

Journal Club do LFA

André Cezar Pugliesi da Silva

**Departamento de Física Aplicada
Instituto de Física da USP (IFUSP)
andre.cezar.silva@usp.br**

Maio de 2019

Artigo (Atmospheric Research - 2017)

The thin border between cloud and aerosol: Sensitivity of several ground based observation techniques



Josep Calbó^{a,*}, Charles N. Long^{b,c}, Josep-Abel González^a, John Augustine^c, Allison McComiskey^c

^a *Departament de Física, Universitat de Girona, Girona, Spain*

^b *Cooperative Institute for Research in the Environmental Sciences, University of Colorado Boulder, CO, USA*

^c *National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, Boulder, CO, USA*

A B S T R A C T

Cloud and aerosol are two manifestations of what it is essentially the same physical phenomenon: a suspension of particles in the air. The differences between the two come from the different composition (e.g., much higher amount of condensed water in particles constituting a cloud) and/or particle size, and also from the different number of such particles (10–10,000 particles per cubic centimeter depending on conditions). However, there exist situations in which the distinction is far from obvious, and even when broken or scattered clouds are present in the sky, the borders between cloud/not cloud are not always well defined, a transition area that has been coined as the “twilight zone”. The current paper presents a discussion on the definition of cloud and aerosol, the need for distinguishing or for considering the continuum between the two, and suggests a quantification of the importance and frequency of such ambiguous situations, founded on several ground-based observing techniques. Specifically, sensitivity analyses are applied on sky camera images and broadband and spectral radiometric measurements taken at Girona (Spain) and Boulder (Co, USA). Results indicate that, at these sites, in more than 5% of the daytime hours the sky may be considered cloudless (but containing aerosols) or cloudy (with some kind of optically thin clouds) depending on the observing system and the thresholds applied. Similarly, at least 10% of the time the extension of scattered or broken clouds into clear areas is problematic to establish, and depends on where the limit is put between cloud and aerosol. These findings are relevant to both technical approaches for cloud screening and sky cover categorization algorithms and radiative transfer studies, given the different effect of clouds and aerosols (and the different treatment in models) on the Earth's radiation balance.

Sumário

- 1) Introdução (Revisão Bibliográfica)
- 2) Instrumentação e medidas
- 3) Métodos, procedimentos e algoritmos utilizados
- 4) Resultados:
 - 4.a) Detecção de céu limpo e estimativa da cobertura de nuvens (fluxo radiativo)
 - 4.b) Remoção de nuvens e estimativas de OD e AE
 - 4.c) Imagens obtidas pelas câmeras
- 5) Conclusões

Introdução

- Meteoros: Nuvens (+ água; + perceptíveis), Aerossóis (- água líquida, - perceptíveis) e partículas precipitantes (chuva, granizo, neve);
- Nuvens: quantidade de água nos hidrometeoros; delimitação (bordas) e visibilidade (olho humano ou instrumentos ópticos);
- Classificação com o uso de instrumentos automatizados: Nuvens, Aerossóis e Céu limpo;
- Limites (*thresholds*) para separar pixels ("limpo"/"nublado"/aerossóis) → decisão subjetiva.
- Situações onde é difícil separar → consequências em estudos de meteorologia e clima.

Introdução

- Charlson et al. (2007), Koren et al. (2007): *continuum (twilight zone)*;
- Bar-Or et al. (2010): campo de nuvens (> 97% em área) = nuvens detectáveis (53%) + *twilight zone* (47%);
- Ten Hoeve & Augustine (2016): AOD aumenta no entorno das nuvens;
- Objetivo: Quantificar importância e ocorrência de **situações onde a classificação (céu limpo/aerossóis/nuvens) depende de definição subjetiva.**

Instrumentação

- Espanha (Girona: $41^{\circ}58'N$, $2^{\circ}50'E$, 110 m asl) e EUA (NOAA *Table Mountain*: $40^{\circ}7'N$, $105^{\circ}14'W$, 1689 m asl);
- Girona: Perto do mar; Aerossóis marítimos e poeira do Saara;
- *Table Mountain*: Milhares de km da costa; Poeira continental e fumaça de queimadas;
- Piranômetros, Pireliômetros e Pirgeômetros: Irradiâncias (F) solar global, direta e difusa;
- Radiômetros MFRSR: OD em 400, 500, 615, 670, 870 e 940 nm; *Angstrom Exponent* (AE);
- CCD (Girona) e Câmera TSI (EUA): Visão 180° com aparato para bloquear o disco solar;
- Medidas em 2014.

Técnica RadFlux: identificação de céu limpo e fsc

- 1º passo: Identificar céu limpo → F global deve ter pouca variabilidade e estar entre certos limites. F difusa deve ser menor que um limite;
- 2º passo: Estimar fsc (fração de cobertura do céu diurno) → de acordo com as diferenças entre as F difusas medida e estimada do céu limpo;
- Limite + importante: F difusa máxima admissível para céu limpo (**Max_Diff**) < **limite**;
- Long & Ackerman (2000): Entre 120 e 150 W/m² para céu limpo.

MFRSR: identificação dos aerossóis

- 2 filtros aplicados em janelas de tempo (*time window*), cada filtro com 2 *thresholds*;
- 1º filtro: Se $\left\{ \begin{array}{l} \text{Todos } OD_n - OD_{n-1} < \text{limite} \\ \text{Range na janela} = (OD_{\max} - OD_{\min}) < \text{limite} \end{array} \right. \rightarrow \text{Passa}$
- 2º filtro: Se $\left\{ \begin{array}{l} |\text{Max}(OD_n - OD_{n-1})| < \text{fração OD estimado no pto. médio da janela} \\ \text{Range} < \text{outra fração OD estimado no pto. médio da janela} \end{array} \right. \rightarrow \text{Passa}$
- Michalsky et al. (2010): 0.02; 0.03; 10% e 20%, respectivamente.
- Dados “bons”: Aerossóis e OD \rightarrow AOD;
- Dados “ruins”: Autores assumem presença de algum “tipo” de nuvem.

CCD e TSI: identificação das nuvens

- CCD: Inspeção visual identifica imagens onde a distinção entre aerossóis e nuvens não é clara.

- TSI: Razão R/B . Se $R \approx B \rightarrow R/B \approx 1 \rightarrow$ Presença de Nuvens.
 $B > R \rightarrow R/B \approx 0 \rightarrow$ Céu limpo.

- Limite *default* TSI: Processamento digital usa $R/B = 0.3 \rightarrow$ separa céu claro de nuvem fina/tênue.

Resultados (RadFlux)

Max_Diff < 100 W/m² (+ rigoroso) ou < 200 W/m² →
Quanto maior, mais “branco” pode ser o céu limpo

Table 1

Summary of radiation flux analysis results for Girona and Boulder (Table Mountain), year 2014, when using two different thresholds for Max_Diff.

Max_Diff	Girona		Table Mountain	
	100 W m ⁻²	200 W m ⁻²	100 W m ⁻²	180 W m ⁻²
Minutes analyzed		220,658		214,616
Clear-sky minutes	25,998	36,988	33,813	49,587
Average fractional cloud cover, <i>fsc</i>	0.555	0.532	0.560	0.538
Average <i>fsc</i> for non-cloudless and non-overcast cases	0.430	0.386	0.441	0.395

Diferença de 10990 (15774) min. → 5% (7.5%) do tempo total pode ou não ser céu limpo, depende do limite.

Diferença de 0.044 (0.046) no *fsc* médio p/ casos de interesse.

Resultados (RadFlux)

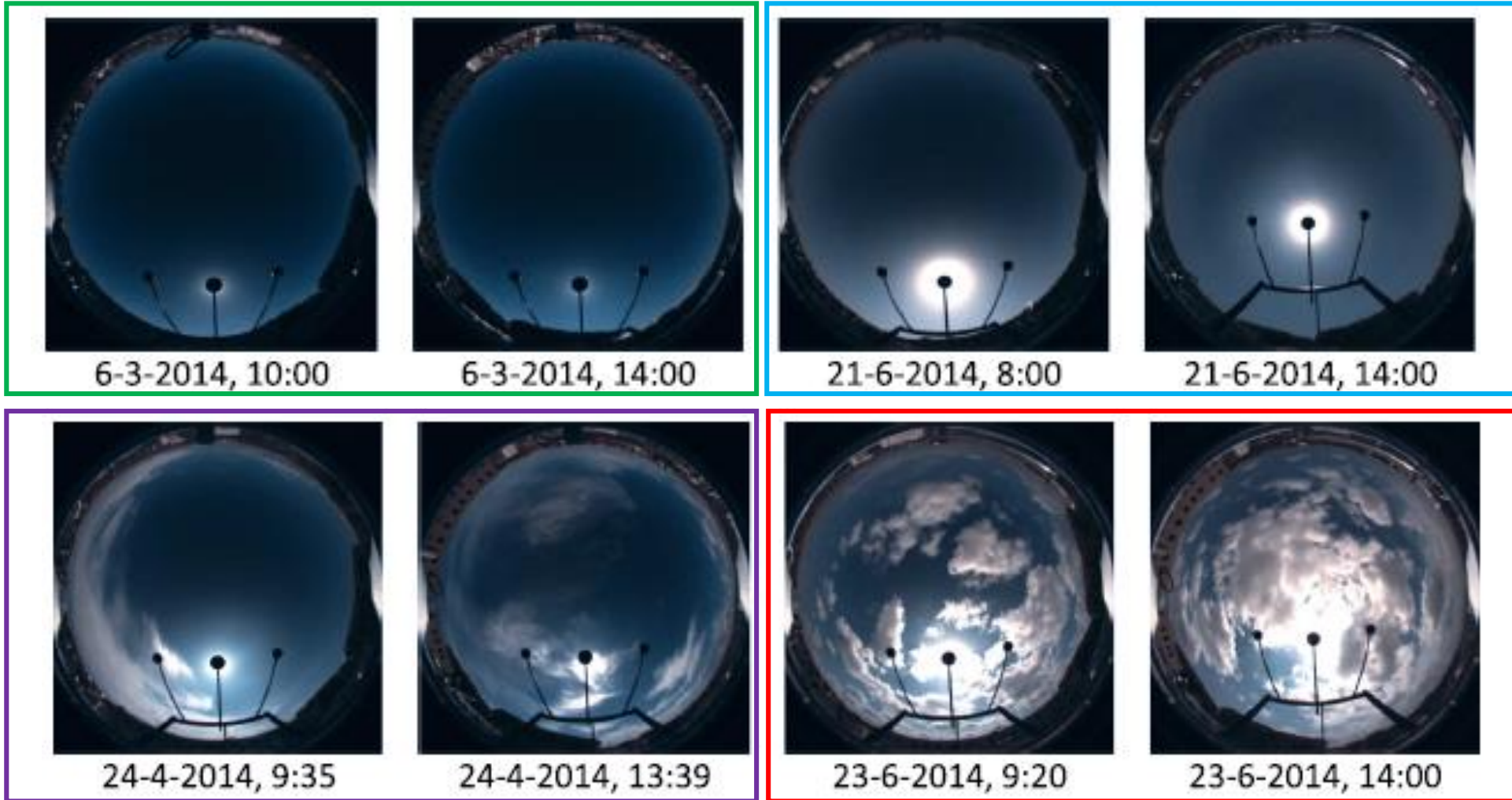
Table 2

Average differences between the estimated fractional sky cover ($\Delta_{fsc} = fsc_{100} - fsc_{200}$) when using the two different Max_Diff thresholds for clear sky identification, only for the non-cloudless and non-overcast cases.

	Girona		Table Mountain	
	Number of minutes	$\langle \Delta_{fsc} \rangle$	Number of minutes	$\langle \Delta_{fsc} \rangle$
$\Delta_{fsc} > 0.05$	35,906	0.11	36,626	0.11
$\Delta_{fsc} > 0.10$	15,158	0.16	16,905	0.15
$\Delta_{fsc} > 0.20$	2765	0.29	1574	0.24
$\Delta_{fsc} > 0.30$	757	0.41	106	0.36
Total with $fsc_{200} \leq 0.95$ and $fsc_{100} \geq 0.05$	107,281		102,737	

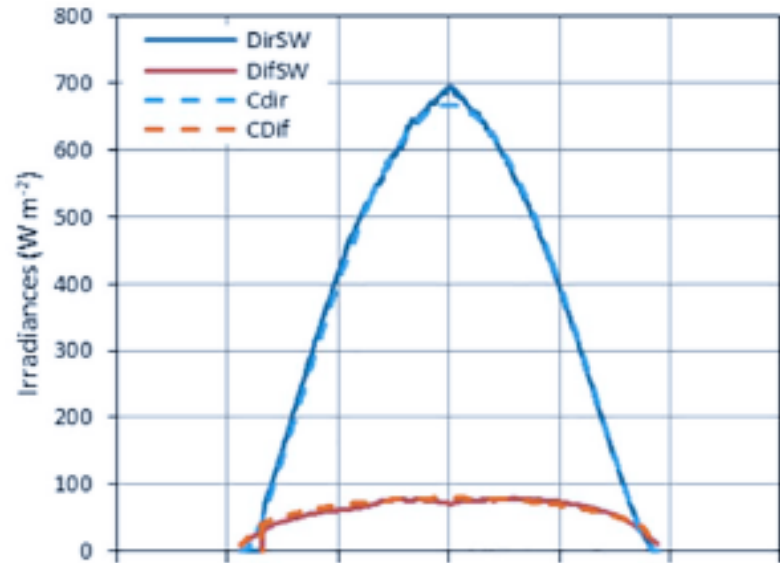
Em ~ 14% (17%) dos casos de interesse a diferença média de fsc ($\langle \Delta_{fsc} \rangle$) está entre 15% e 20%.

Resultados (RadFlux + MFRSR)

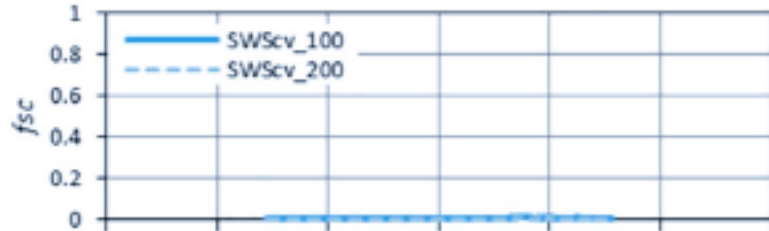


Resultados (RadFlux + MFRSR)

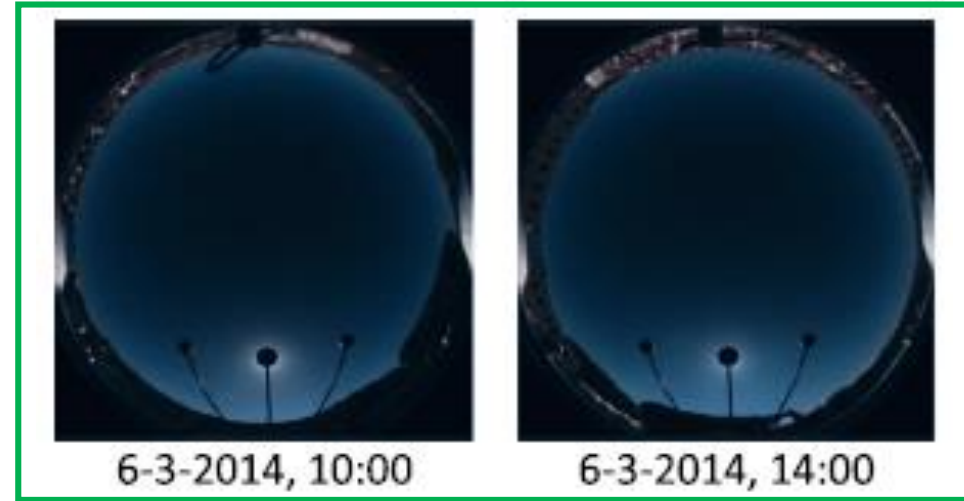
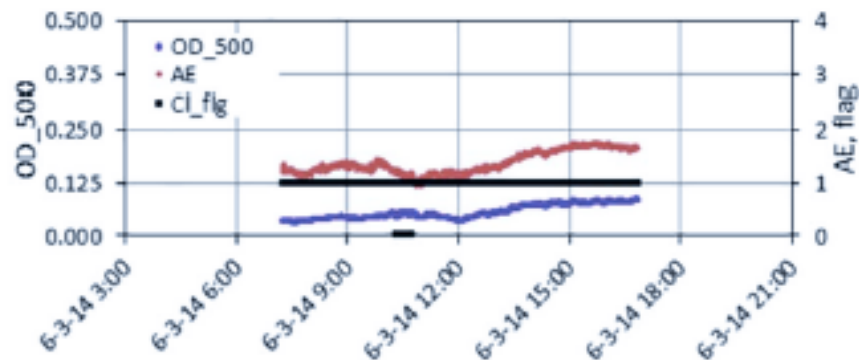
$F_{dir.}$ e
 $F_{dif.}$



fsc



OD, AE
e flag

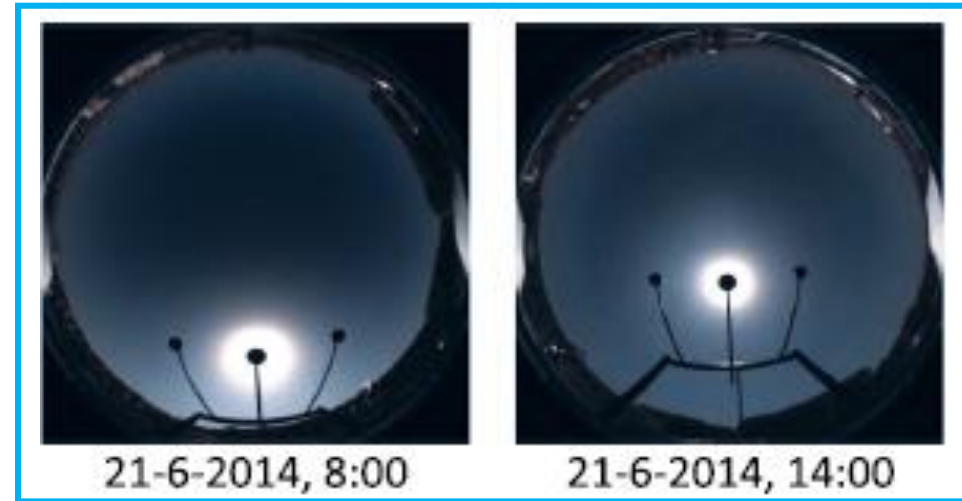
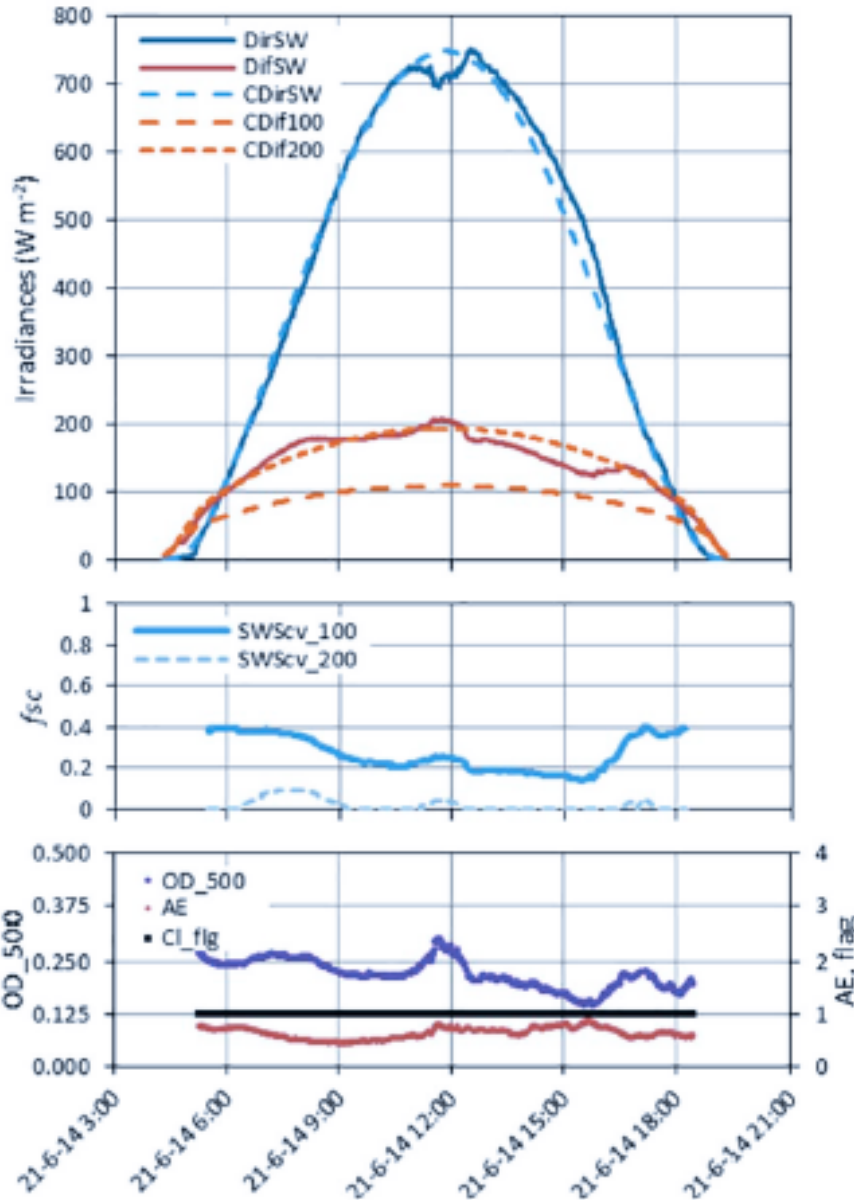


1) F direta e difusa quase concordam com as estimativas (para os dois limites de Max_Diff) de céu limpo

2) fsc = 0 para os dois *thresholds*

3) MFRSR: Todos os minutos “bons” (sem nuvens) e AE alto → partículas pequenas

Resultados (RadFlux + MFRSR)



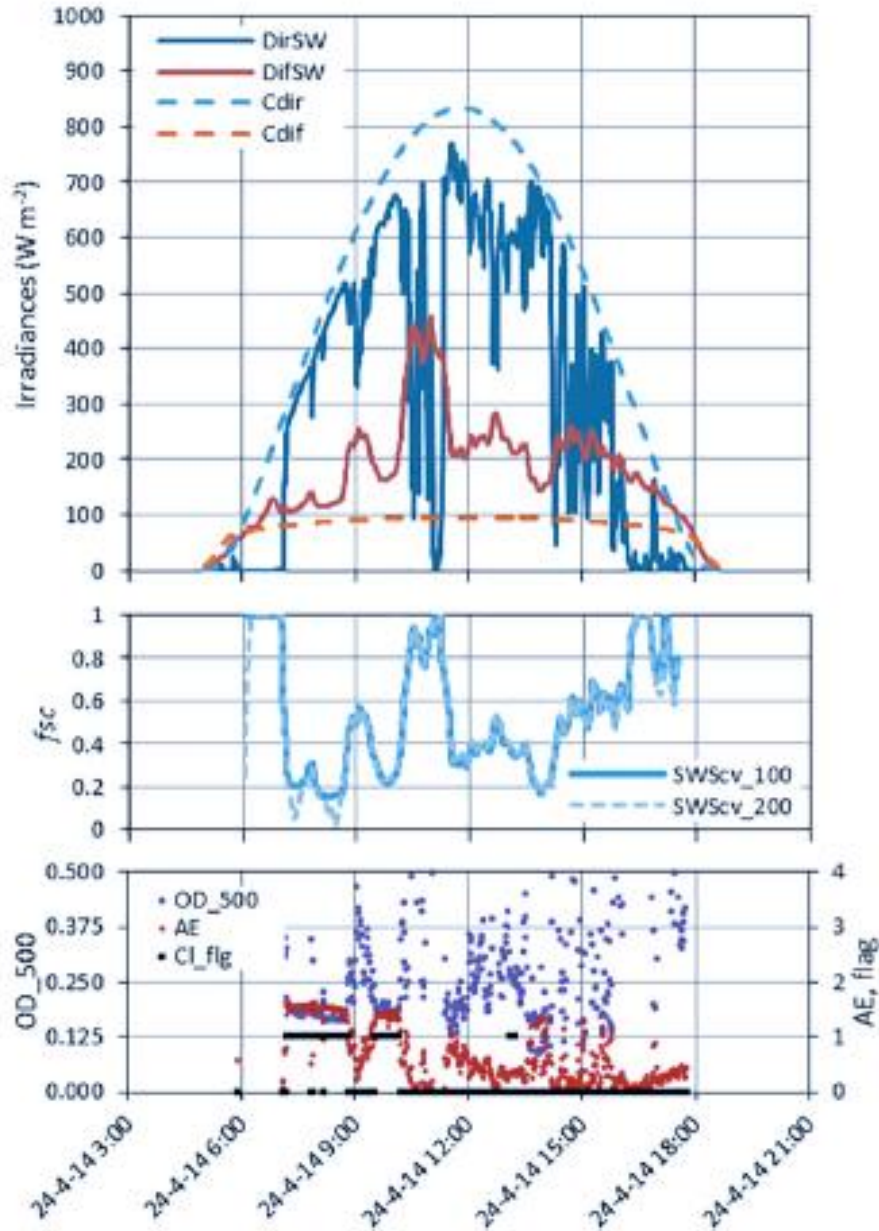
1) F difusa concorda melhor para estimativa obtida com $Max_Diff < 200\ W/m^2$.

2) f_{sc} entre 20% e 40% para $Max_Diff < 100\ W/m^2$ (mas sem nuvens "visíveis"...))

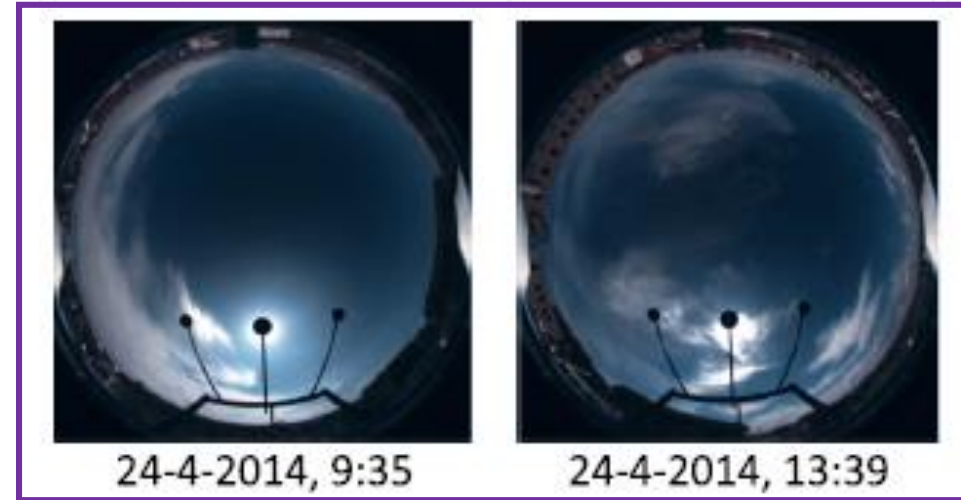
3) MFRSR: Todos "bons", OD é alto e AE é baixo \rightarrow aerossóis grandes e/ou hidratados

OD, AE
e flag

Resultados (RadFlux + MFRSR)

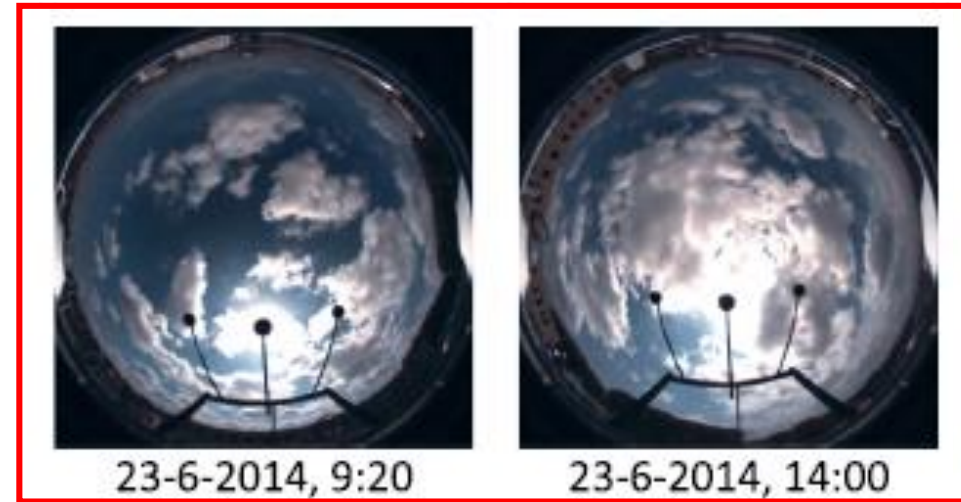
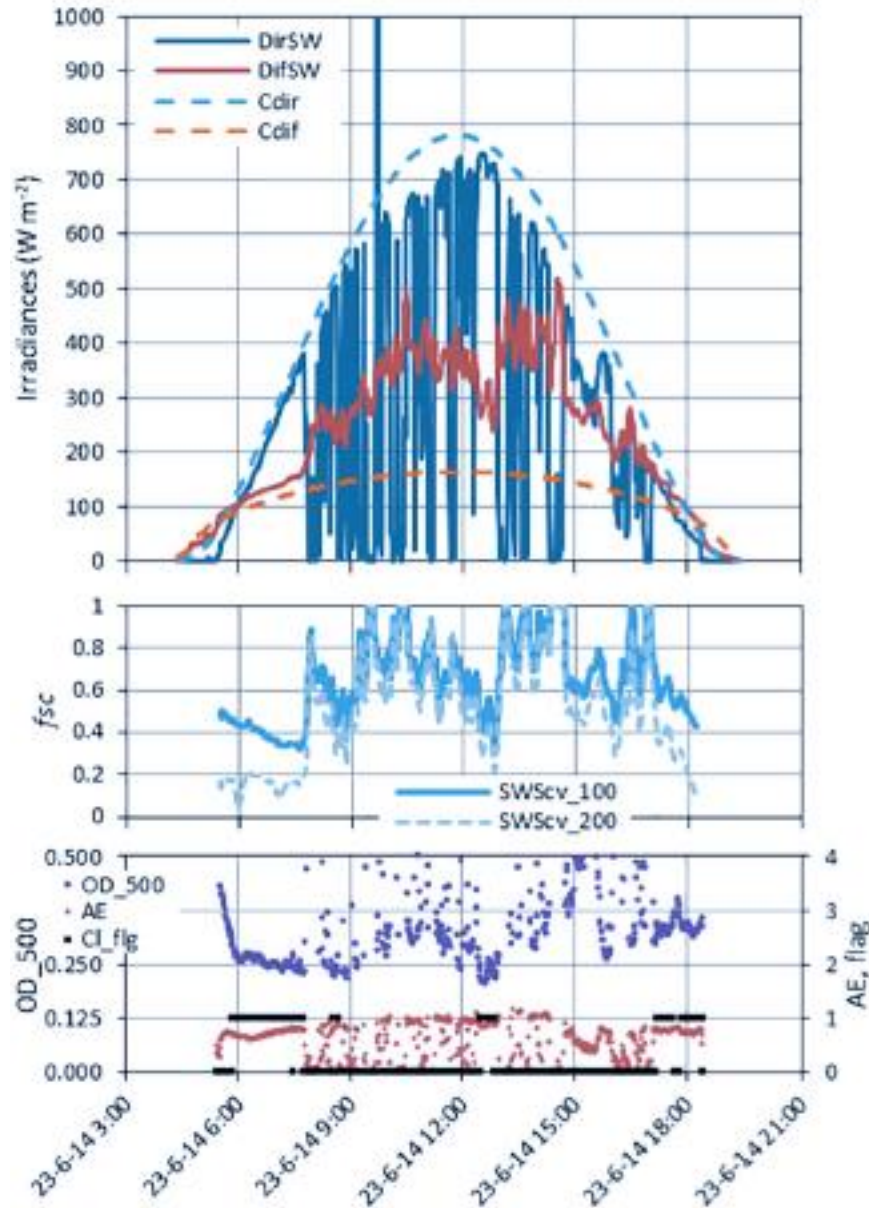


OD, AE
e flag



- 1) F (medida e RadFlux) não concordam entre si
- 2) f_{sc} é praticamente igual para os 2 limites de Max_Diff
- 3) MFRSR: Nos casos "bons", AE é alto e OD é baixo \rightarrow poucos e pequenos aerossóis

Resultados (RadFlux + MFRSR)



1) F (medida e RadFlux) não concordam entre si

2) f_{sc} é diferente para os 2 limites de Max_Diff

3) MFRSR: AE baixo e OD alto → partículas (hidrometeoros?) grandes

OD, AE
e flag

Resultados (Processados MFRSR)

Table 3
Sensitivity analysis of the cloud screening procedure applied to MFRSR measurements. See Michalsky et al. (2010) for details on the method. Total number of points scrutinized, 208,259 (Girona), 451,793 (Table Mountain).

		Thresholds applied					<u>Number of cases passing the screening</u>	
	Time window (min)	Maximum difference	Maximum range	Maximum relative difference	Maximum relative range	Girona	Table Mountain	
Default	10	0.02	0.03	10%	20%	86,701	125,084	
1	5	0.02	0.03	10%	20%	103,615		
2	15	0.02	0.03	10%	20%	75,143		
3	10	0.01	0.02	10%	20%	78,604		
4	10	0.03	0.05	10%	20%	90,782		
5	10	0.02	0.03	5%	10%	52,801		
6	10	0.02	0.03	20%	40%	98,146		
Relaxed	5	0.03	0.05	20%	40%	- 120,221	- 209,847	
Strict	15	0.01	0.02	5%	10%	- 38,971	- 37,184	

Time window: Período no qual a variabilidade do OD é considerada

Menor *time window* e maior diferença e *range* → filtro + “relaxado”

Maior *time window* e menor diferença e *range* → filtro + restritivo

81250
(19%)

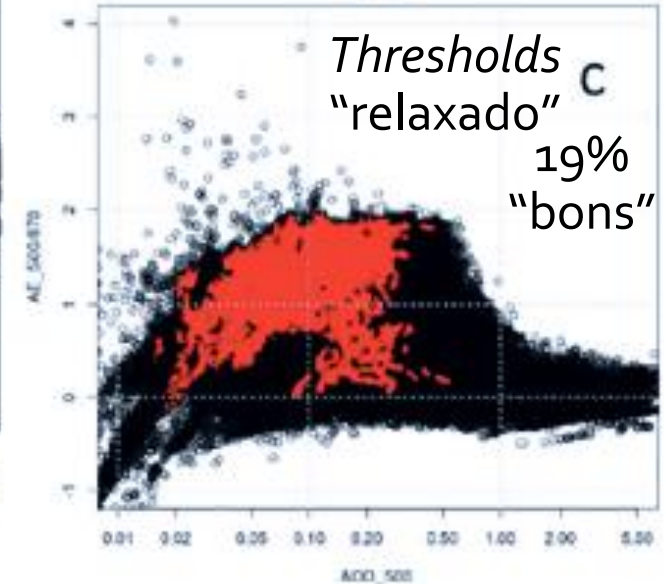
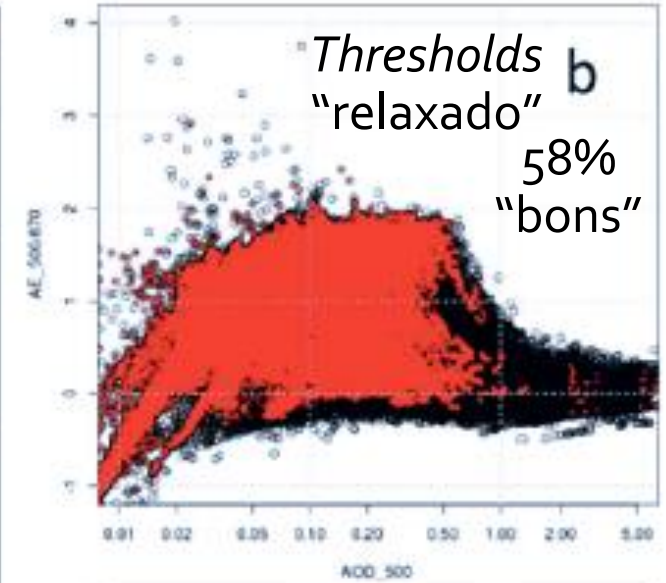
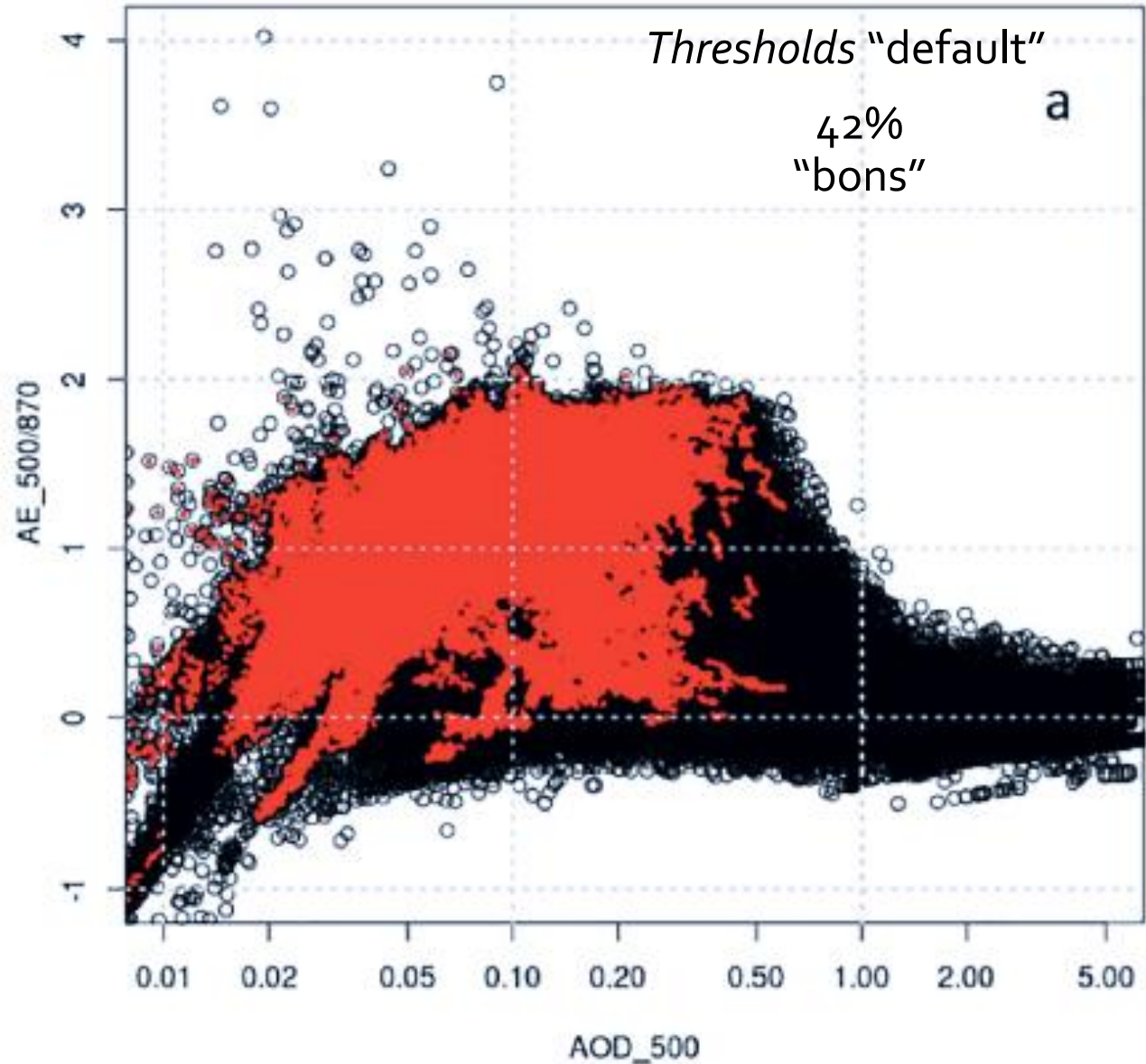
172663
(28%)



Twilight zone

Resultados (Processados MFRSR)

● Pontos "bons" = OD calculado é de aerossóis



Resultados (Processados MFRSR)

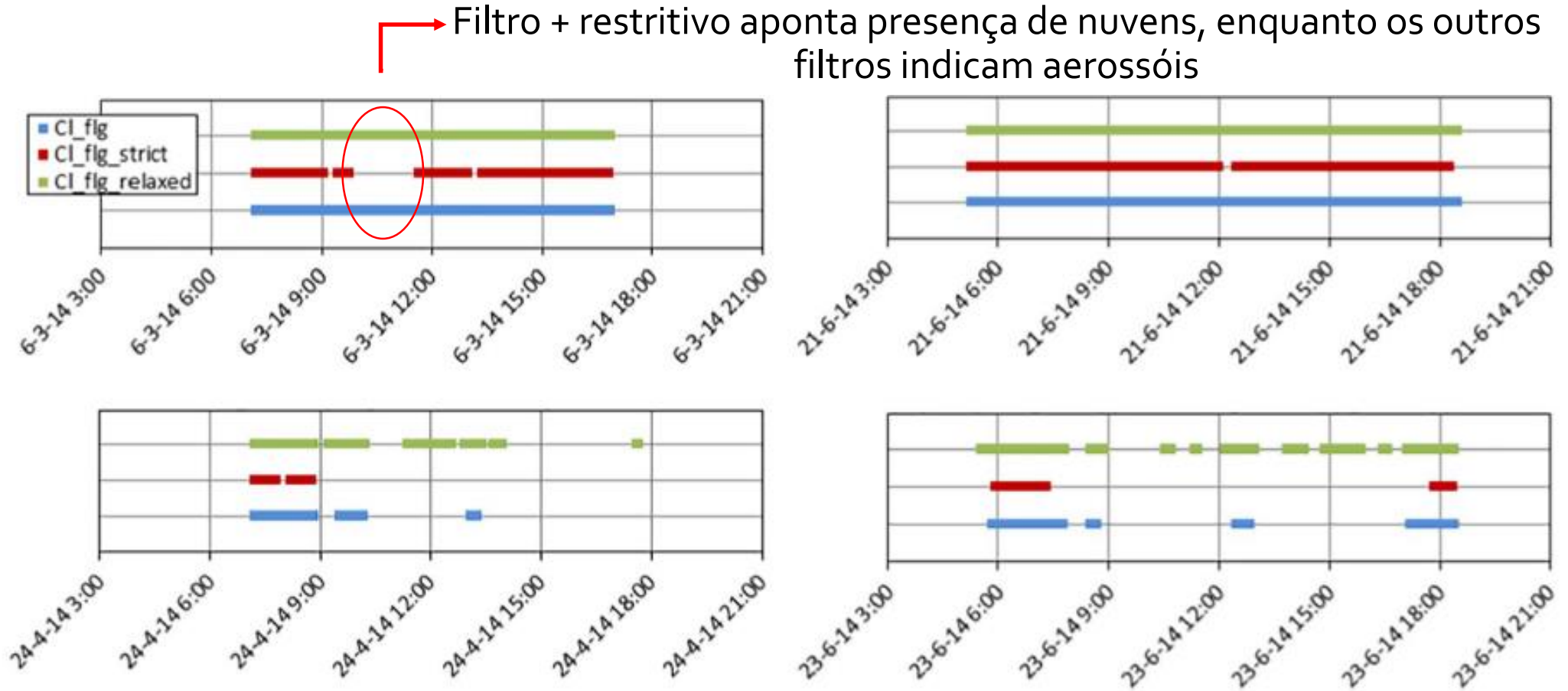


Fig. 7. For the four days presented in Figs. 2 and 4, periods that are considered “aerosols” by the “default” (blue), “strict” (red), and “relaxed” (green) MFRSR cloud screening. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

AE e OD não ajudam muito na separação entre aerossóis e nuvens

Resultados (Processados MFRSR)

Frequência relativa de pontos classificados (aerossol, nuvem, *twilight*) em função de OD e AE e usando o filtro mais restritivo

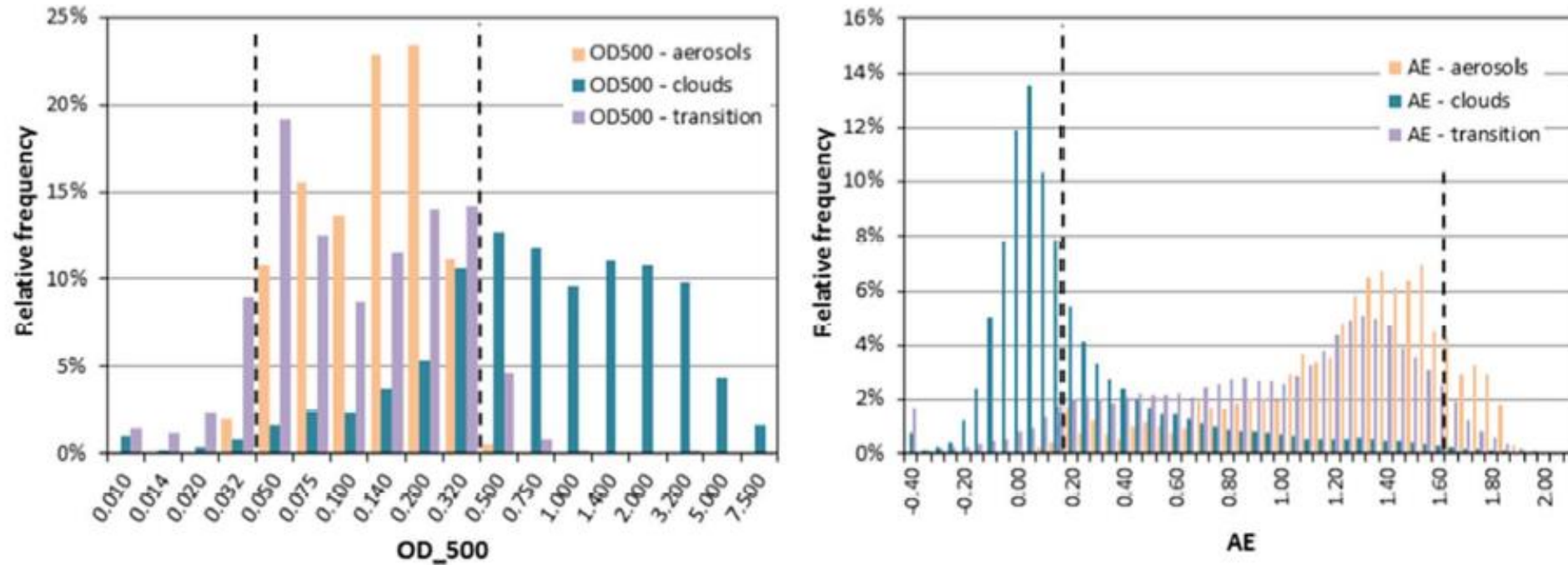


Fig. 8. Distribution of the points considered aerosols (38,971 points, orange bars), clouds (88,038 points, blue bars), and “transition” (81,250 points, purple bars) across the range of OD values (left) and AE values (right), after applying the MFRSR cloud screening algorithm with different thresholds. It should be noted that “clouds” refers to instances that have not passed the screening by the MFRSR. Dashed lines indicate the (approximate) percentiles 1 and 99 of the “clouds” and “aerosols” distributions. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Pontos dentro dos intervalos destacados: zona de transição → 28% (14,5% para *Table Mountain*) dos processados pelo MFRSR

Resultados (Câmeras)

Frequência das diferenças de fsc das nuvens tênues (fsc calculadas com o uso dos diferentes limites R/B)

Table 4

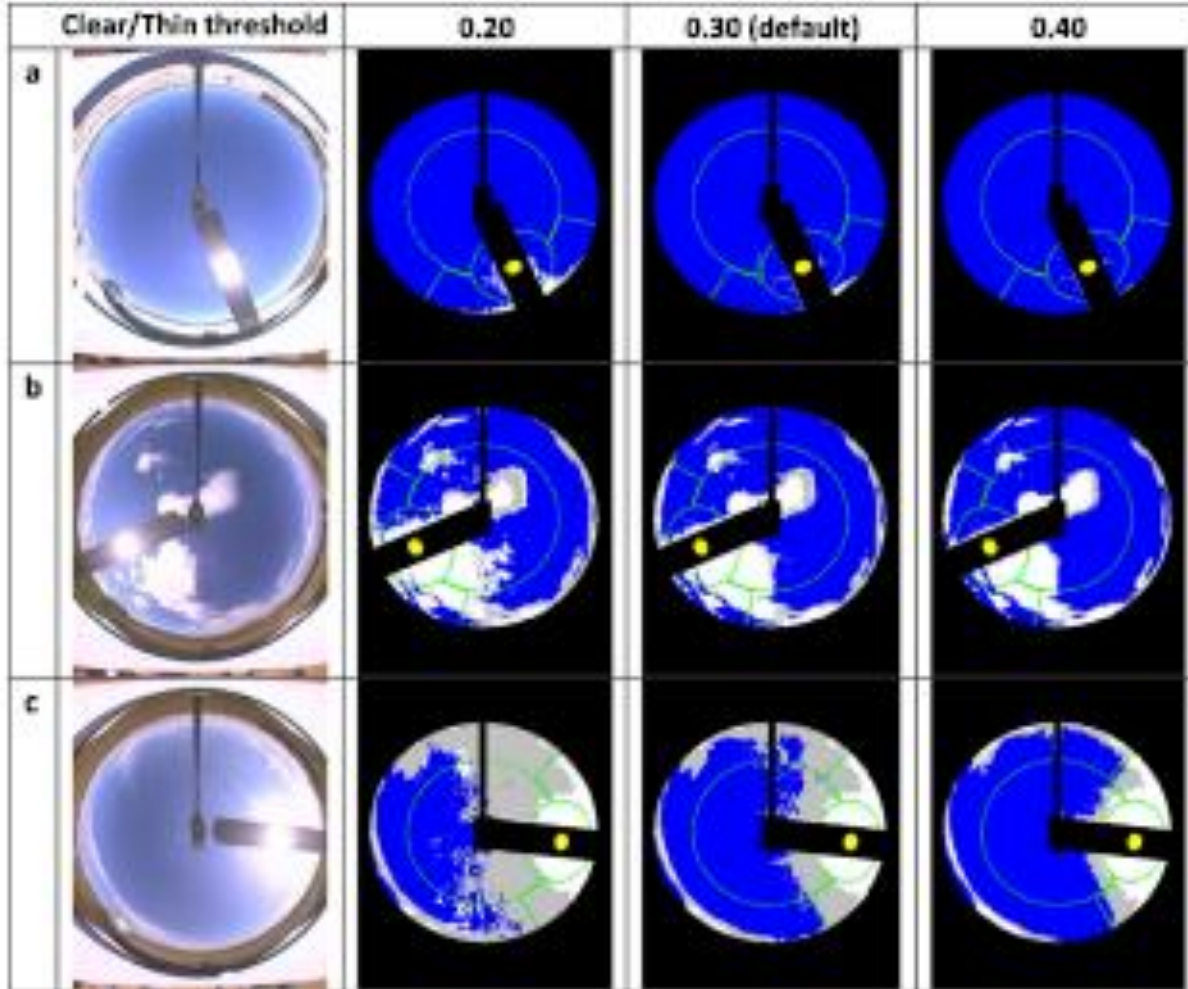
Frequency of differences in the thin cloud fraction when two different thresholds are applied in the TSI image processing (instead of the default value of 0.30) for several values of the differences.

Range of differences	Threshold applied	
	0.20	0.40
≤ -0.30	0.0%	1.0%
$(-0.30, -0.20]$	0.0%	2.8%
$(-0.20, -0.10]$	0.0%	14.6%
$(-0.10, -0.05]$	0.0%	29.3%
$(-0.05, 0)$	0.0%	38.7%
$= 0$	6.2%	13.6%
$(0, 0.05)$	36.3%	0.0%
$[0.05, 0.10)$	35.7%	0.0%
$[0.10, 0.20)$	16.9%	0.0%
$[0.20, 0.30)$	4.3%	0.0%
≥ 0.30	0.7%	0.0%

Em 78.2% das imagens a fsc aumenta em até 10% quando é usado o limiar menor (para todos os casos).

Em 81.6% das imagens a fsc diminui em até 10% quando é usado o limiar maior (para todos os casos).

Resultados (Câmeras)

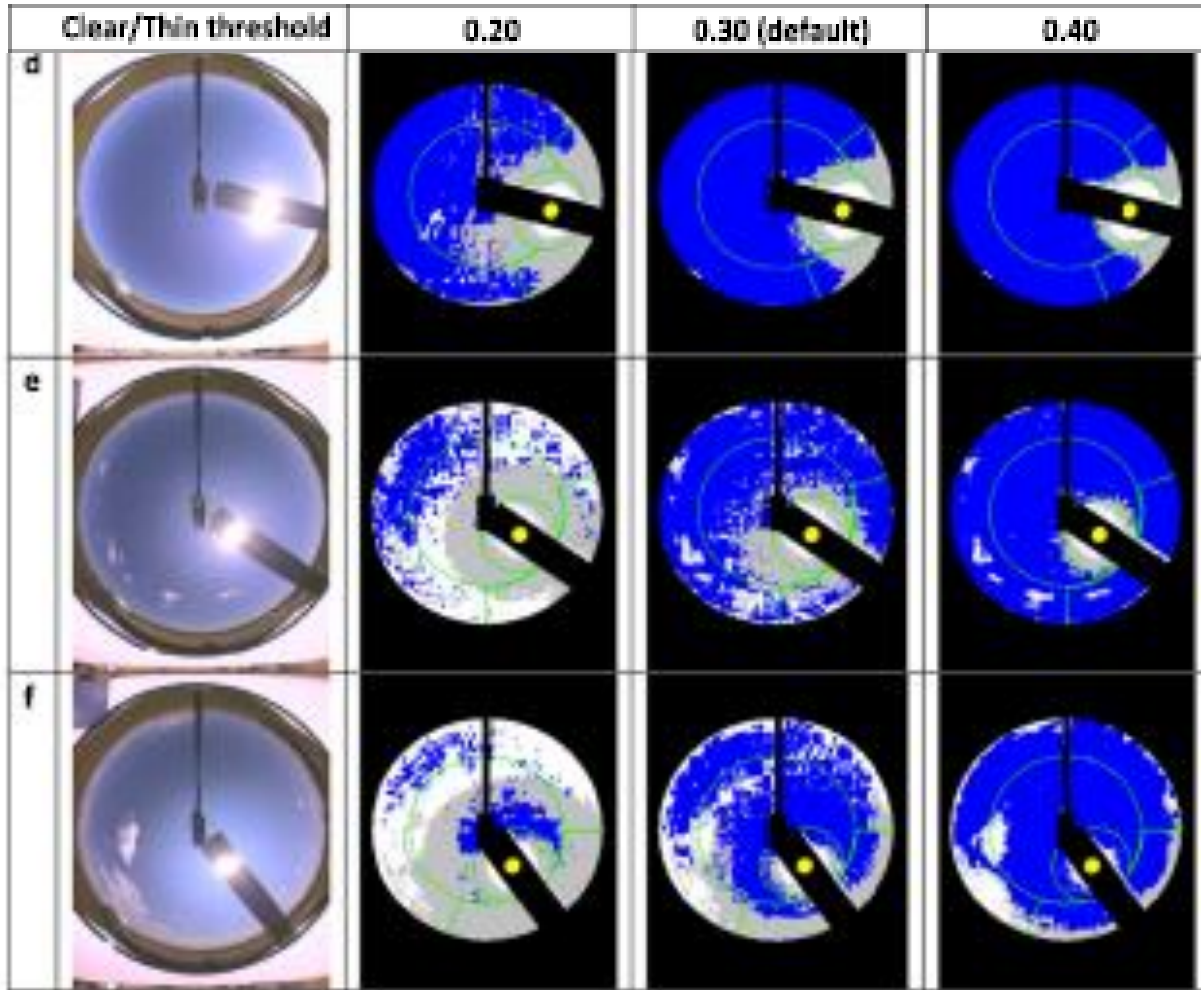


Mudanças nos limites R/B praticamente não modificam o resultado

→ Imagem com nuvens muito tênues: Mudanças na razão R/B são muito significativas

Fig. 9. Original and processed TSI images, with different thresholds for the distinction between clear sky and thin clouds. a) March 8, 2014, 11:00. An example of very clean day, when changing the threshold does not affect the cloud fraction estimation. b) August 23, 2014, 15:00. Very white clouds in a very clean (blue) sky. Again, changing the threshold has a very minor effect on the estimation. c) May 16, 2014, 08:14. An example with large circumsolar radiation, where lowering the threshold greatly increases the thin cloud fraction estimation. d) May 19, 2014, 09:00. A similar case, but with an apparently large aerosol load. e) June 10, 2014, 10:30. Small cumulus forming in a somewhat hazy atmosphere. The effect of changing the threshold is huge. f) August 10, 2014, 11:00. A similar case, showing again the large effect of changing the threshold. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Resultados (Câmeras)



→ Imagem com alta carga de aerossóis:
Mudanças na razão R/B são muito
significativas

Imagem com pequenas cumulus se
formando e se dissipando: Mudanças
na razão R/B são muito significativas

Fig. 9. Original and processed TSI images, with different thresholds for the distinction between clear sky and thin clouds. a) March 8, 2014, 11:00. An example of very clean day, when changing the threshold does not affect the cloud fraction estimation. b) August 23, 2014, 15:00. Very white clouds in a very clean (blue) sky. Again, changing the threshold has a very minor effect on the estimation. c) May 16, 2014, 08:14. An example with large circumsolar radiation, where lowering the threshold greatly increases the thin cloud fraction estimation. d) May 19, 2014, 09:00. A similar case, but with an apparently large aerosol load. e) June 10, 2014, 10:30. Small cumulus forming in a somewhat hazy atmosphere. The effect of changing the threshold is huge. f) August 10, 2014, 11:00. A similar case, showing again the large effect of changing the threshold. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Conclusões

- 1) A quantidade de casos de interesse não é desprezível (não é menor que 10%) para os *sites* analisados;
- 2) Nesses casos há nuvens pequenas, tênues ou em formação, além de uma espécie de “véu” fino no céu, que é pouco visível mas que afeta a partição nas componentes direta e difusa da F;
- 3) Nesses casos a assinatura espectral da radiação solar também é afetada, o que se reflete no cálculo do AE;
- 4) Alterar o limiar R/B produz grandes diferenças na estimativa de fsc: Para Boulder, em 21.2% dos casos analisados essa variação produz mudanças maiores que 10% na estimativa de fsc de nuvens tênues;

Conclusões

- 5) O efeito radiativo de uma suspensão de partículas visto do solo não distingue facilmente de qual tipo de suspensão se trata (hemisfério e camadas);
- 6) Nuvens e aerossóis são duas manifestações extremas do mesmo fenômeno físico. Em muitos casos pode ser mais vantajoso tratar a suspensão de partículas como um *continuum*.
- 7) Em geral, algoritmos de rastreamento de nuvem para produtos em aerossol e algoritmos de detecção de nuvem para produtos em nuvem tendem a ser conservadores, omitindo ao máximo a área de transição;
- 8) Considerar as situações intermediárias entre nuvem e aerossol pode ter um impacto significativo nos estudos de balanço energético (local ou global) e deve ser levado em consideração ao parametrizar a transferência de radiativa em modelos de previsão de tempo e clima.

Journal Club do LFA
André Cezar Pugliesi da Silva

Muito obrigado pela atenção!

MFRSR: identificação dos aerossóis

- 1º Filtro: diferenças entre 2 dados adjacentes e entre OD_max e OD_min devem ser menores que um limite dado. O range de OD's (550 nm) deve ser menor que outro limite.
- 2º Filtro: escala a variabilidade permitida de acordo com a magnitude do OD, que é estimada aplicando um filtro de passa-baixa na série. O valor absoluto da maior diferença entre os dados adjacentes deve ser menor que uma dada fração do OD estimado no ponto médio da janela de amostra, e o intervalo deve ser menor que outra fração da mesma estimativa.
- Limites *default* (Michalsky et al. (2010)): 0.02; 0.03; 10% e 20%, respectivamente.
- Dados “bons”: Aerossóis;
- Dados “ruins”: Autores assumem presença de algum “tipo” de nuvem.