Santos\*, A. Viseu\*\*.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento social e económico de Macau verificado a partir dos anos 70 levou o Governo de Macau ao desenvolvimento de um Projecto de Vigilância da Qualidade do Ar em Macau, que teve o seu início em 1985.

Neste Projecto foi incluída a implementação de uma rede de medição da concentração à superfície de poluentes da atmosfera e a realização de estudos relativos aos factores que condicionam a qualidade do ar, designadamente a localização e características das fontes poluentes, estacionárias e móveis, a fisiografia de Macau e a sua estrutura urbana, as características demográficas e do tráfego automóvel urbano, assim como os estudos relativos aos factores meteorológicos que caracterizam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos em diferentes escalas temporais.

Na primeira fase do Projecto, com a duração de 4 anos, prevê-se a realização dos referidos estudos de base, a implementação do programa de vigilância da qualidade do ar em Macau com base nos resultados da exploração da rede de estações instaladas a partir de fins de 1987 e ainda do programa de observações meteorológicas da estrutura térmica e dinâmica da baixa troposfera em Macau programa desenvolvido com a utilização de sondador acústico e de sondagens directas da temperatura do ar e do vento em altitude.

## **2. FISIOGRAFIA, DEMOGRAFIA E ESTRUTURA URBANA**

O território de Macau é constituído pela península de Macau e pelas ilhas da Taipa e de Coloane com as áreas de 6,4 km<sup>2</sup>, 3,8 m<sup>2</sup> e 7,1 km<sup>2</sup> respectivamente, localizando-se à latitude de 22° N no delta do rio das Pérolas, na costa sul da China.

---

\* Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Lisboa

\*\*Serviços Meteorológicos e Geofísicos de Macau

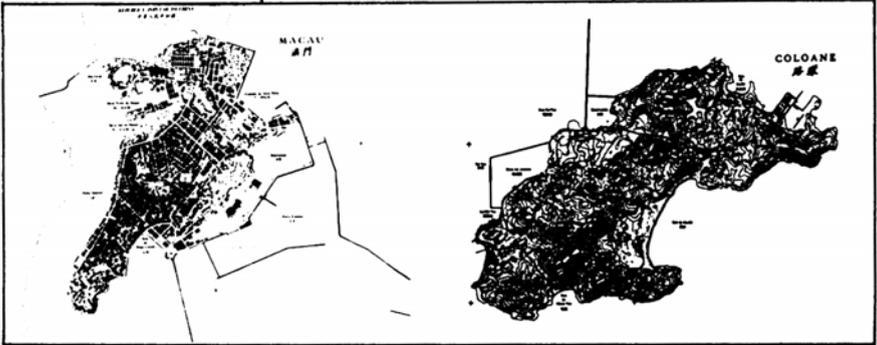
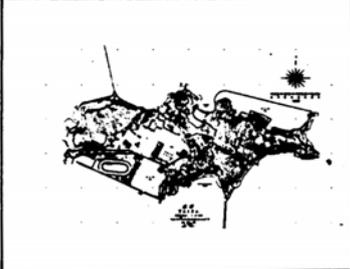


Figura1

Zonas potencialmente desfavoráveis  
quanto à qualidade do ar

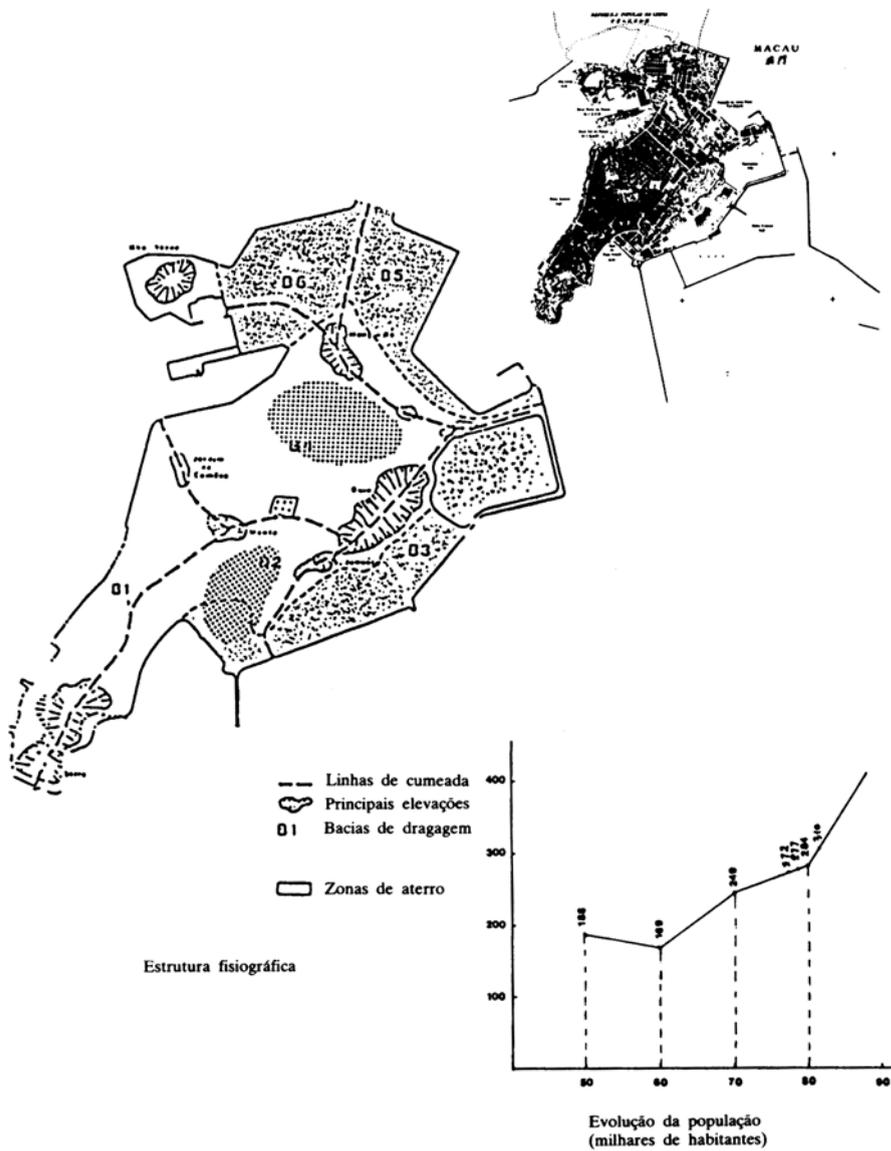


Figura2

Na península de Macau localiza-se a cidade de Macau, onde se destacam as colinas de D. Maria II, da Ilha Verde, Mong Há, Monte, Barra e Guia com altitudes de 49 m a 91 m.

Na cidade de Macau, cuja população é da ordem de 410 000 habitantes, a rede viária principal é constituída essencialmente por cerca de 20 km de vias relativamente estreitas (8 a 12 m), com estrutura em «corredor», segundo 2 eixos principais: o eixo do Porto Interior, ao longo do litoral oeste da península, e o eixo Praia Grande/Rua do Campo/Rua Ferreira do Amaral/Av. Conselheiro Ferreira de Almeida na direcção sul-norte ao longo do eixo longitudinal da península. As ligações transversais na cidade são asseguradas por eixos principais no sentido leste-oeste constituídos pela Av. Almeida Ribeiro/Av. Infante D. Henrique e pela Av. Horta e Costa/Av. Ouvidor Arriaga/Av. Coronel Mesquita. As vias principais em geral têm os dois sentidos de trânsito e são encaixadas por edifícios «contínuos» que limitam significativamente as condições de ventilação.

Na parte sul da península de Macau a ocupação urbana é principalmente constituída por zonas residenciais e comercial-escritórios, enquanto na parte norte a ocupação é residencial e de pequenas e médias indústrias, com grande densidade de população que na zona da Areia Preta em expansão ultrapassa 500 000 hab/km<sup>2</sup>.

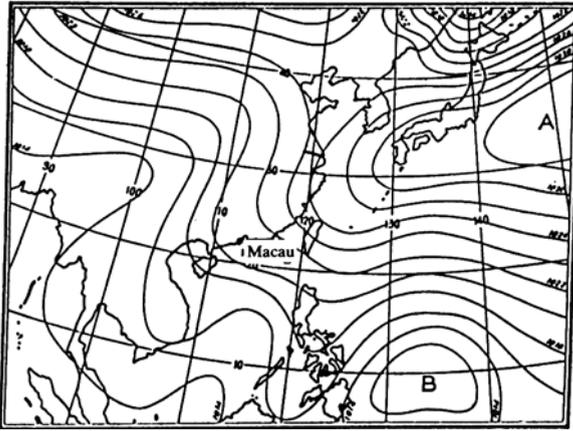
O parque de veículos motorizados de Macau é constituído por cerca de 30 000 viaturas, das quais cerca de 20 000 são veículos ligeiros e cerca de 2 500 são veículos pesados; a velocidade média nas horas de maior circulação na rede viária principal é inferior a 15 km/h, sendo de salientar a existência frequente de descontinuidades significativas no fluxo de tráfego, em especial nas ligações urbanas na direcção norte-sul, o que provoca a deterioração significativa da qualidade do ar.

Na ilha da Taipa destacam-se as colinas da Taipa Pequena (111 m) a oeste e da Taipa Grande (159 m) a leste, enquanto na ilha de Coloane a altitude máxima é de 174 m; nestas ilhas existem somente pequenos aglomerados urbanos, embora no extremo nordeste da ilha de Coloane exista uma fábrica de cimentos e uma central termo-eléctrica.

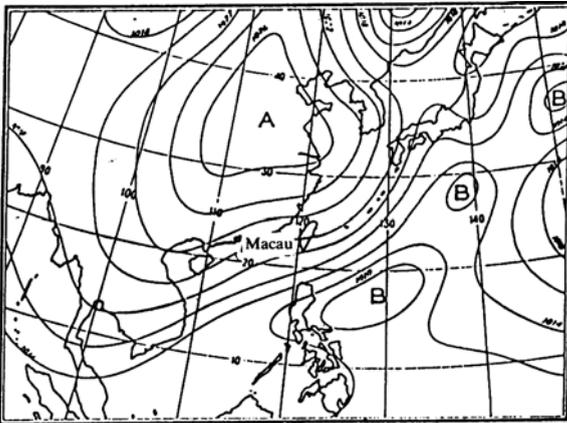
### **3.REGIME DO VENTO E DA ESTABILIDADE DA BAIXA TROPOSFERA NA REGIÃO DE MACAU**

A qualidade do ar na baixa troposfera, em particular à superfície, depende essencialmente das condições meteorológicas na camada limite, isto é, na camada da atmosfera adjacente à superfície do globo com espessura da ordem de 1 a 2 km. De entre os diferentes factores meteorológicos destacam-se o regime do vento e a estabilidade na baixa troposfera que condicionam as condições de transporte e de dispersão dos poluentes atmosféricos.

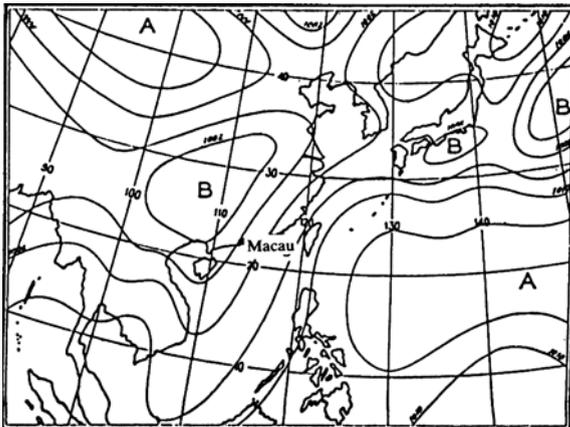
O regime do vento à superfície e na baixa troposfera na região de Macau é condicionado pelas circulações associadas aos grandes centros de acção regionais, em especial o anticiclone subtropical do Pacífico Norte, o anticiclone da Sibéria-Norte da China durante o inverno e as depressões de origem térmica que se formam no verão sobre o sul da China, a que se sobrepõe na camada superficial o efeito das brisas costeiras que sopram



*Anticiclone subtropical do Pacífico Norte.  
(Circulação E).*



*Anticiclone da Sibéria-Norte da China.  
(Circulação N).*



*Depressões de origem térmica  
(Circulação SW).*

*Figura 3*

principalmente do quadrante norte durante a noite no inverno e de sudoeste durante o dia no verão.

Assim, na escala anual à superfície em Macau os rumos do vento mais frequentes são ESE (17%) e NNW (15%) com velocidades médias de 13 km/h, correspondendo aos rumos de WSW, W, WNW e NW as menores frequências (inferior a 2% em cada rumo) e as menores velocidades médias (7 a 9 km/h). A velocidade média anual do vento é de 12,7 km/h, sendo a frequência dos ventos com velocidade inferior a 4 km/h da ordem de 5%.

Não se dispondo de resultados de observações do vento em altitude em Macau, recorre-se aos resultados das observações do vento em altitude em Hong Kong às 2, 8, 14 e 20 TL num período de 5 anos (1976 a 1980), que permitem estimar as frequências dos ventos que ocorrem na região na baixa troposfera. Assim, abaixo de 1 000 m de altitude os ventos são mais frequentes no sector de ENE a ESE, com frequências de 40%, 42% e 34% respectivamente a 300 m, 600 m e 900 m de altitude e velocidades médias de 18 a 22 km/h, 20 a 25 km/h e 23 a 28 km/h respectivamente; o rumo do vento mais frequente nesta camada é E com 26% a 300 m, 18% a 600 m e 13% a 900 m.

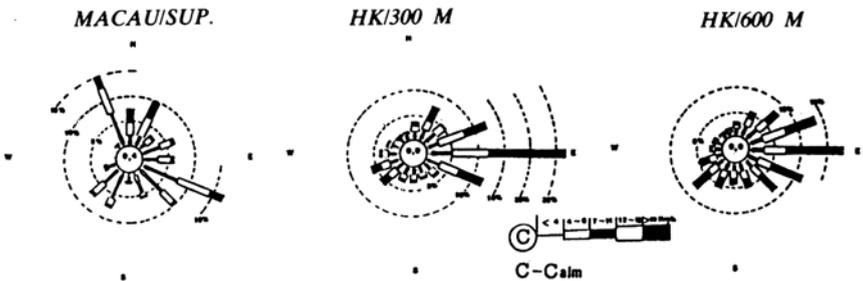
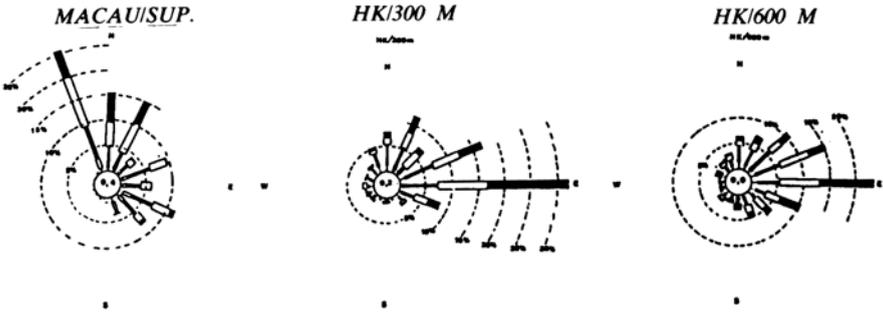


Figura 4

Na camada 1 000m/3 000m predominam os ventos com rumos incluídos no sector de SSW a W com frequências de 40% a 55% e velocidades médias de 25 a 48 km/h.

A variação do regime do vento à superfície ao longo do ano é acentuada, embora os ventos que sopram do sector de ENE a SE sejam muito frequentes em todos os meses do ano (de 21% em Julho a 56% em Abril), sendo o rumo ESE predominante nos meses de Março a Junho e em Setembro e Outubro com frequências de 17% em Setembro a 29% em Abril; de Outubro a Março os ventos com rumos de NNW a NNE são muito frequentes (de 35% em Março a 62% em Dezembro), sendo o rumo de NNW predominante nos meses de Novembro (21%) a Fevereiro (26%) com a frequência máxima em Dezembro (27%). Os rumos do vento de SSW a WSW são muito frequentes de Maio a Agosto (de 24% em Maio a 56% em Julho) sendo o rumo de SW predominante em Julho (26%) e o de SSW em Agosto (17%).

JANEIRO



JULHO

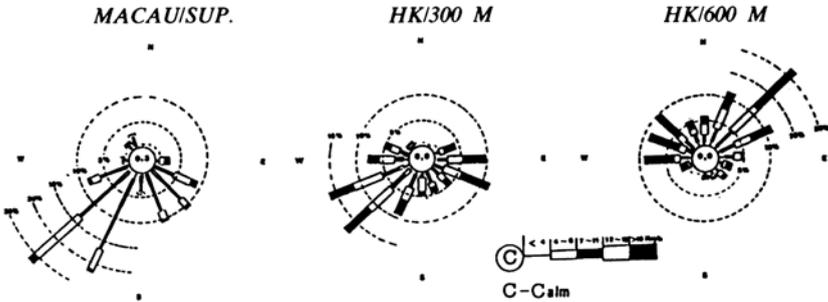


Figura 5

A velocidade média do vento tem pequena variação ao longo do ano, oscilando entre 10,3 km/h em Agosto e 13,5 km/h em Novembro; as velocidades médias são maiores com os ventos de N de Setembro a Junho (15 a 17 km/h) e são menores com os ventos de SW de Outubro a Dezembro (3 a 5 km/h), com o mínimo em Novembro, embora sejam muito pouco frequentes (0,5% a 1%). À superfície, em Macau, os ventos com velocidade inferior a 4 km/h apresentam frequências mensais que variam entre 2,7% (Novembro) e 5,9% (Agosto) e ocorrem associados a todos os rumos, enquanto os ventos mais fortes, isto é, com velocidade superior a 24 km/h, têm frequências mensais que variam entre 1,5% em Agosto e 8,4% em Dezembro, ocorrendo mais frequentemente associados aos rumos de NNW, N e NNE nos meses de Outubro a Março e aos rumos de ESE e E de Abril a Setembro.

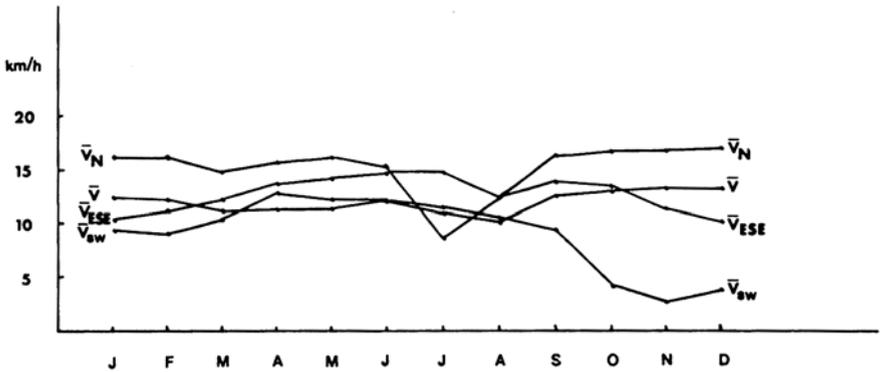


Figura 6

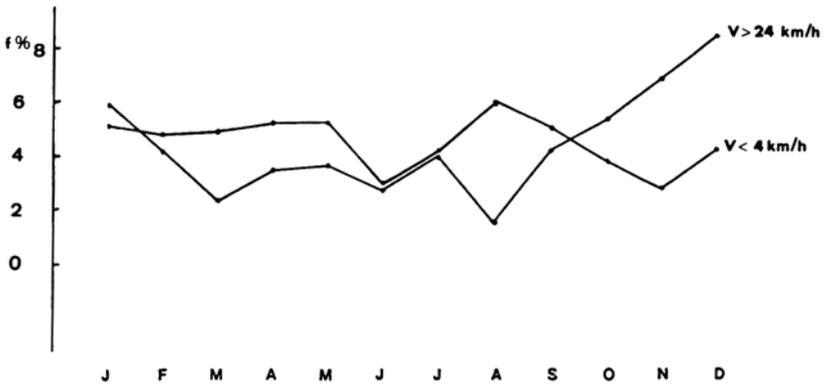


Figura 7

A variação ao longo do ano do regime do vento na baixa troposfera não é tão acentuada, predominando abaixo de 1 000 m os ventos de E e ESE com velocidades de 10 a 20 km/h nos meses de Agosto a Maio, enquanto nos meses de Junho e Julho predominam os ventos de SW e WSW com velocidades de 12 a 18 km/h.

Na camada 1 000 m/3 000 m a variação ao longo do ano é acentuada, predominando os ventos de SW, WSW e W com velocidades de 25 a 50 km/h nos meses de Dezembro a Julho e os de NE, ENE, E e ESE com velocidades de 20 a 40 km/h de Agosto a Novembro.

As condições de equilíbrio estático da baixa troposfera foram avaliadas pelo critério de Pasquill-Turner (1964) utilizando os resultados das observações meteorológicas de superfície executadas em Macau horariamente no período de 1979 a 1985, reconhecendo-se que na escala anual predominam as condições de equilíbrio indiferente (classe D) com a frequência de 57%, sendo as frequências das condições de instabilidade (classes A, B, C) e de estabilidade (classes E, F, G) respectivamente de 14% e 29%. A variação ao longo do ano das diferentes condições de

equilíbrio da baixa troposfera é acentuada, sendo máxima a frequência do equilíbrio indiferente (classe D) em Fevereiro e Março (82%) e mínima em Julho e Agosto (43%); inversamente, as condições de equilíbrio instável (A, B, C) são mais frequentes em Julho (22%) e têm a frequência mínima em Fevereiro (5%). As condições de equilíbrio estável (E, F, G) são mais frequentes em Dezembro (40%), embora as condições de estabilidade extrema (classe G) ocorram com maior frequência (8%) não só em Dezembro mas também em Outubro, e têm a menor frequência de ocorrência (12%) em Março.

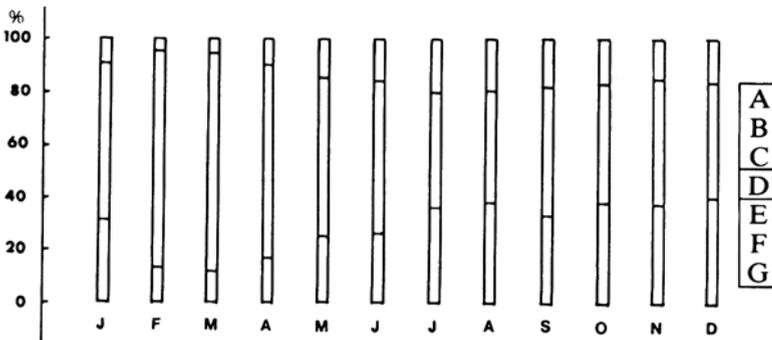


Figura 8

#### 4. REDE DE ESTAÇÕES DA POLUIÇÃO DO AR

A rede de estações e o programa de medição da concentração de poluentes do ar em Macau foram planeadas tendo em atenção os principais factores que condicionam a qualidade do ar, designadamente a localização e características das fontes poluentes, os factores fisiográficos e demográficos, a estrutura urbana e a influência dos factores meteorológicos com vista à caracterização da qualidade do ar no território de Macau nos termos das normas internacionalmente recomendadas.

A primeira fase da rede de estações foi implementada entre Setembro de 1987 e Março de 1988, com os seguintes programas de observações:

- a) 5 estações para a medição de 3 em 3 dias da concentração média em 24 horas de partículas em suspensão, das quais 3 permitem a medição da concentração de partículas inaláveis ( $d < 10 \mu\text{m}$ ) e não inaláveis ( $d > 10 \mu\text{m}$ ) equipadas com *high volume air samplers* e 2 estações para a medição de partículas totais em suspensão ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) com *high volume air samplers*.
- b) 3 estações para a medição diária da concentração média em 24 horas do dióxido de enxofre e dos fumos negros equipadas com *semi-automatic low volume air samplers*.
- c) 1 estação para a medição em contínuo da concentração do dióxido de enxofre, do monóxido de carbono e dos óxidos de azoto equipada com *automatic gas analyzers*.
- d) 4 estações para a medição da deposição total quinzenal e avaliação da sua composição, equipadas com *dust-fall buckets*.

Rede de estações e respectivos equipamentos

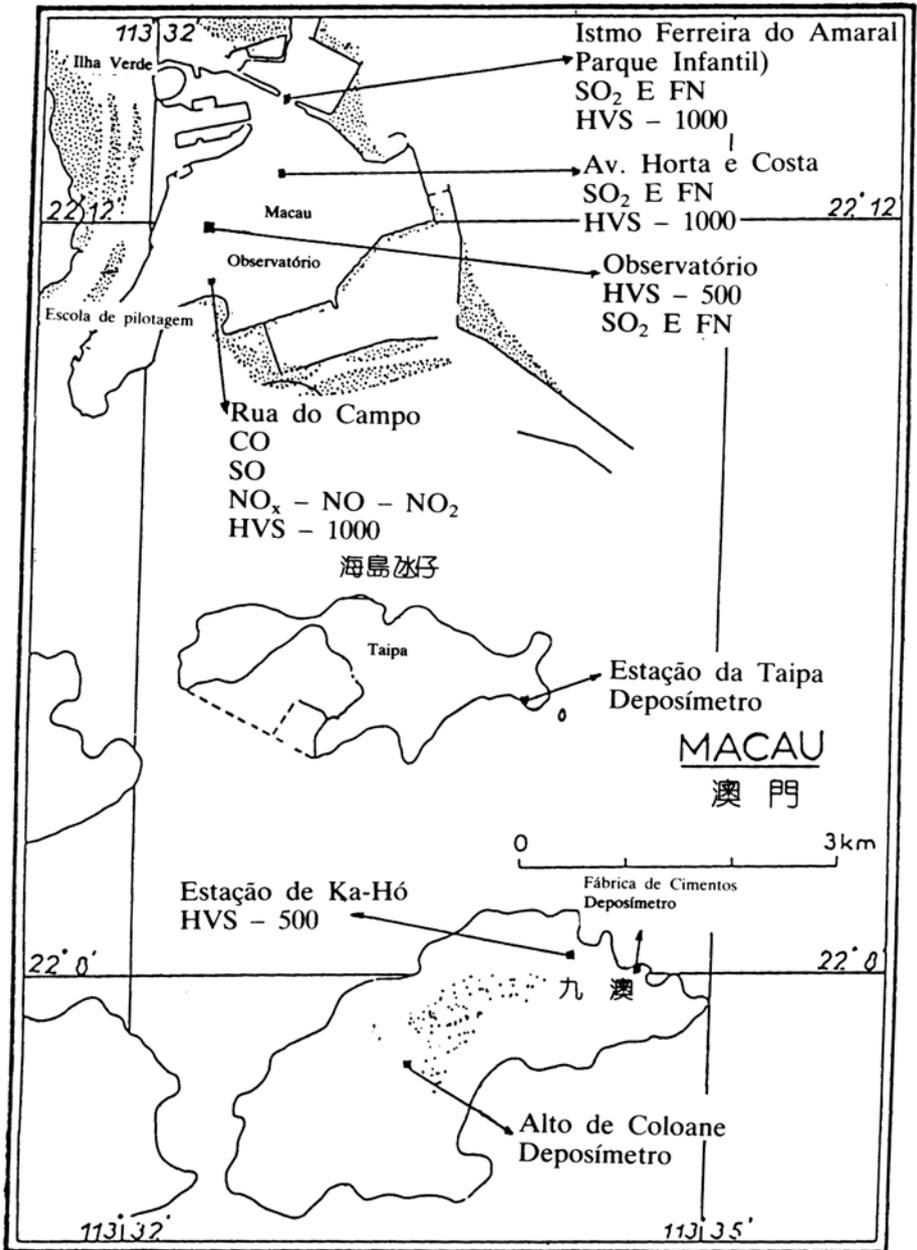


Figura 9

Na figura 9 apresenta-se a localização das diferentes estações de medição da poluição do ar no território de Macau, indicando-se as componentes que são medidas em cada local.

## 5. RESULTADOS PRELIMINARES DA QUALIDADE DO AR EM MACAU

A rede de avaliação e vigilância da poluição do ar no território de Macau é actualmente constituída por 5 estações de amostragem de partículas totais em suspensão ( $d < 100\mu\text{m}$ ) com *high volume samplers* de 3 em 3 dias, e 3 estações de amostragem de partículas inaláveis em suspensão ( $d < 10\mu\text{m}$ ) com *high volume samplers* de 3 em 3 dias, e ainda 3 estações de amostragem de fumos negros e também de dióxido de enxofre com *low volume samplers* diariamente durante 24 horas e 1 estação equipada com analisadores automáticos de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO-NO}_x$  e  $\text{CO}$ . No quadro n.º 1 apresentam-se as características dos locais onde as estações foram instaladas, assim como os tipos de equipamentos utilizados e os programas de amostragem.

A exploração do programa de amostragens implementado na primeira fase da rede de estações instaladas de Setembro de 1987 a Março de 1988 permite a apresentação dos resultados preliminares da qualidade do ar em Macau expressa em termos da concentração de partículas em suspensão na atmosfera à superfície, inaláveis ( $d < 10\mu\text{m}$ ) e totais ( $d < 100\mu\text{m}$ ), da concentração média em 24 horas do dióxido de enxofre e dos fumos negros em suspensão na atmosfera à superfície e da deposição total de partículas sedimentáveis, durante períodos inferiores a 1 ano.

Nas tábuas n.ºs 1 e 2 apresentam-se os valores médios e máximos disponíveis em cada mês respectivamente da concentração de partículas totais (PTS) e inaláveis (PIS) em suspensão na atmosfera à superfície em Macau e ainda o número de dias em cada mês em que valores críticos das concentrações foram ultrapassados no caso das partículas totais ( $260\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 24 h) e das partículas inaláveis ( $180\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 24 h).

Os resultados apresentados nas tábuas n.ºs 1 e 2 mostram claramente a variação anual acentuada da concentração de partículas em suspensão na atmosfera, com os maiores valores de Outubro a Abril e os máximos em Dezembro e Janeiro; por outro lado, as concentrações observadas nas estações localizadas em zonas de tráfego automóvel intenso e industriais (AP, HC) apresentam valores aumentados por um factor de 4 a 5, reconhecendo-se por isso a degradação causada na qualidade do ar pela circulação automóvel intensa; assim, nas estações AP e HC os valores críticos foram ultrapassados em 35% e 25% dos dias, respectivamente, no caso de PTS e em 40% e 45%, respectivamente, no caso de PIS.

Na tábua n.º 3 apresentam-se os valores médios e máximos em cada mês das concentrações de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e de fumos negros (FN) à superfície em 3 locais de Macau e ainda o número de dias em cada mês em que os valores críticos das concentrações foram ultrapassados no caso do dióxido de enxofre ( $260\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 24 h) e dos fumos negros ( $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Estes resultados mostram que a concentração de dióxido de enxofre apresenta valores médios mensais sempre abaixo de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , assim como os valores da concentração média foram sempre inferiores a  $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; poderá portanto estimar-se que as normas internacionalmente

## Rede de programa de avil ncia da do ar em Macau

**[QUADRO N. °1]**

Estações		Coloane		Macau			
		Ka-H6		Observ. (Obs)	Arcia Preta (AP)	Horta e Costa (HC)	R. Campo (RC)
Características dos locais		Rural <sup>a)</sup>	Colina (Topo), jardim	Plana, tráfego intenso, residencial, industrial	Plana, tráfego intenso, residencial, comercial	Plana, tráfego intenso, residencial, comercial	
Partículas suspensas	Total	Equip.	HVS	HVS	HVS	HVS	HVS
		Per. amost.	24h, 3d	24h, 3d	24h, 3d	24h, 3d	24h, 3d
	Inalável	Equip.	—	—	HVS	HVS	HVS
		Per. amost.	—	—	24h, 3d	24h, 3d	24h, 3d
Fumo negro SO <sub>2</sub>	Equip.	—	LVS	LVS	LVS	—	
	Per. Amost.	—	24h, diário	24h, diário	24h, diário	—	
CO NO-NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	Equip.	—	<sup>b)</sup>	—	—	Analizadores automáticos	
	Per. amost.	—	—	—	—	Contínuos	

*a) Cimenteira a 0,6 km para E  
Central eléctrica 0,4 km para NNW*

*HVS-High volume sampler  
LVS-Low volume sampler*

*b) SO<sub>2</sub>-Planeado*

aceites de 60 a  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  para concentração média anual não serão atingidas e que a concentração média diária de 250 a  $260\mu\text{g}/\text{m}^3$  só raramente será ultrapassada.

No que se refere a fumos negros, as suas concentrações médias mensais e diárias só num dos locais (Horta e Costa) ultrapassam frequentemente os valores-guia internacionalmente recomendados de 40 a  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  e de 100 a  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente.

Como conclusão preliminar poderá afirmar-se que a atmosfera à superfície em Macau se encontra moderadamente poluída com partículas em suspensão, na sua maioria transportadas do continente adjacente, embora na zona norte da cidade a atmosfera esteja em regra muito poluída com partículas em suspensão resultantes do intenso tráfego rodoviário e das deficientes condições de ventilação naquela área. No que se refere ao dióxido de enxofre poderá concluir-se que na generalidade a atmosfera em Macau não se encontra significativamente poluída.

Concentração de partículas totais ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) em suspensão na atmosfera à superfície em Macau

[TÁBUA N. 01]

Mês	Médias ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				Máximos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				Número de dias com concentrações diárias (24h)																
									$\geq 260 \mu\text{g}/\text{m}^3$				$\geq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$				$\geq 375 \mu\text{g}/\text{m}^3$								
	Coloane		Macau		Coloane		Macau		Coloane		Macau		Coloane		Macau										
Ka-H6	OBS	AP	HC	RC	Ka-H6	OBS	AP	HC	RC	Ka-H6	OBS	AP	HC	RC	Ka-H6	OBS	AP	HC	RC						
Setembro 1987	58	80	-	-	-	77	131	-	-	-	0	0	0	-	-	1	5	-	-	-	0	-	-	-	
Outubro 1987	74	81	-	-	-	122	152	-	-	-	0	0	0	-	-	4	5	-	-	-	0	0	-	-	
Novembro 1987	73	104	-	-	-	114	165	-	-	-	0	0	0	-	-	3	8	-	-	-	0	0	-	-	
Dezembro 1987	114	145	-	-	-	172	202	-	-	-	0	0	0	-	-	11	11	-	-	-	0	0	-	-	
Janeiro 1988	119	140	-	-	-	228	252	-	-	-	0	0	0	-	-	10	11	-	-	-	0	0	-	-	
Fevereiro 1988	93	122	-	-	-	139	207	-	-	-	0	0	0	-	-	6	8	-	-	-	0	0	-	-	
Março 1988	91	116	-	-	-	173	213	-	-	-	0	0	0	-	-	5	7	-	-	-	0	0	-	-	
Abril 1988	90	112	408	291	-	244	276	671	492	-	0	1	5	5	-	4	6	7	10	-	0	0	4	3	0
Mai 1988	48	52	220	236	75	107	87	383	377	179	0	0	3	2	0	3	2	11	11	5	0	0	1	1	0
Junho 1988	27	44	180	171	127	73	97	388	245	222	0	0	2	0	0	0	1	8	10	10	0	0	1	0	0
Julho 1988	24	41	229	236	131	60	63	460	506	176	0	0	3	2	0	0	0	9	10	10	0	0	1	1	0

Concentração de partículas inaláveis ( $d < 10 \mu m$ ) em suspensão na atmosfera à superfície em Macau

[TÁBUA N.º 2]

Mês	Médios ( $\mu g/m^3$ )				Máximos ( $\mu g/m^3$ )				Número de dias com concentrações diárias (24h)											
									$\geq 180$ ( $\mu g/m^3$ )				$\geq 75$ ( $\mu g/m^3$ )				$\geq 375$ ( $\mu g/m^3$ )			
	Macau				Macau				Macau				Macau				Macau			
	OBS	AP	HC	RC	OBS	AP	HC	RC	OBS	AP	HC	RC	OBS	AP	HC	RC	OBS	AP	HC	RC
Abril 1988	98	316	220	-	199	516	428	-	1	5	7	-	7	7	10	-	0	3	1	-
Mai 1988	-	161	187	55	-	294	336	142	-	4	4	0	-	11	11	3	-	0	0	0
Junho 1988	-	145	143	107	-	312	220	205	-	2	1	1	-	7	10	7	-	0	0	0
Julho 1988	-	192	207	112	-	401	476	153	-	4	6	0	-	9	10	10	-	1	1	0

concentração diária de dióxido de enxofre(SO<sub>2</sub>)e de fumos negros(FN)em Macau

[TÁBUA N<sup>o</sup>3]

Mês	Médios (µg/m <sup>3</sup> )						Máximos (µg/m <sup>3</sup> )						N.º de dias com concentração diária de SO <sub>2</sub> ≥ 260 µg/m <sup>3</sup> e FN ≥ 250 µg/m <sup>3</sup>					
	OBS		AP		HC		OBS		AP		HC		OBS		AP		HC	
	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN	SO <sub>2</sub>	FN
Março 1988	49	24	30	49	39	72	183	62	222	95	159	138	0	0	0	0	0	0
Abril 1988	33	33	32	72	45	94	184	77	221	121	212	163	0	0	0	0	0	0
Maio 1988	10	17	16	30	15	76	25	30	69	50	137	143	0	0	0	0	0	0
Junho 1988	19	14	36	34	21	83	64	32	198	59	76	156	0	0	0	0	0	0
Julho 1988	21	15	21	31	37	92	94	30	67	55	239	141	0	0	0	0	0	0