

COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA A ESTIMATIVA DA FRAÇÃO DE COBERTURA DE NUVENS UTILIZANDO CÂMERA ALL-SKY E SATÉLITE

Eduardo Weide Luiz – eduardo.l Luiz@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Fernando Ramos Martins – fernando.martins@unifesp.br

Universidade Federal do Estado de São Paulo, Instituto do Mar

Rodrigo Santos Costa – rodrigo.costa@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

André Rodrigues Gonçalves – andre.goncalves@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Jefferson Gonçalves de Souza – jefferson.souza@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Francisco J. Lopes de Lima – francisco.lopes@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Marcelo Pizzuti Pes – marcelo.pes@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Enio Bueno Pereira – enio.pereira@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Resumo. As nuvens são o principal modulador dos componentes de radiação de ondas curtas e ondas longas do balanço energético da Terra e, por isso, ajudam a regular a temperatura do planeta. No setor de energia, as nuvens são uma fonte de instabilidade na geração de energia usando tecnologia solar. Este trabalho tem como objetivo comparar duas abordagens para obter informações de cobertura de nuvens em Cachoeira Paulista (SP) durante o período de um ano (julho/2016 até junho/2017). O primeiro método, utilizado como referência, usa imagens de uma câmera de imageamento do céu (*all-sky*) para a estimativa da fração de cobertura da nuvem, enquanto que segundo método utiliza dados do satélite geoestacionário GOES-13. Em condições de céu nublado ou limpo, as duas metodologias demonstraram ter um bom acordo. O maior problema ocorre em condições de céu parcialmente nublado, com resultados inferiores. Apesar disso, ambos os métodos apresentam distribuição de dados similar, o que denota o bom acordo entre os dois métodos. Com relação ao método utilizando imagens de satélite, a questão mais importante é a baixa resolução espacial. O que acaba tendo maior impacto em condições de céu parcialmente nublado, sendo que o mascaramento de nuvens funciona melhor para nuvens grandes, com tamanho comparável aos pixels da imagem de satélite. Além disso, o método que utiliza a câmera *all-sky* também precisa de ajustes, pois apresentou algumas deficiências, principalmente em as áreas muito brilhantes ao redor do sol, desconsideradas da análise, levando muitas vezes à estimativa de valores incorretos.

Palavras-chave: Fração de Cobertura de Nuvens; Câmera All-Sky; Satélite

1 INTRODUÇÃO

No setor de energia, as nuvens são uma fonte de grande instabilidade na geração de energia usando tecnologia solar. As nuvens sombreiam o fluxo de energia solar que chega em superfície através de seus efeitos de espalhamento e absorção, causando fortes flutuações na produção de energia de plantas fotovoltaicas (Ari & Baghzouz 2011; Lave et al. 2015; Perez et al. 2016). Além disso, essas flutuações da radiação solar acabam produzindo transientes que são incompatíveis com os padrões de segurança estabelecidos para o sistema de distribuição de eletricidade, incluindo a variabilidade da tensão da rede e geração insuficiente para atender a demanda momentânea do sistema elétrico (Kleissl 2013). Adicionalmente, eles podem produzir variações rápidas na temperatura do receptor que podem levar ao estresse térmico dos dispositivos (Kazantzidis et al. 2012).

O primeiro método para avaliação da cobertura da nuvem foi a observação visual feita pelos operadores das estações meteorológicas, o qual ainda é usado até hoje. O método classifica as nuvens de acordo com a análise visual de forma e aparência, dividindo o céu em oito partes (oitavos) estimando a fração de cobertura de nuvens (ROBAA 2008; Werkmeister et al. 2015). Entretanto, devido à alta subjetividade do método, vários autores tem relatado maneiras diferentes de estimar a quantidade de nuvens no céu de forma mais objetiva, como a utilização de satélite e câmeras de imageamento do céu (*All-Sky*) (Escrig et al., 2013; Liang & Yuan, 2015).

Diversos autores têm comparado os diferentes métodos para a estimativa da cobertura de nuvens. Wacker et al. (2015) compararam métodos utilizando câmeras *All Sky*, radiação de onda longa descendente, observações visuais, o satélite MSG e ceilômetro na Suíça. Os resultados apresentados indicaram que os métodos automáticos subestimaram a nebulosidade estimada pelo observador; no entanto, o método usando a câmera obteve os resultados mais próximos. Já entre os métodos automáticos, o melhor acordo foi obtido entre câmera e o satélite. Em 52% dos casos, os dois métodos obtiveram o mesmo resultado, enquanto os erros dentro de ± 1 ou ± 2 octas foram 72% e 84%, respectivamente. Já Escrig

et al. (2013) compararam diferentes situações de nuvem em Almería, Espanha, usando o satélite MSG e uma câmera *All-Sky*. O satélite sempre detectou nuvens quando a câmera classificou a condição como encoberta (mais de 7 octas) e nunca classificou como céu encoberto quando a câmera classificou como sem nuvens (abaixo de 1 octa). Para situações parcialmente encobertas, os métodos apresentaram aproximadamente 75% de acordo. Werkmeister et al. (2015) fizeram a mesma comparação para a Alemanha, mas classificaram as situações de forma diferente: a condição de céu encoberto foi estipulada para frações da nuvem acima de 5 octas, condição de céu sem nuvens para frações abaixo de 3 octas e céu parcialmente encoberto para valores intermediários. Os resultados foram muito bons em situações de céu encoberto, com probabilidade de detecção de 94%, para situação sem nuvens, os resultados foram bons (72%), mas para frações intermediárias os resultados foram insatisfatórios (12%).

Dentre as dificuldades para comparação entre métodos utilizando dados de satélite e de superfície, vale destacar as diferentes resoluções espaciais e temporais e os diferentes ângulos sólidos dos sensores (Espinar et al. 2009). Além disso, outro fator de grande relevância é o fato de as nuvens estarem em diferentes níveis, o que faz com que essas múltiplas camadas sejam analisadas diferentemente pelos instrumentos devido ao seus ângulos de visada distintos (Escrig et al. 2013).

Este estudo tem como objetivo comparar duas abordagens para obter informações da fração de cobertura de nuvens na região de Cachoeira Paulista (SP). As metodologias utilizam dados do satélite geostacionários GOES-13 e imagens de câmeras *All-Sky*. A avaliação comparativa assumiu o método da câmera *All-Sky* como a metodologia de referência, devido à sua melhor resolução de dados.

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo – Cachoeira Paulista (SP)

A estação meteorológica de superfície onde a câmera *All-Sky* está instalada localiza-se em um dos campi do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), na cidade de Cachoeira Paulista, SP (22° 41' 22,65"S; 45° 00' 22,8"O). A média anual de precipitação varia em torno de 1600 mm e apresenta um ciclo anual com estação úmida (de outubro a março) que concentra a maior parte da precipitação (~190 mm/mês) e uma estação seca (de abril a setembro) com baixa precipitação (~55 mm/mês) (Climatempo, 2017). O que também influencia a fração média de cobertura da nuvem na região, que tem uma média mensal de cerca de 70% na estação úmida e 50% na estação seca, de acordo com observações visuais (INMET, 2009). A ocorrência de frentes frias é comum durante o inverno (estação seca), o que traz a maior parte da nebulosidade para esta estação. A região também é afetada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul e a convecção natural é muito típica durante o verão (estação úmida) (Nunes et al. 2009).

2.2. Determinação da Fração de Cobertura de Nuvens utilizando Câmera *All-Sky*

A câmera *All-Sky* (EKO Instruments) é uma câmera digital com objetiva de olho de peixe e campo de visão de 180°. A câmera fica em uma caixa à prova de intempéries com um sistema de aquecimento para a estabilidade da temperatura. O usuário pode configurar remotamente os parâmetros de aquisição de imagem usando um computador através de conexão TCP/IP. O instrumento está operando no telhado do Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) do INPE de Cachoeira Paulista (SP). A aquisição da imagem foi realizada em um intervalo de 10 minutos de 04/07/2016 até 12/01/2017 e a cada 5 minutos de 13/01/2017 até 30/06/2017. A câmera tira duas imagens de céu com diferentes exposições de luz: uma normalmente exposta (NE) e uma subexposta (UE). O instrumento fornece a fração de cobertura de nuvem, doravante denominada CCF_{Cam} , usando um pacote de *softwares* da empresa para identificar nuvens e calcular a fração de cobertura da nuvem para cada imagem adquirida. Em razão distorções e da presença de alguns obstáculos próximos à linha do horizonte, os pixels das imagens com ângulos zenitais maiores que 70° foram descartados.

Para a classificação das imagens, o software necessita que seja previamente selecionada manualmente uma biblioteca de imagens de céu claro. Então, o software compara cada imagem com a imagem da biblioteca com o ângulo zenital solar mais próximo possível e classifica cada pixel como céu claro, nuvem fina ou nuvem opaca baseado em limiares, como apresentado na Figura 1. Pode-se notar que a classificação de nuvens finas tem resultados incorretos e, desta forma, foi utilizada a fração de cobertura de nuvens opaca como sendo a fração total. Além disso, o *software* não classifica regiões muito claras próximas ao sol, mascarando-as na cor preta.

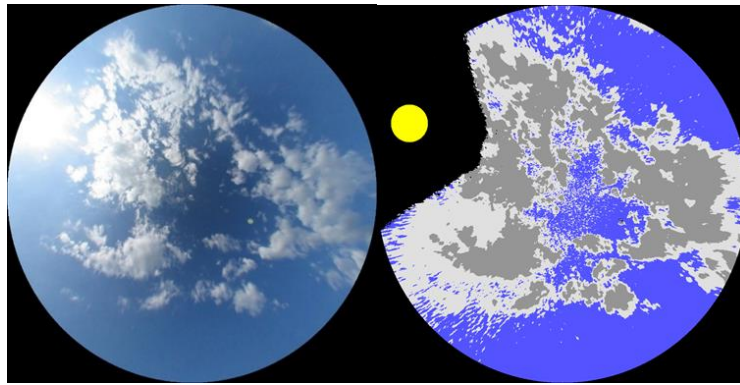


Figura 1. Foto do céu retirando-se ângulos zenitais maiores que 70° (esquerda) e avaliação feita pelo *software* da EKO Instruments (direita).

2.3. Determinação da Fração de Cobertura de Nuvens utilizando o satélite geostacionário GOES-13.

O imageamento terrestre através de satélites geostacionários tornou-se uma ferramenta importante para o monitoramento de nuvens. O Satélite de Monitoramento Ambiental Geostacionário sobre a América do Sul (GOES-13) fornece imagens a cada 30 minutos, aproximadamente, em cinco intervalos espectrais diferentes, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Canais do Satélite Geostacionário GOES-13. Fonte: NOAA (2013).

Canal	Comprimento de Onda (μm)	Resolução
1	0,55 a 0,75	1 km
2	3,80 a 4,00	4 km
3	5,77 a 7,33	8 km
4	10,20 a 11,20	4 km
5	11,50 a 12,50	4 km

O canal 1 (visível) informa sobre a energia que vem do Sol refletida pelos alvos na Terra durante o dia. Com esta banda, é possível observar nuvens, névoa, presença de corpos de gelo na superfície ou oceanos e o mapeamento de poluentes na atmosfera.

De acordo com Martins et al. (2003), a cobertura da nuvem pode ser determinada por uma composição de imagens de céu claro e nublado durante um período de interesse. O coeficiente de cobertura de nuvem efetiva (C_{eff}) é definido para cada pixel da imagem, de acordo com a Equação 1, em termos de radiação (L_r) medida pelo satélite no canal visível e as radiações mensais de céu claro (L_{clr}) e nublado (L_{cld}). Conforme explicado por Martins et al. (2008), os valores de C_{eff} descrevem a cobertura da nuvem e as variações espaciais das profundidades ópticas das nuvens para cada pixel, assumindo valores extremos de 1 (um) para o céu completamente nublado, sem irradiação direta atingindo o solo e 0 (zero) para céu sem nuvens. Para esses cálculos, a reflectância foi dividida pelo cosseno do ângulo zenital do sol para evitar a influência da geometria da iluminação nos dados de reflectância observados pelo satélite.

$$C_{eff} = (L_r - L_{clr}) / (L_{cld} - L_{clr}) \quad (1)$$

Entretanto, como esses resultados são referentes a cobertura de nuvens de cada pixel, utilizou-se um limiar do valor de C_{eff} , para a classificação dos mesmos como céu claro ou nublado. Desta forma, definiu-se como fração de cobertura de nuvens estimada pelo satélite (CCF_{sat}) o número de pixels classificados como nublados, divididos pelo total em uma área de 23x23 pixels. O limiar utilizado foi de 0.14 devido à melhor correlação com os dados da câmera.

2.4. Estatística

Foram utilizados três índices estatísticos para comparar as três metodologias para estimar a fração da cobertura da nuvem. O método que utiliza a câmera *All-Sky* foi considerado como a metodologia de referência. O primeiro índice estatístico utilizado foi o desvio médio descrito na Equação 2, onde n é o número de correspondências entre os dois conjuntos de dados e x_m é a diferença entre eles. O desvio médio (MD) é positivo se o método da câmera *All-Sky* forneceu valores de fração de cobertura de nuvem inferiores ao satélite.

$$MD = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_m \quad (2)$$

O Desvio Padrão (SD) é definido pela Equação 3. O valor esperado para MD é zero se ambos os métodos fornecem estimativas iguais para as frações da cobertura da nuvem. O valor SD fornece informações sobre a dispersão da discrepância das metodologias em torno do valor MD.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (x_m - MD)^2} \quad (3)$$

O último índice estatístico utilizado para comparações entre dois conjuntos de dados foi o coeficiente de correlação R conforme definido pela Equação 4.

$$R(y, z) = \frac{\sum_{m=1}^n (z_m - \bar{z})(y_m - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{m=1}^n (z_m - \bar{z})^2 \cdot \sum_{m=1}^n (y_m - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

onde Z_m e Y_m representam os diferentes bancos de dados e \bar{z} e \bar{y} são suas médias.

Além dos índices estatísticos citados, foi calculada a probabilidade de detecção (POD) de estimativas similares de fração de cobertura de nuvem fornecidas pelas duas metodologias. Além disso, uma taxa de alarmes falsos (FAR) foi calculada para indicar a probabilidade de encontrar uma estimativa diferente dentre as frações da cobertura da nuvem. Esta análise baseou-se no esquema proposto por Werkmeister et al. (2015).

O POD e FAR foram calculados usando a CCF estimada em oitavos, como explicado pela Organização Meteorológica Mundial. Os valores CCF, variando de 0 a 1, foram transformados em oitavos multiplicando por 8 e depois arredondando-os para o inteiro mais próximo entre 0 (completamente limpo) e 8 (completamente nublado).

Para esta análise, as condições do céu foram organizadas compondo três cenários diferentes: livre de nuvens (CCF ≤ 2 oitavos), parcialmente nublado (3 oitavos \leq CCF ≤ 5 oitavos) e céu completamente nublado (CCF ≤ 6 oitavos). A tabela de contingência apresentada na Tabela 2, de acordo com Reuter et al. (2009), pode ser usada para identificar o número de casos em cada uma das condições de cobertura da nuvem, utilizando CCF_{cam} como referência. O POD e FAR são definidos nas Equações 5 a 10 abaixo.

Tabela 2. Tabela de Contingência

Dados de Referência				
Cenário		Céu Claro	Parcialmente nublado	Nublado
CCF	Céu Claro	a	b	c
	Parcialmente Nublado	d	e	f
	Nublado	g	h	i

$$POD_{clear} = \frac{a}{a+d+g} \quad (5)$$

$$POD_{broken} = \frac{e}{b+e+h} \quad (6)$$

$$POD_{cloudy} = \frac{i}{c+f+i} \quad (7)$$

$$FAR_{clear} = \frac{b+c}{a+b+c} \quad (8)$$

$$FAR_{broken} = \frac{d+f}{d+e+f} \quad (9)$$

$$FAR_{cloudy} = \frac{g+h}{g+h+i} \quad (10)$$

Ainda, para uma melhor análise das distribuições dos dados gerados, foi utilizado o teste estatístico de *Kolmogorov-Smirnov* (KS) para determinar se eles diferem significativamente. O teste se baseia na função de distribuição cumulativa, sendo que se máxima diferença entre as distribuições forem inferiores a um limiar, os dois bancos de dados são similares e podem ser considerados estatisticamente os mesmos. De acordo com Espinar et al. (2009), o teste é feito por meio de uma conversão dos dados para um estimador imparcial $S(x_i)$ da função de distribuição acumulada (CDF), em $i = 1 \dots N$, onde N é o tamanho da população. Para o cálculo, é necessário encontrar o máximo valor da diferença absoluta (D) entre as duas CDFs, de acordo com a Equação 11.

$$D = \max |S(x_i) - R(x_i)| \quad (11)$$

onde D é a maior diferença entre as CDFs e $R(x_i)$ é a CDF do banco de dados de referência.

Desta forma, a hipótese nula é formulada de maneira que, se D for inferior ao valor limite (V_c), os dois conjuntos de dados têm uma distribuição muito semelhante e, estatisticamente, poderiam ser considerados os mesmos. Neste caso, a hipótese nula é aceita. O valor crítico depende de N e é calculado de acordo com a Equação 12 para um nível de 0,01 de significância (Massey 1951; Espinar et al. 2009).

$$V_c = \frac{1,63}{\sqrt{N}}, N \geq 35 \quad (12)$$

3 RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta a densidade de ocorrências para CCF_{Cam} e CCF_{Sat} em oitavos. A Figura 2 mostra o histograma dos valores dos desvios entre eles.

Tabela 3. Densidade de ocorrências entre CCF_{Sat} e CCF_{Cam} .

		CCF _{Cam}								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
CCF _{Sat}	0	1450	182	59	21	11	2	4	3	1
	1	123	123	80	42	20	17	5	5	1
	2	47	56	45	47	26	18	7	6	1
	3	19	39	35	31	29	22	10	6	4
	4	11	25	20	29	34	32	27	16	10
	5	6	8	17	18	29	40	34	26	16
	6	5	8	17	22	31	35	59	45	52
	7	5	1	7	14	25	42	59	98	238
	8	2	3	10	10	13	28	58	113	1148

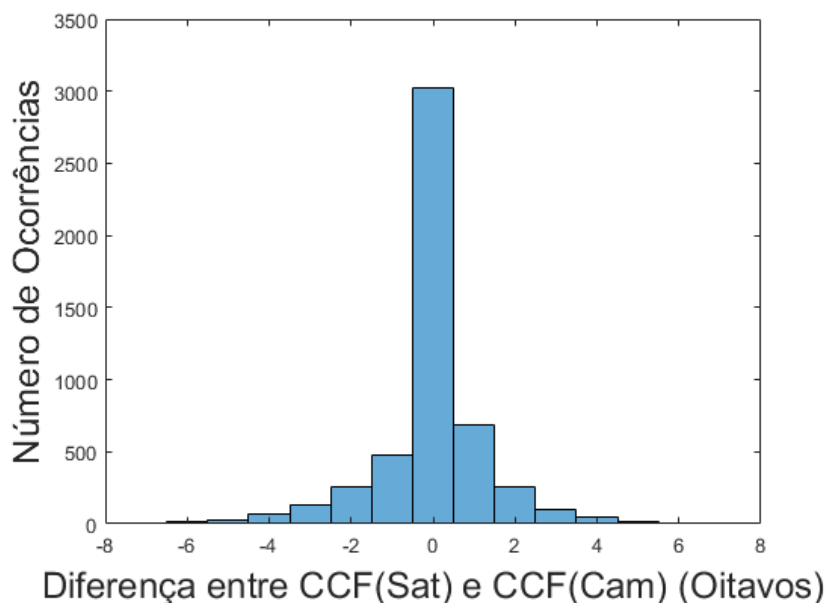


Figura 2. Histograma das diferenças entre CCF_{Sat} e CCF_{Cam} em oitavos. Diferenças positivas indicam que os valores de CCF_{Sat} são maiores que os valores de CCF_{Cam} .

O desvio médio (MD) de -0.02 oitavos entre CCF_{Sat} e CCF_{Cam} foi relativamente baixo (0.5% da média de CCF_{Cam}). Além disso, o desvio padrão de 2.2 oitavos e o coeficiente de correlação R de 91.6% mostra o bom acordo entre os dois métodos. A Tabela 4 apresenta a contingência entre CCF_{Cam} e CCF_{Sat} nos três cenários para uma comparação das densidades em diferentes características de nebulosidade.

Tabela 4. Tabela de contingência para os três cenários de cobertura de nuvens para CCF_{Cam} e CCF_{Sat} .

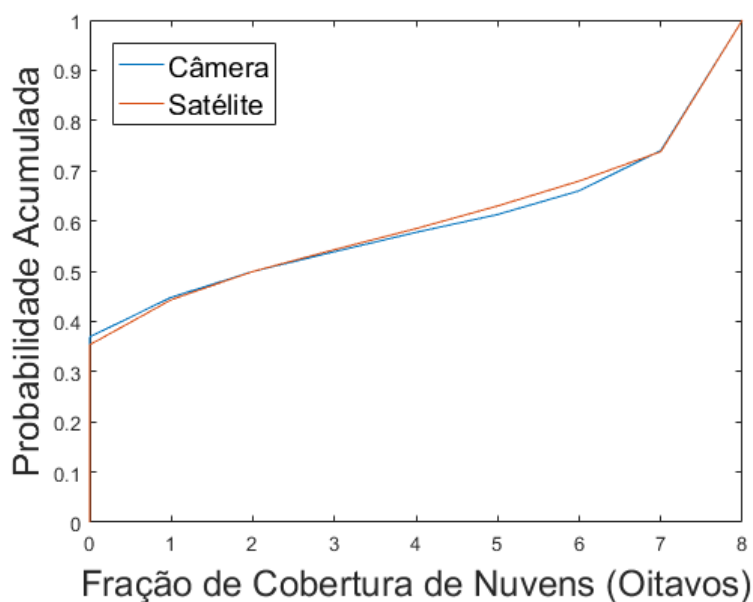
		CCF_{Cam}		
		Cenário	Céu Claro	Parcialmente nublado
CCF_{Sat}	Céu Claro	42.1%	3.5%	1.1%
	Parcialmente nublado	4%	5.1%	4.3%
	Nublado	0.6%	2.9%	36.4%

A Tabela 5 mostra os valores de POD e FAR para os três cenários de nebulosidade. Pode-se notar que ambos os métodos apresentam bom acordo para condições de céu sem nuvens e nublado. O método do satélite identificou o cenário sem nuvens em mais de 91% dos casos em que a câmera obteve o mesmo resultado. Além disso, o FAR_{broken} de cerca de 61% significa que ambos os métodos forneceram dados que apresentavam discrepâncias maiores para cenários parcialmente nublados.

Tabela 5. PODs e FARs entre CCF_{Sat} e CCF_{Cam} .

POD_{clear}	POD_{broken}	POD_{cloudy}	FAR_{clear}	FAR_{broken}	FAR_{cloudy}
91.1%	44.5%	87.1%	9.9%	61.6%	8.9%

Adicionalmente, foram analisadas as funções de distribuição acumulada (CDF) dos dois bancos de dados de através do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). A Figura 3 apresenta as duas funções, onde pode-se observar que as duas distribuições são muito semelhantes. Ainda, com respeito ao teste, e utilizando CCF_{Cam} como referência, CCF_{Sat} teve bom resultado com um valor limiar de 0.023 e máxima diferença entre as CDF's de 0.019, comprovando que apesar das grandes diferenças no cenário parcialmente nublado, os dois conjuntos de dados podem ser considerados estatisticamente os mesmos.

Figura 3. Funções de Distribuição Acumulada dos dados de CCF_{Sat} e CCF_{Cam} em oitavos.

4 CONCLUSÃO

Duas metodologias para a estimativa da fração de cobertura de nuvens em Cachoeira Paulista (SP) foram comparadas. Nossos resultados apresentaram menor probabilidade de detecção para situações de céu encoberto, mas resultados superiores para os cenários de céu claro e parcialmente nublado quando comparado com Werkmeister et al. (2015). Em condições de céu claro ou encoberto, ambas as metodologias mostraram um bom acordo. O maior problema ocorre para condições do céu parcialmente nublado, o que pode ser relacionado a três principais fontes de incerteza: diferenças na geometria da visão (erro de paralaxe), resolução espacial e deficiências dos algoritmos de classificação (Werkmeister et al. 2015). Além disso, ambos os instrumentos são mais sensíveis a nuvens convectivas, muito transparentes a nuvens altas *cirrus* finas, o que pode levar a erros de classificação.

Com relação à resolução espacial, nuvens convectivas com áreas menores que 1 km² podem ser identificadas de maneira errada pelas imagens de satélite. Além disso, a presença de nuvens de *stratocumulus* que muitas vezes circundam pequenas áreas de céu claro, pode ser uma fonte de erro. Essas áreas sem nuvens identificadas pela câmera *All-Sky*,

geralmente são classificadas incorretamente como totalmente nubladas pelo satélite devido à sua menor resolução espacial (Werkmeister et al., 2015).

Quanto à geometria de visualização, o erro de paralaxe pode contribuir para os desvios dos valores de CCF. Como paralaxe é um deslocamento na posição aparente de um objeto visto ao longo de duas linhas de visão diferentes, para este estudo, o erro de paralaxe depende apenas da localização da nuvem, porque o satélite está em uma posição fixa em relação à superfície.

Entretanto, mesmo com essas grandes discrepâncias a distribuição acumulada dos dois conjuntos de dados é muito semelhante, sendo possível considerar que são estatisticamente os mesmos. O aparente maior erro pode estar relacionado com a existência de somente 3 cenários nessas análises, pois erros pequenos nas extremidades dos cenários, podem ser considerados como completamente errados por estarem em cenários diferentes.

Resumindo, com relação ao método utilizando satélite, a questão mais importante é a resolução espacial, que tem o maior impacto nos cenários parcialmente nublados. Os melhores resultados em condições de céu nublado e claro, indicam que o mascaramento da nuvem está funcionando corretamente para nuvens grandes com, pelo menos, tamanho comparável ao pixel da imagem do satélite. Adicionalmente, o método utilizando a câmera *All-Sky* também precisa ser melhorado, pois apresenta algumas deficiências. Por exemplo, as áreas muito brancas ao redor do sol, não utilizadas na análise, poderiam ser analisadas separadamente por outro método com correções de brilho e deve ser um tópico para novos estudos.

Agradecimentos

Esse trabalho foi fomentado pela Fundação CAPES, Ministério da Educação, Brasília. Agradecemos também ao CNPq pelo financiamento em forma de bolsas de pesquisas para os autores. Este trabalho também é uma contribuição do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC) financiado pela FAPESP 2014/50848-9, CNPq 465501/2014-1, e CAPES/FAPS Nº 16/2014.



REFERÊNCIAS

- Ari, G.K. & Baghzouz, Y., 2011. Impact of high PV penetration on voltage regulation in electrical distribution systems. In *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*. IEEE, pp. 744–748. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6036386/>.
- Climatempo, 2017. Climatologia Cachoeira Paulista - SP. Available at: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/415/cachoeirapaulista-sp> [Accessed November 10, 2017].
- Escrig, H. et al., 2013. Cloud detection, classification and motion estimation using geostationary satellite imagery for cloud cover forecast. *Energy*, 55, pp.853–859. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544213000856>.
- Espinar, B. et al., 2009. Analysis of different comparison parameters applied to solar radiation data from satellite and German radiometric stations. *Solar Energy*, 83(1), pp.118–125. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X08001655>.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Normas climatológicas do Brasil. 1961-1990. Available at: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> [Accessed November 10, 2017].
- Kazantzidis, A. et al., 2012. Cloud detection and classification with the use of whole-sky ground-based images. *Atmospheric Research*, 113, pp.80–88.
- Kleissl, J., 2013. *Solar Energy Forecasting and Resource Assessment* 1st ed., Elsevier Ltd.
- Lave, M., Reno, M.J. & Broderick, R.J., 2015. Characterizing local high-frequency solar variability and its impact to distribution studies. *Solar Energy*, 118, pp.327–337. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X15002881>.
- Liang, X. & Yuan, C., 2016. Derivation of 3D cloud animation from geostationary satellite images. *Multimedia Tools and Applications*, 75(14), pp.8217–8237. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11042-015-2738-7>.
- Martins, F.R. et al., 2008. The influence of cloud cover index on the accuracy of solar irradiance model estimates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 99(3–4), pp.169–180. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00703-007-0272-5>.
- Martins, F.R., Souza, M.P. & Pereira, E.B., 2003. Comparative study of satellite and ground techniques for cloud cover

- determination. *Advances in Space Research*, 32(11), pp.2275–2280. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273117703905540>.
- Massey, F.J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), p.68. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2280095?origin=crossref>.
- NOAA, 2013. GOES Imager Instrument. Available at: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/imager.html> [Accessed October 24, 2017].
- Nunes, L.H., Vicente, A.K. & Candido, D.H., 2009. Clima da Região Sudeste do Brasil. In I. F. A. Cavalcanti et al., eds. *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, pp. 243–258.
- Perez, R. et al., 2016. Spatial and Temporal Variability of Solar Energy. *Foundations and Trends® in Renewable Energy*, 1(1), pp.1–44. Available at: <http://www.nowpublishers.com/article/Details/REN-006>.
- Reuter, M. et al., 2009. The CM-SAF and FUB Cloud Detection Schemes for SEVIRI: Validation with Synoptic Data and Initial Comparison with MODIS and CALIPSO. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(2), pp.301–316. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008JAMC1982.1>.
- ROBAA, S., 2008. Evaluation of sunshine duration from cloud data in Egypt. *Energy*, 33(5), pp.785–795.
- Wacker, S. et al., 2015. Cloud observations in Switzerland using hemispherical sky cameras. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(2), pp.695–707. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/2014JD022643>.
- Werkmeister, A. et al., 2015. Comparing satellite- to ground-based automated and manual cloud coverage observations - A case study. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8(5), pp.2001–2015. Available at: <http://www.atmos-meas-tech.net/8/2001/2015/>.

COMPARISON OF METHODOLOGIES FOR CLOUD COVER FRACTION ESTIMATION USING ALL SKY CAMERA AND SATELLITE

Abstract. *Clouds are the major modulator of the shortwave and longwave radiation components of the Earth's energy balance and, as such, help to regulate the planet's temperature. In the energy sector, clouds are a source of instability in the generation of energy using solar technologies. This study aims at comparing two approaches to get cloud cover information in Cachoeira Paulista (SP), during the period of one year (07/2016 until 06/2017). The first method, assumed as reference, uses all-sky camera pictures for the cloud cover fraction estimation. The other methodology uses GOES-13 geostationary satellite data. In conditions of overcast or clear sky, both methodologies showed a good agreement. The major problem occurs with the broken-clouds sky conditions with worst results. Despite this, both methods present similar data distribution, which denotes the good agreement between the two methods. Regarding the satellite method, the most important issue is the spatial resolution, which has the major impact on the broken-clouds sky scenarios. The cloud masking works properly for large clouds with, at least, the size comparable to the satellite image pixel. Furthermore, the method using the all-sky camera also needs to be improved, because it presented some deficiencies, such as the very bright areas around the sun, disregarded from the analysis, often leading to incorrect estimation values.*

Key words: *Cloud Cover Fraction, All-Sky Camera, Satellite*