

# Observações da espessura óptica dos aerossóis nos Açores

## *Aerosol optical depth measurements in Azores*

Fernanda Carvalho<sup>(1)</sup>, Diamantino Henriques<sup>(1)</sup>, Paulo Fialho<sup>(2)</sup>, Vera Bettencourt<sup>(1)</sup>,

<sup>(1)</sup>Instituto de Meteorologia - Delegação Regional dos Açores, PT9500-321 Ponta Delgada, Portugal

<sup>(2)</sup> Universidade dos Açores, PT9701-851 Terra Chã, Portugal

### SUMMARY

*First results of aerosol optical depth measurements out with a Middleton SP02 sun photometer mounted on a sun tracker system (Kipp & Zonen 2AP) in Terceira Is. (Azores) are presented. SP01 and Cimel data from AERONET programme at Faial Is. are compared and analyzed with respect to weather conditions. These measurements are a part of the Portuguese Meteorological contribution for the development of a Global Station in the scope of the GAW/WMO programme in close cooperation with Azores University. The installation and operation of these instruments are partially funded by CLIMAAT (INTERREG IIIB - Project CLIMAAT – MAC 2.3/A3). Ground based measurements collected at Terceira Is. should be useful on long term referencing and assessing of the performance of space-borne instruments over North Atlantic Region.*

### Introdução

O aerossol atmosférico constitui um dos parâmetros chave para a compreensão das alterações climáticas.

O aerossol atmosférico é normalmente designado como o conjunto de partículas em suspensão na atmosfera com dimensões inferiores a 100  $\mu\text{m}$  e superiores às das maiores moléculas. Dependendo das suas dimensões e composição química, estas partículas podem atenuar significativamente a radiação solar que incide à superfície da Terra, perturbando o balanço radiativo e consequentemente o Clima. A maioria dos cenários de alterações climáticas não incluem, por exemplo, o efeito dos aerossóis emitidos por grandes erupções vulcânicas, que embora não possam ser previstas deverão certamente ocorrer no futuro próximo tal como no passado. De facto, as grandes erupções vulcânicas ocorridas no passado tiveram efeitos significativos e quase imediatos no Clima, mas poucos deles foram devidamente quantificados em virtude da ausência de medições do conteúdo de aerossóis na atmosfera. Actualmente é possível determinar o conteúdo de aerossóis na atmosfera através da sua espessura óptica. isto é, sem a interferência de nuvens, utilizando fotómetros solares com filtros especiais.

No âmbito do programa CLIMAAT (Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos) foi adquirido instalado um sistema para a monitorização automática da espessura óptica dos aerossóis, constituído por um fotómetro Middleton SP02 e um sistema de seguimento solar Kipp & Zonen 2AP. O SP02 é constituído por 4 filtros de

interferência com uma largura passa-banda de 10 nm centrados em: 412, 500, 675 e 862 nm. O sistema 2AP permite a orientação automática e contínua do SP01 com vista à medição em contínuo da irradiância solar directa .



Figura 1. Vista da instalação do *sun tracker* com os sensores de radiação (à direita) e do espectrofotómetro Brewer (à esquerda) no terraço do Observatório José Agostinho (Angra do Heroísmo).

O sistema, instalado no Observatório José Agostinho em Angra do Heroísmo (38°39'32" N, 27°13'23" W, 85 m), funciona de forma integrada com outros sistemas de radiação solar (Tabela I) e de observação meteorológica (Tabela II), cujos resultados da medição possibilitam uma caracterização detalhada das propriedades radiativas da atmosfera, no cumprimento das recomendações BSRN/GAW/WMO.

Neste trabalho apresentam-se os resultados correspondentes aos primeiros seis meses de funcionamento do sistema de observação.

### Cálculo da espessura óptica

Para um dado comprimento de onda, a espessura óptica dos aerossóis ( $\tau_{\text{aer}}$ ) é normalmente definida como a espessura óptica atmosférica ( $\tau_{\text{atm}}$ ) depois de removida a contribuição da absorção pelos gases ( $\tau_i$ ) e da difusão pelas moléculas de ar ( $\tau_R$ ):

$$\tau_{\text{aer}} = \tau_{\text{atm}} - \tau_R - \sum \tau_i \quad (1)$$

Grandeza	Instrumentação	Precisão
Irradiância Solar Directa	NIP Eppley	1% ou 2 Wm <sup>-2</sup>
Radiação Difusa	CM11 Kipp&Zonen	4% ou 5 Wm <sup>-2</sup>
Radiação Global	CM11 Kipp&Zonen	2% ou 5 Wm <sup>-2</sup>
Fluxos de Longo Comprimento de Onda	CG4 Kipp&Zonen	5% ou 10 Wm <sup>-2</sup>
Radiação UV	Brewer Mark II	10%
Ozono Total	Brewer Mark II	1%
Espessura Óptica do Aerossol Atmosférico	Middleton P02 (412, 500, 645, 862 nm)	
	CG2 Kipp&Zonen	
	Sci-Tec 2AP	
	DTK 500	

Tabela I  
Tabela II

Grandeza	Resolução	Precisão
Temperatura do Ar	0,1 °C	+/- 0,3°C
Temperatura do Ponto de Orvalho	0,1 °C	+/- 0,5°C
Temperatura do Solo	0,1 °C	+/- 0,3°C
Humidade Relativa	1%	+/- 7%
Velocidade do Vento	0,5 ms <sup>-1</sup>	+/- 5% ou 2 ms <sup>-1</sup>
Direcção do Vento	5°	+/- 10%
Precipitação Acumulada	0,2 mm	superior a +/- 2mm ou +/- 2% do total
Intensidade da Precipitação	0,2 mm h <sup>-1</sup>	superior a +/- 2mm h <sup>-1</sup> ou +/- 2% do total
Pressão Atmosférica	0,1 hPa	+/- 0,5 hPa

O *sun tracker* instalado no terraço do Observatório é controlado por um computador alojado num dos gabinetes do Observatório através de uma ligação série. A ligação série entre estes sistemas é efectuada a través de um *multiplexer* que recebe também as ligações série dos outros sistemas (Brewer e DT500).

Os sinais analógicos provenientes dos sensores colocados no *sun tracker* são integrados e adquiridos por um DTK500 à taxa de 5s. Deste modo, são arquivados os valores médios e desvios padrões para cada intervalo de 5s e para cada um dos canais (radiação global, radiação difusa, fluxo de longo comprimento de onda, temperatura interna do pirgeómetro, irradiância solar directa, e irradiâncias espectrais do fotómetro solar para 4 comprimentos de onda). O DTK500 assim como o *multiplexer* encontram-se alojados num compartimento à prova de água instalado no terraço, reduzindo assim o número de cabos que deveriam chegar ao computador de controle. Com esta configuração o sistema fica reduzido a um único computador de controle que comanda

Assim, a espessura óptica do aerossol para um comprimento de onda  $\lambda$  é classicamente obtida a partir da irradiância  $E_\lambda$  a qual é proporcional à leitura do fotómetro solar (a constante de proporcionalidade é determinada durante a calibração pelo método de Langley):

$$\tau_{a,\lambda} = -(1/m) \ln(E_\lambda / E_{0,\lambda}) - \tau_{R,\lambda} - \tau_{O,\lambda} \quad (2)$$

onde  $m$  é a massa óptica relativa do ar ( $m = \sec \theta$ ),  $E_{0,\lambda}$  é constante extraterrestre corrigida para a distância Sol-Terra actual,  $\tau_{R,\lambda}$  é a espessura óptica para a difusão de Rayleigh e  $\tau_{O,\lambda}$  é a espessura óptica para a absorção do ozono.

simultaneamente todos os sistemas instalados no terraço do Observatório (Brewer, *sun tracker* e DT500) e um *multiplexer*.

No processamento dos dados para o cálculo da espessura óptica dos aerossóis é verificada a hora da cada leitura por forma a aceitar apenas aquelas que foram obtidas durante o período diurno (ângulo zenital  $<90^\circ$ ). Posteriormente, a cada leitura do período diurno é subtraído um valor de fundo que corresponde ao valor médio das leituras registadas durante o período nocturno do próprio dia. Os resultados negativos são rejeitados. Seguidamente, é calculado a razão entre o desvio padrão e o valor médio em 5s a qual não deverá ultrapassar o limite 0,001 por forma a filtrar as leituras com elevado ruído de alta frequência correspondente a interferência das nuvens (*cloud screening*). Este limite foi encontrado após uma análise cuidada da distribuição desta razão para os 4 comprimentos de

onda em casos conhecidos de céu limpo e céu com nuvens.

## Resultados

Após a aplicação deste filtro (Figura 2), foram calculados os valores médios em 10 minutos da espessuras ópticas do aerossol utilizando a expressão (2) e os valores da quantidade total de ozono observados pelo espectrofotómetro Brewer (Figura 1) no instante mais próximo. Os resultados obtidos para o dia 11.08.2004 encontram-se representados no gráfico da figura 3a, assim como os valores obtidos com o fotómetro Cimel instalado no Observatório Príncipe de Mónaco na Horta (Faial) e pertencente a rede AERONET.

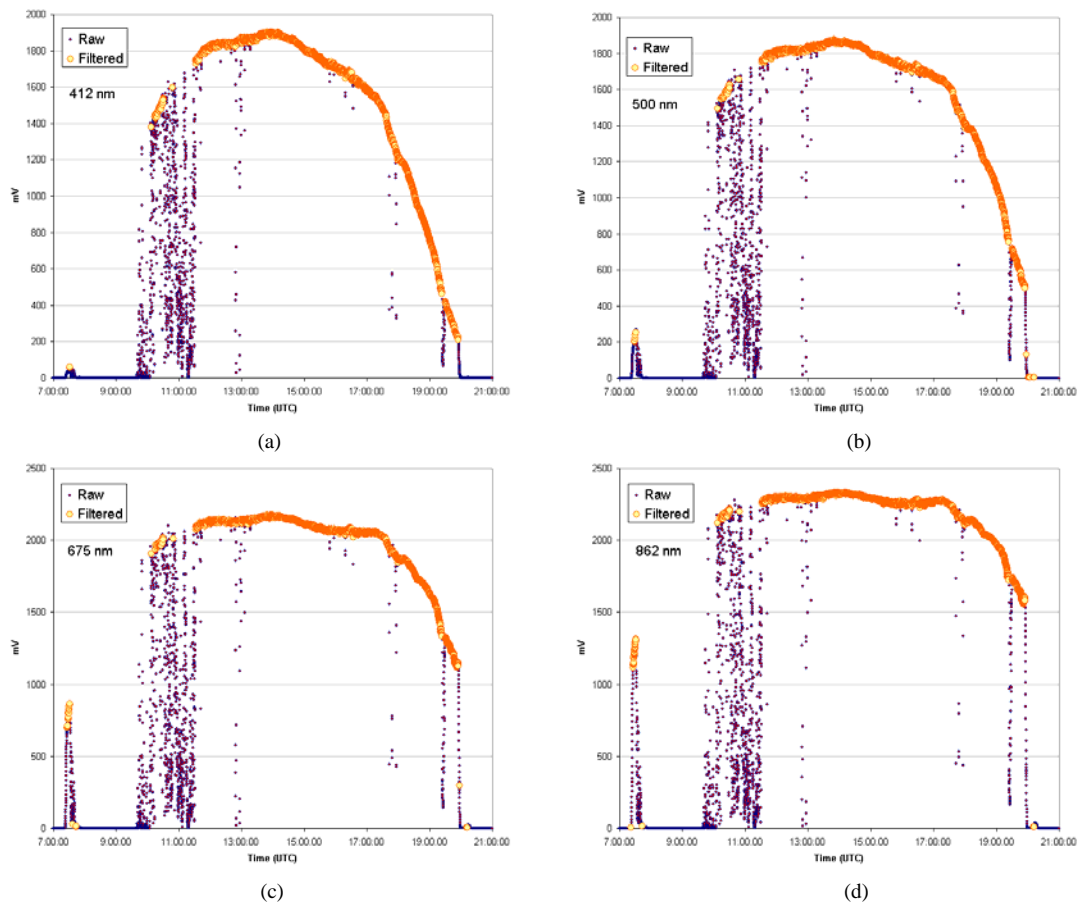


Figura 2. Registo dos sinais obtidos com o fotómetro solar para cada um dos quatro comprimentos de onda 412 nm (a), 500 nm (b), 675 nm (c) e 862 nm (d) no dia 11 de Agosto de 2004 antes e depois da aplicação do processamento “*cloud screening*”.

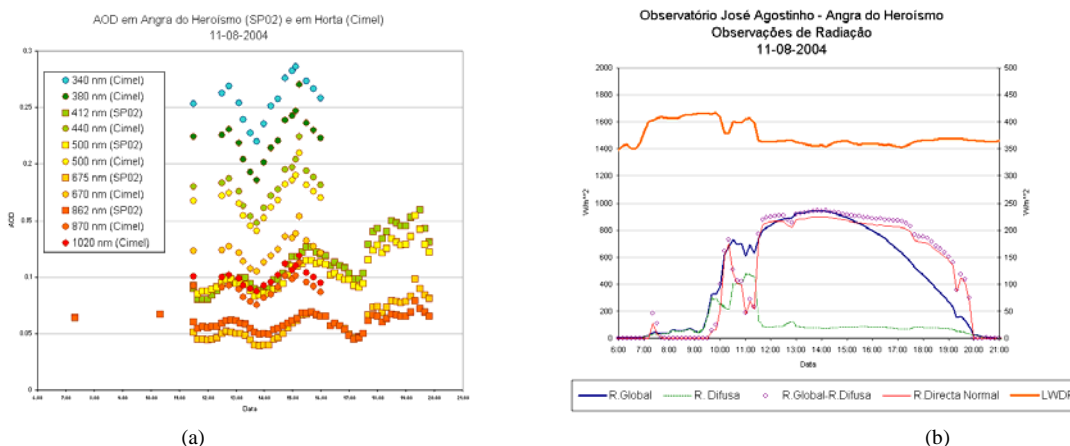


Figura 3. Valores observados no dia 11.08.2004 (a) Espessura óptica do aerossol obtida com os fotómetros SP02 (Angra do Heroísmo) e CIMEL (Horta) para vários comprimentos de onda e (b) Valores médios de 10 minutos de radiação global, difusa, global-difusa, directa normal e de longo comprimento de onda observada em Angra do Heroísmo.

Pode verificar-se que, para este dia, os valores observados pelo CIMEL sendo superiores aos observados pelo SP02 estão dentro do erro instrumental, uma vez que os valores de espessura óptica registados neste dia foram muito pequenos ( $< 0,5$ ). Em todo o caso, pode observar-se também uma concordância razoável entre as duas séries, provavelmente devido à ocorrência de pequenas diferenças de massas de ar que chegaram aos dois pontos em instantes ligeiramente desfasados. Pode então concluir-se que ambos os sistemas estão consistentes.

As leituras dos restantes sensores (radiação global, difusa, directa e de longo comprimento de onda) tiveram um processamento semelhante, isto é, foram integrados em intervalos de 10 minutos por forma a poderem ser comparados entre si. Na figura 3b encontram-se representados os restantes parâmetros da mesma data. Neste caso pode confirmar-se as condições de luz directa a partir de pouco antes das 12h00 TUC pela análise dos registos do pireliómetro de incidência normal (NIP) e da diferença entre a radiação global e difusa corrigida para uma incidência normal. Por outro lado, os registos da radiação difusa e da radiação de longo comprimento de onda (LWDR – Long Wave Downwelling Radiation) apresentam uma diminuição significativa a partir desse instante em resultado da diminuição da cobertura nebulosa no local. Estes resultados são obviamente consistentes com as leituras dos fotómetros apresentadas na figura 2.

### Conclusões

Um sistema de observação contínua e automática da espessura óptica dos aerossóis e da radiação

solar e atmosférica foi instalado e posto em funcionamento desde Junho de 2004 no Observatório José Agostinho em Angra do Heroísmo.

O sistema encontra-se integrado com um espectrofotómetro Brewer por forma a utilizar os valores da quantidade total de ozono observados e não estimados.

O sistema de aquisição de dados permite uma simplificação e optimização dos meios de medida e de cálculo disponíveis no Observatório.

Os resultados de espessura óptica dos aerossóis obtidos são coerentes entre si e consistentes com os obtidos pelo CIMEL da rede AERONET instalado na Horta.

Os resultados obtidos com este sistema permitirão conhecer melhor os vários factores envolvidos no balanço energético da atmosfera no local, assim como a monitorização a longo prazo da radiação solar e dos aerossóis com vista a detecção de alterações significativas na composição da atmosfera com impacto no Clima.

### Referências

- McArthur, L.J.B. Baseline Surface Radiation Network (BSRN) Operations Manual, WMO/TD 879 (1998).
- Sivkov, S.I., Computation of Solar Radiation Characteristics. IPST (1971).
- Carvalho, F.R.S. Modelo spectral simplificado de transferência radiativa em céu limpo para Portugal. Tese de Mestrado, FCUL (1998).
- Carvalho, F.R.S. A simplified spectral model for UVB radiation computations, *Chemistry and Radiation changes in the ozone layer, NATO ASI Series C*, vol. 557, Ed. Zerefos et al. (2000).