

Desenvolvimento de um Sistema de Superfície para Mapeamento Automático da Fração de Cobertura de Nuvens

Mariza Pereira de Souza Echer⁽¹⁾, Enio Bueno Pereira⁽²⁾, Silvio L. Mantelli Neto⁽²⁾ Tiago Pereira⁽³⁾, Roberta V. G. de Souza⁽⁴⁾, Sérgio Colle⁽³⁾

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

⁽¹⁾ *Divisão de Geofísica Espacial (DGE)*

⁽²⁾ *Divisão de Meio Ambiente e Clima (DMA/CPTEC)*

Avenida dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja - São José dos Campos - São Paulo

Caixa Postal 515 CEP 12201-970

mariza@dge.inpe.br

Universidade Federal de Santa Catarina

⁽³⁾ *Laboratório de Radiação Solar (UFSC/LABSOLAR) and*

⁽⁴⁾ *Laboratório de Conforto Térmico (UFSC/LABCON)*

Recebido em 27/09/2004. Aceito para publicação em 10/01/2005.

Este trabalho descreve o desenvolvimento do protótipo de um sistema de mapeamento automático da fração de cobertura de nuvens em superfície e, os primeiros resultados obtidos na comparação com dados de radiação solar medidos em superfície pela estação solarimétrica *Baseline Surface Radiation Network (BSRN)*. O trabalho foi realizado na região de Florianópolis (latitude 27° 28'S, longitude 48° 29'W). O sistema é composto por uma câmara digital marca Pixera, modelo PCS20232, operando na faixa de radiação do visível. A câmera foi montada apontando para o zênite, através de uma plataforma dotada de um sistema de sombreamento da radiação solar direta. Foi adaptada à câmara uma lente grande angular FCE8 de fabricação da *Nikon* com uma abertura nominal de 180°. O sistema forneceu imagens no formato *Joint Photographic Expert Group (JPEG)*, com resolução de 600X600 píxeis. As imagens foram obtidas no sistema de cores RGB (*Red, Green, Blue*) e convertidas para o espaço atributos de cores do sistema IHS (*Intensity, Hue, Saturation*). O processo de decisão do sistema classificador utilizou a saturação (*S*) como parâmetro para a classificação de píxeis contaminados por nuvens.

This work describes the development of a new method and the prototype of a system for mapping automatically the fraction of the sky covered by clouds and the first results obtained from *Baseline Surface Radiation Network (BSRN-WMO)*. This work was realized in Florianópolis (27° 28'S, 048° 29'W) are also reported and discussed. A Pixera model PCS20232, digital camera operating in the visible range of the solar spectrum composes the system. The camera was mounted aiming at the zenith on a platform equipped with a shadow disc controlled by a motorized solar tracking system. A wide angle lens (*Nikon, FCE8*) with a nominal opening of 180° was adapted to the objective aperture. The system supplied images with resolution of 600X600 pixels in the *JPEG* format (*Joint Photographic Expert Group*). The images were obtained in the RGB (*Red, Green, Blue*) color system and then converted to the IHS (*Intensity, Hue, Saturation*) system before processing. The analysis employed the saturation (*S*) to infer the level contamination of the pixels by clouds and thus the cloud fractions.

I. INTRODUÇÃO

As nuvens possuem a capacidade de intervir no sistema climático, pois modificam a energia radiante na atmosfera. Elas interagem com a radiação solar, na região do espectro solar de ondas curtas (SW) e com a radiação emitida pela superfície da Terra e pela atmosfera na região de ondas longas (LW). Cerca de 30% da energia radiante do Sol que incide sobre a Terra é refletida de volta ao espaço, sendo considerada perdida para a superfície terrestre; uma parte, porém se reflete na superfície inferior das camadas de nuvens mais elevadas e com isso é refletida de volta para a Terra. Essa reflexão se dá de maneira anisotrópica e constitui o espalhamento da radiação solar descrito na teoria de Mie e Rayleigh (Paltridge e Platt, 1976; Wiscomber, 1980; Salby, 1995). As nuvens constituem, portanto, o efeito de primeira ordem na modulação da radiação solar que atinge a superfície do planeta (Pereira e Colle, 1997).

O método usual para a realização do trabalho de mapea-

mento das nuvens no céu é através de sua inspeção visual realizada por técnicos em superfície. A observação da nebulosidade do céu é realizada visualmente como operação de rotina nos aeroportos e estações meteorológicas da rede meteorológica nacional (IEA, 1992; EEAR, 1993). O mapeamento das nuvens pode também ser realizado através do emprego da análise espacial/ temporal das imagens de satélites meteorológicos (Pinker e Laszlo, 1992; Ceballos e Botino, 2000). Os métodos atualmente existentes podem ser agrupados da seguinte forma: a) métodos que estabelecem valores limiares para a detecção de nuvens e avaliam pixel a pixel da imagem um ou mais canais espectrais fornecidos pelo satélite; b) técnicas e métodos que analisam as propriedades estatísticas das radiancias visível e/ou infravermelha em grupos de píxeis¹

¹ Definição de pixel – Elemento de imagem. O “vocabulário ortográfico da língua portuguesa” não registra o verbete “pixel”. O Dicionário Michaelis (1998) o registra como uma palavra inglesa, assim como o dicionário

ou em parte de imagens.

A meta deste trabalho está centrado na descrição de um equipamento de baixo custo, que forneça em superfície imagens sobre a fração de cobertura de nuvens. Esses dados podem ser utilizados em estudos de transferência radiativa, estudos sobre uma possível influência da atividade solar sobre o clima e aspectos meteorológicos da Terra, os quais mostram resultados ainda controversos (Svensmark and Friis-Christensen, 1997; Herman and Goldber, 1978). Um dos mecanismos propostos para explicar essa influência é a modulação da cobertura de nuvens por íons atmosféricos, produzidos por raios cósmicos. Os estudos dos registros naturais em anéis de árvores têm apresentado importantes informações sobre as mudanças climáticas. Nestes estudos foi possível constatar uma influência da atividade solar no crescimento dos anéis de árvores na região Sul do Brasil, através da correlação com o número de manchas solares. No entanto, acredita-se que exista também uma influência importante relacionada a variabilidade de origem atmosférica da radiação solar incidente sobre o crescimento dos anéis de árvores. Isso poderia ser comprovado pelo cruzamento entre séries temporais de cobertura de nuvens com as dos anéis de árvores. Este tipo de informação ajudaria a compreender melhor como varia a espessura dos anéis de árvores em tempos de maior e de menor cobertura de nuvens no céu (Rigozo et al., 2002). Estudos em oceanografia sugerem que a atenuação da radiação fotosinteticamente ativa – PAR, na região visível do espectro de radiação, causada pela presença de nuvens tem implicações sobre a produção de fitoplânctons marinhos. O fitoplâncton constitui a base da cadeia alimentar marinha. Em longo prazo, alterações na cobertura de nuvens podem ter efeitos sobre a síntese de nutrientes em regiões oceânicas (Madruça et al., 2003). Alterações nessa biota tem implicações diretas na produção pesqueiras. Percebe-se portanto a importância desses estudos não somente no contexto científico mas também sócio-econômico.

Trabalhos realizados com profissionais na área de física e medicina tem mostrado que a exposição exagerada à radiação ultravioleta B ($0,28-0,32\mu\text{m}^2$), pode trazer malefícios à saúde humana. Malefícios que vão desde o eritema ao câncer de pele (Kirchhoff, 1995, 1996; Kirchhoff et al., 1997). Compreendendo a importância de adotar uma medida de proteção contra os efeitos da exposição ao UV-B, Silva (2001) propõe em seu trabalho um algoritmo de previsão para o índice de UV-B em todo território brasileiro, com 24 horas de antecedência, sendo assim possível o conhecimento prévio de quanta radiação haverá em um determinado ambiente. Um dos parâmetros de entrada utilizado por esse modelo é a informação sobre cobertura de nuvens.

Instrumentos que realizam medidas de radiação solar como espectrofotômetros e fotômetros são utilizados para estudos da física e química da atmosfera. Entretanto, em dias em que há presença de nuvens ocorre um ruído inserido nesses dados devido a essa presença. A informação sobre a cobertura de nuvens nos sítios de coletas de dados desses instrumentos é de extrema relevância para a garantia da confiabilidade dos dados oriundos desses instrumentos.

Os modelos climáticos que geram informações sobre o clima e o tempo utilizam para as previsões valores de variáveis atmosféricas como pressão, temperatura, umidade, vento, dentre outros. Um dos parâmetros de saída é a cobertura de nuvens. Entretanto, não existe como avaliar os resultados desses modelos de previsão climática quanto à resposta para a cobertura de nuvens em superfície. A informação sobre a cobertura de nuvens obtida em superfície é de extrema relevância para avaliação da resposta de saída dos modelos climáticos quanto à cobertura de nuvens.

Em termos econômicos, o uso da energia solar como fonte alternativa à energia convencional (elétrica) implica em conhecer a sua disponibilidade em todo território nacional, sendo para isso necessário o conhecimento prévio da distribuição da cobertura de nuvens. Martins (2001) apresenta técnicas para a determinação da fração de cobertura de nuvens a partir de imagens do satélite GOES-8, utilizando os canais infravermelho e visível para composição de imagens de céu claro e céu nublado utilizadas na determinação da cobertura de nuvens. As técnicas desenvolvidas e propostas na literatura para cálculo da cobertura de nuvens apresentam problemas semelhantes: dificuldade na solução da ocorrência de cobertura parcial de nuvens em um pixel da imagem; a presença de nuvens com emissividades variáveis e a dependência que apresentam em relação às propriedades da superfície. Um estudo realizado pelo *International Satellite Cloud Climatology Project ISCCP* concluiu que a avaliação dos algoritmos de nuvens está limitado por dois fatores: a) as características dos dados de satélite disponíveis, tais como resolução espacial e espectral; b) a falta de um banco de dados de “verdade terrestre” que permita a comparação entre os resultados dos diversos algoritmos e a avaliação do desempenho de cada um deles (Martins, 2001).

Na arquitetura, o conhecimento da dinâmica da luz natural, auxilia no desenvolvimento de projetos que visam o conforto térmico de ambientes. As condições de luminosidade variam de acordo com as condições de céu e da cobertura de nuvens, criando assim diferentes efeitos no ambiente projetado (Amaral, 1999).

Trabalhos desenvolvidos por Santos (1957), Holy e Mackey (1975) entre outros, mostram a persistência na busca de obter informações através de imagens de todo o céu, adquiridas com câmeras e lente grande angular do tipo “olho de peixe” e chapas fotográficas. Após a revelação das chapas fotográficas, a fração da cobertura de nuvem era realizada com o auxílio de uma grade para planificação das imagens e posterior mapeamento das nuvens. Shields et al. (1998), Feister et al. (2000) propuseram metodologias para determinação da cobertura de nuvens utilizando câmera digital e algoritmos que utilizam a razão entre o vermelho e o azul do sistema RGB

Houaiss o registra e o seu plural em inglês como “pixels”. A palavra não existe oficialmente na língua portuguesa, entretanto devido à dificuldade de encontrarmos um termo equivalente em português tornou-se inevitável seu uso no presente trabalho. Neste caso, usaremos o verbete pixel e seu plural como seguiria a regra geral de paroxítonas terminadas em “el”: pixel → píxeis.

² $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$

de cores. Pelos esforços empregados por diversos grupos de pesquisas para obtenção da fração de cobertura de nuvens em superfície, percebe-se a importância desse tipo de informação para a comunidade científica internacional.

Em termos de instrumentação para fornecer a fração de nuvens em superfície, existe um equipamento fabricado pela companhia *Yankee Environmental System*, chamado *Total Sky Imager (TSI)* em duas versões 440 e 880. O sistema possui uma calota convexa polida sobre uma base aquecida que evita a condensação de água. Junto à base existe um braço que sustenta uma câmera apontando para o centro da calota que reflete em sua parte convexa todo hemisfério visível. A câmera, que está apoiada sobre o braço fixo à base, captura as imagens. O sistema do *TSI-880* permite o armazenamento de imagens, enquanto o *TSI-440* necessita da transferência das imagens capturadas para outro dispositivo. O custo desse tipo de equipamento é bastante elevado para que entre em rotinas nas estações de superfície. Em termos de processamento de imagens, o sistema que acompanha o *TSI* utiliza imagens em *RGB* para análises da fração de cobertura de nuvens, o que pode comprometer os resultados pois o céu claro se caracteriza por tons azuis, com matizes que vão do verde ao vermelho. As nuvens por sua vez possuem cor branca com matizes de cores que vão do azul ao vermelho. Logo utilizar a informação de cromaticidade não parece ser uma boa opção quando dois objetos distintos podem apresentar a mesma coloração, como é o caso do céu claro durante o alvorecer com a contribuição pronunciada dos particulados³ presentes na atmosfera e de dias com cobertura de nuvens, onde os tons avermelhados podem sugerir problemas na hora da classificação do céu.

Em virtude dessa necessidade de obter informações sobre a fração da cobertura de nuvens em superfície e, da carência da instrumentação existente, foi proposto e desenvolvido, como tese de doutorado, um sistema de mapeamento automático da fração de cobertura de nuvens em superfície, utilizando para isso uma câmara do tipo *Charge Coupled Device (CCD)*⁴ e algoritmo de interpretação das imagens. Este trabalho apresenta a descrição do sistema automático de fração de cobertura de nuvens, exemplos do tipo de aquisição e uma breve comparação das informações sobre a fração de nuvens e a radiação solar (global, direta e difusa) medida pelos instrumentos da estação solarimétrica da rede *Baseline Surface Radiation Network (BSRN)*

A. Sistema de mapeamento automático

A metodologia proposta abrange o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de mapeamento automático da fração



FIG. 1: Protótipo do conjunto composto pela câmera Pixera e lente tipo *grande angular* montada na UFSC-LABSOLAR. O sistema foi montado com o anel de sombreamento.

de cobertura de nuvens baseado em aquisição de imagens com câmera do tipo CCD em superfície e algoritmos para análise das imagens coletadas, para determinação da fração da cobertura de nuvens. O trabalho foi desenvolvido em Florianópolis (latitude $27^{\circ} 28' S$, longitude $48^{\circ} 29' W$, altitude 15m), no estado de Santa Catarina, fazendo uso das instalações de uma estação da rede *Baseline Surface Radiation Network (BSRN)*, administrada pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR-UFSC).

Foi montado um protótipo do sistema de aquisição de imagens tendo como componentes uma câmera digital PIXERA modelo PCS20232, que opera na faixa de radiação do visível, em cuja abertura foi adaptada uma lente grande angular (tipo *fisheye* FC-E8 da Nikon). O conjunto foi montado sobre uma plataforma de coleta de dados de radiação solar da rede *BSRN* e dotada de um sistema de sombreamento da lente para evitar a incidência da radiação solar diretamente sobre o sistema óptico.

A aquisição de imagens é feita no sistema de cores vermelho, verde e azul (RGB) e posteriormente transformadas para o espaço de atributos *Intensity, Hue, Saturation (IHS)*. O sistema *IHS* apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB, pois separa as informações de cromaticidade e intensidade (Gonzales e Woods, 1992). A principal caracte-

³ Aerossóis são constituídos por partículas pequenas, sólidas ou líquidas, maiores que as moléculas, encontradas em suspensão na atmosfera. Seinfeld, J.H. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, 1986.

⁴ *Charge Coupled Device (CCD)* – uma tradução para língua portuguesa poderia ser dispositivos de coleta de cargas. As *CCDs* funcionam pela captação de imagens por produção de cargas devido ao efeito fotoelétrico sobre um material semiconductor.

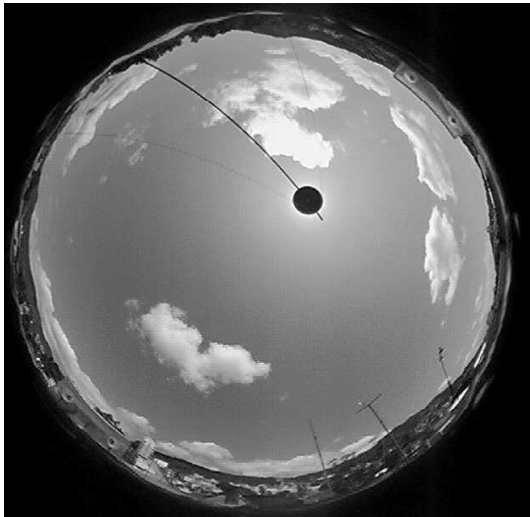


FIG. 2: Exemplo da aquisição de imagens do sistema ao lado, dotado com o sombreador. Dia 08/01/2002 hora local 16h:10min.

terística da metodologia de análise das imagens, está baseada na diferença existente entre os níveis de saturação do céu claro e das nuvens. As nuvens apresentam alta reflectância e tons pastéis, que revelam a mistura de vários comprimentos de onda. Em contrapartida, o céu apresenta uma alta saturação na região visível do espectro. O algoritmo para análise das imagens, está sendo desenvolvido utilizando a informação de saturação para analisar os *pixels* que apresentam contaminação por nuvem (Souza, 1999). O algoritmo manipula os seguintes parâmetros experimentais da fração da cobertura de nuvens: variabilidade temporal e intervalo de aquisição de coleta de imagens de acordo com a dinâmica local. A base deste algoritmo é o processo de decisão preestabelecido empiricamente por observadores de campo, através deste processo o algoritmo gera através da estatística das imagens, a fração de cobertura de nuvens (Souza Echer, 2004).

A Figura 1 exibe a montagem do equipamento do sistema de mapeamento automático. A Figura 2 exemplifica o tipo de imagem genérica coletada pelo protótipo, pode-se observar o braço sombreador com um disco na extremidade, cuja posição é controlada por um motor marca-passo e cuja função é proteger a câmera da radiação solar direta no sistema óptico.

A Figura 3 apresenta um croqui do sistema de coleta automática, com legenda com descrição sobre as partes do sistema imageador.

Para que o occultador acompanhasse a trajetória do Sol ao longo do dia foi adaptado um motor de passo simples, para fazer a haste caminhar seguindo o deslocamento do Sol ao longo do dia. O ajuste do sombreador quanto ao azimute é feito manualmente.

A Figura 4 (A) apresenta a câmera Pixera, (B) o conjunto câmera Pixera e lente grande angular adaptada dentro do compartimento de proteção confeccionado em cloreto de polivinil (PVC). A lente original que acompanhava a câmera foi retirada e em seu lugar foi adaptada a lente FCE8 da *Nikon*. A adaptação foi possível, pois a câmera possui ajuste de distância focal que pode ser regulado no bocal da objetiva.

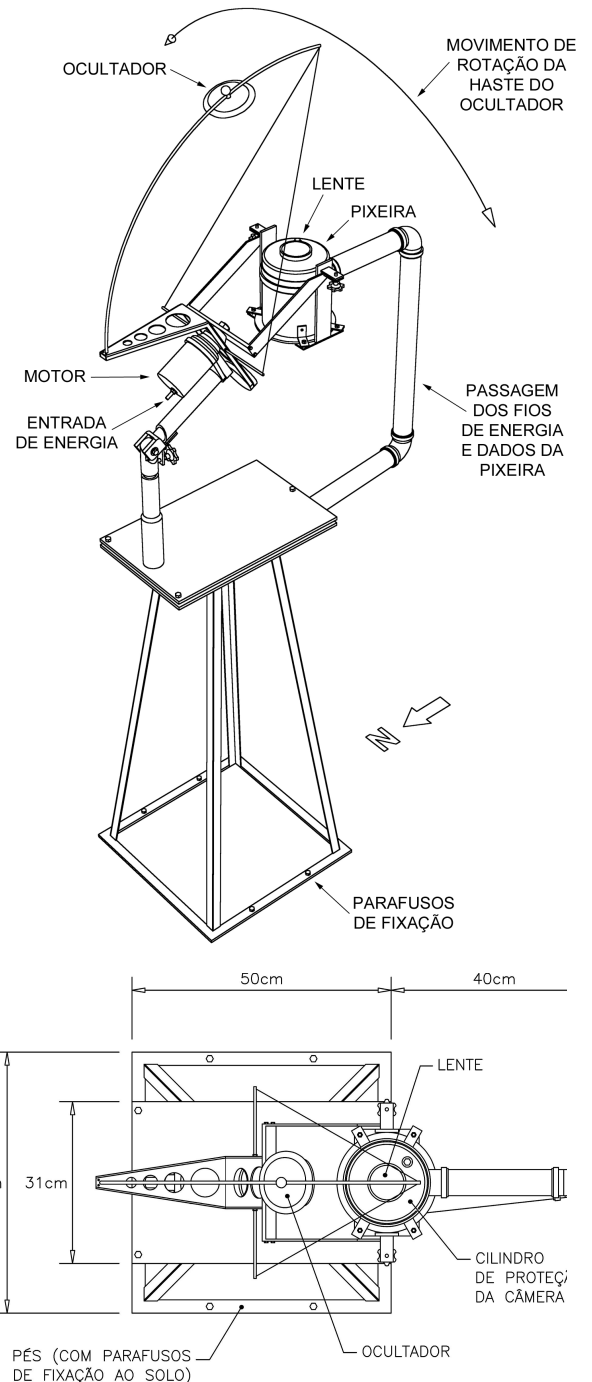


FIG. 3: Croqui ilustrativo do sistema imageador (acima) e perspectiva do imageador (abaixo).

A adaptação foi feita utilizando-se um anel destinado a compatibilizar o diâmetro interno do bocal da objetiva da câmera com o diâmetro externo da lente da *Nikon*. Como não havia rosca e não se desejava provocar danos em ambas unidades durante a usinagem, o anel foi fixado com cola de silicone. Após a adaptação, o conjunto lente e câmera foram inseridos em um compartimento cilíndrico de proteção confeccionado

em PVC, com 155 mm de diâmetro.

TABELA 1. Características do equipamento

Características da câmera Pixera PCS20232	
Sensor de imagem	1/3" CCD
Resolução do sensor	516(H) X 492(V) píxeis
Peso	50g
Volume	100mm X 110mm X 33mm
Consumo	1,2 W(5V , 230mA)
Resposta espectral	Visível (0,39 a 0,77 μm)
Tempo de aquisição	1/10,000 a 1/20 segundos
Imagens	24 Bits RGB
Acessórios	
Interface digital (placa) Cabo de interface de 9m Bibliotecas de comunicação com a câmera Lente Fisheye Convert E8 (Nikon)	

A Tabela 1 apresenta as características da câmera Pixera. Esse tipo de câmera tem seu mercado de aplicação apontado para laboratórios que trabalham com microscopia eletrônica, álbuns fotográficos e filmagens.

Essa câmera não foi desenvolvida primordialmente para o fim de observação em ambientes externos com grande variabilidade de temperatura e luminosidade, porém ela atendeu com boa qualidade sua função de captura de imagens externas.

O sistema está à altura da plataforma dos radiômetros (global, direta e difusa) da estação solarimétrica, a bancada com os radiômetros podem ser visualizadas na Fig. 5.

As informações sobre radiação solar foram usadas para obtenção dos parâmetros de nebulosidade K_t (razão entre o total diário da radiação global incidente na superfície e o total diário da radiação global no topo da atmosfera) e K_d (razão entre o total diário da radiação difusa incidente na superfície e o total de radiação global no topo da atmosfera) com o emprego de piranômetros (Kipp & Zonen) para radiação global e difusa.

Sendo as nuvens agentes moduladores da radiação solar, espera-se que em presença de céu claro a radiação siga o comportamento descrito por Pereira e Colle (1997).

II. AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTURA DAS IMAGENS

A câmera Pixera foi adquirida com um pacote de programas fechado para manipulação e transferência das imagens. Entretanto, o acionamento da câmera era feito manualmente. Para automatizar a captura de imagens, o primeiro passo foi estabelecer a comunicação com a câmera através da interface e fazê-la reconhecer a ordem enviada pelo computador para captura automática das imagens. O sistema é acionado através do programa desenvolvido no LABSOLAR, a partir das bibliotecas de controle da câmera enviadas pelo fabricante. O programa utiliza uma interface gráfica, básica e simples, para facilitar a sua operação.



FIG. 4: (A) Câmera Pixera; (B) Câmera e lente unidas dentro do compartimento de PVC.

A Figura 6 apresenta a interface desenvolvida para a captura das imagens, mostrando as opções de entrada da hora inicial e hora final. Os campos são utilizados para instruir ao programa o intervalo de operação da câmera. Para que a imagem seja capturada, é necessário que a opção **Ativar** seja selecionada. Essa opção foi criada para desabilitar temporariamente a câmera, se necessário, sem que seja obrigatório o fechamento do programa. Com esse procedimento a câmera



FIG. 5: BSRN Florianópolis – SC Bancada de instrumentos de radiação solar visto na da foto: (A) Pirheliômetro de cavidade absoluta, visto a direita da foto; (B) Piranômetro com anel de sombreamento logo após o Pirheliômetro. Fonte: Sylvio Mantelli

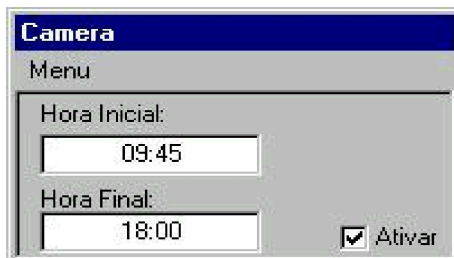


FIG. 6: Interface gráfica para aquisição das imagens.

pode ser acionada manualmente, quando necessário, pelo *software* original da Pixera.

Foi utilizada uma função da linguagem C++ que captura a hora atual do relógio do sistema operacional. A hora é obtida já de forma separada: hora na variável hora e minuto na variável minuto. Com os dados hora e minuto, é feita a comparação da hora atual para saber se o intervalo é o determinado pelo operador. Se o resultado do teste for verdadeiro então o programa testa os minutos para verificar se coincide com um dos intervalos: 00, 15, 30 ou 45 minutos. Caso esse segundo teste seja verdadeiro, é acionado um procedimento que irá inicializar a captura da imagem. A atualização

das variáveis hora e minuto e as comparações são feitas durante todos os minutos do intervalo determinado pelo operador, como hora inicial e hora final.

Uma vez iniciado o procedimento para inicializar a aquisição de imagens, são também atualizadas as variáveis dia, mês e ano. Essas variáveis serão utilizadas quando a imagem for gravada. O nome das imagens tem o seguinte padrão: “mesdiahoramimino.jpeg”. Com esse procedimento, as imagens são automaticamente ordenadas.

Algumas variáveis da biblioteca de comunicação com a câmera fornecidas pelo fabricante foram alteradas para um maior controle sobre as características das imagens, como por exemplo o tamanho da imagem. Algumas das suas variáveis foram mantidas no padrão do *software* original (*default*), como por exemplo, a função “auto brilho”, que fixa o brilho e o contraste adequado para cada ambiente automaticamente. O ideal seria trabalhar com as imagens capturadas com o brilho e contraste fixos. Entretanto, os fornecedores da câmera não cederam as informações técnicas específicas sobre o algoritmo utilizado para ajustar a captura de imagens em função da luz disponível na hora da aquisição. Isso acabou por interferir no processamento das imagens, tornando necessária a criação de vários limiares de corte para avaliação das imagens coletadas ao longo do dia.

Na fase atual do trabalho, a aquisição tem início às 8:45 (GMT) e sua finalização às 21:45 (GMT), com uma aquisição a cada 15 minutos, no formato de gravação JPEG.

A Figura 7 apresenta o fluxograma de operação do sistema imageador, com os passos utilizados para captura de imagens. Os passos 1 e 2 executam a rotina para ativar a câmera e capturar imagem, descritos na Figura 6. O passo 3 consiste na transformação das imagens de RGB para IHS, o passo 4 é a realização da classificação dos pixels contaminados por nuvens, utilizando a informação da saturação para realização da classificação das imagens. O passo 5 consiste em arquivar em um banco de dados, as imagens classificadas.

A Figura 8 é composta por duas imagens que foram capturas durante os testes do sistema em 08 de janeiro de 2002, hora local 16h:10min e 16h:15min. Observa-se ainda que pelo exemplo da Figura 2, as imagens da

Figura 8 sofreram uma restrição para a remoção da contaminação dos prédios do campus da UFSC, que podem ser visualizados na Figura 2. A remoção dos prédios foi realizada com o auxílio de um filtro desenvolvido em C, para realizar o recorte das imagens em torno de 5° ao horizonte.

TABELA 2 Comparação entre três dias para o mês de outubro de 2002

Parâmetro/Dia	04 out 2002	05 out 2002	06 out 2002
Fração de nuvens	$19,7 \pm 4,0 \%$	$94,5 \pm 1,4\%$	$45,7 \pm 24,5\%$
$f_{diária}$ global	$27,7 \text{ kW/m}^2$	$2,8 \text{ kW/m}^2$	$20,3 \text{ kW/m}^2$
$f_{diária}$ difusa	$4,1 \text{ kW/m}^2$	$2,5 \text{ kW/m}^2$	$8,1 \text{ kW/m}^2$
$f_{diária}$ direta horizontal	$23,0 \text{ kW/m}^2$	$8,8 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2$	$11,8 \text{ kW/m}^2$

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens coletadas pelo protótipo do sistema de mapeamento foram submetidas ao algoritmo que utiliza a

limiarização descrita por Souza Echer (2004). A Figura 7

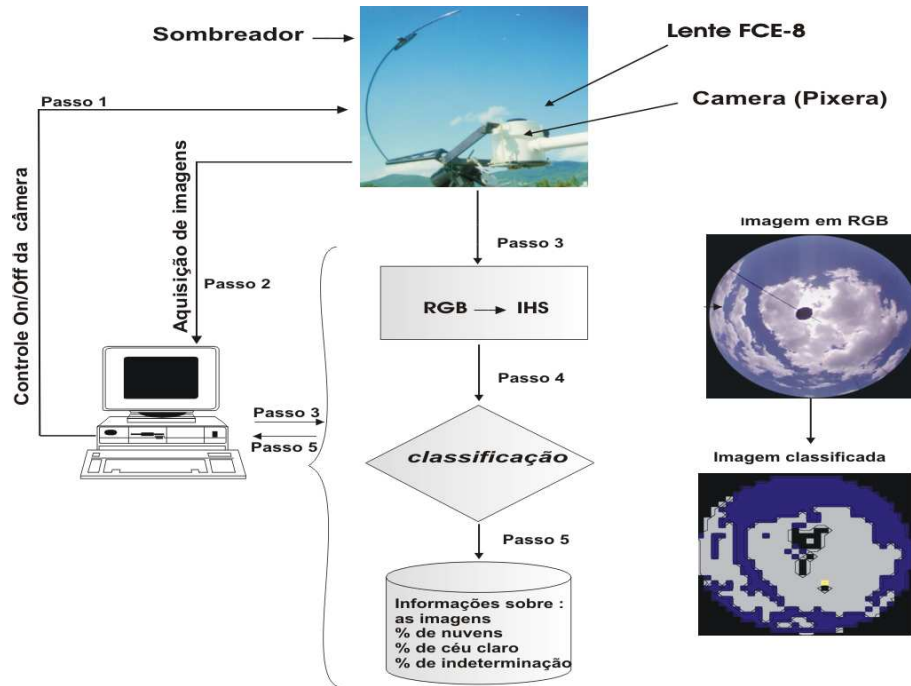


FIG. 7: Fluxograma de Operação do Sistema Mapeamento automático da Fração de Cobertura de Nuvens.

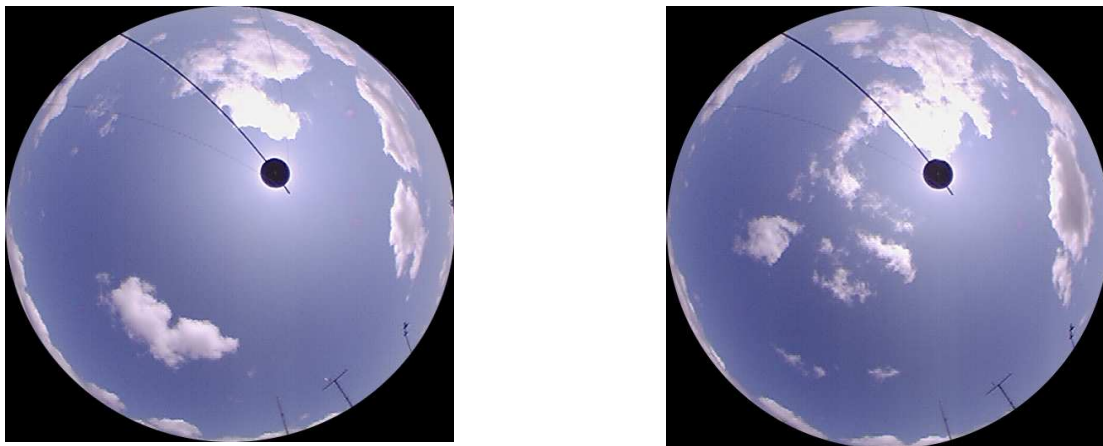


FIG. 8: Exemplo das imagens coletadas com o sistema, após a remoção da contaminação dos prédios do Campus da UFSC.

apresenta uma imagem em RGB coletada em 04/02/02, às 14h: 27min hora local (ao lado direito parte superior) e o mapa de cores, gerados através da resposta do algoritmo, com a imagem classificada (ao lado direito, parte inferior). Em azul encontra-se a representação para céu claro, em cinza os pixels contaminados por nuvens, em amarelo são as regiões na imagem que o algoritmo classificou como indeterminados. Observa-se ainda que, na região central da imagem em RGB, próximo ao disco de sombreamento, as nuvens apresentam um alto brilho. Esse efeito é perceptível no mapa de cores gerado através do algoritmo, quando percebe-se no centro do mapa regiões escuras devido aos baixos valores de saturação da ordem de 0, comparável apenas as bordas da imagem.

Os dados de radiação solar foram utilizados para auxiliar a

compreensão da resposta dada pelo sistema as imagens processadas, um exemplo do uso dos dados de radiação solar podem ser visualizados na Figura 9, que apresenta dois gráficos para os dias 4, 5 e 6 de outubro de 2002. O primeiro gráfico mostra as curvas da radiação solar global, difusa e direta horizontal⁵. O segundo gráfico apresenta a fração de cobertura de nuvens para os mesmos dias. É possível visualizar três cenários típicos de condições de céu: céu claro, céu total-

⁵ A radiação direta medida, é obtida numa superfície normal ao feixe solar e deve ser corrigida pelo co-seno do ângulo solar zenital para determinar-se a radiação direta sobre uma superfície horizontal. Desta forma radiação global = (radiação difusa+ radiação direta horizontal)

mente encoberto e céu parcialmente encoberto. O dia 4 de outubro um dia típico de céu claro. O dia 5 de outubro representa um cenário com o céu totalmente encoberto por nuvens. O dia 6 de outubro representa um cenário de céu parcialmente encoberto. Neste ultimo caso a evolução da radiação solar pode ser acompanhada para o período do dia em que o céu esteve encoberto e para a segunda metade do dia em que a nebulosidade cede espaço ao céu claro. A feição da diminuição da nebulosidade dando lugar a céu claro fica bastante evidente no exemplo para fração de nuvens do dia 6 de outubro de 2002.

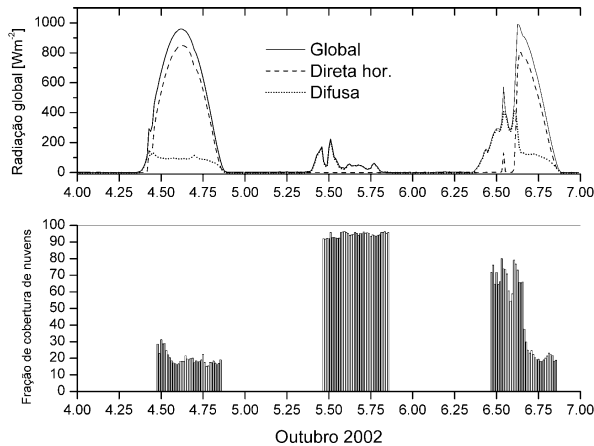


FIG. 9: Gráfico superior apresenta a radiação global, difusa e direta para os dias 4, 5 e 6 de outubro de 2002. Gráfico inferior apresenta fração da cobertura de nuvens para o mesmo período.

A Tabela 2, apresenta na primeira coluna as informações sobre os parâmetros utilizados para comparação dos dias: fração de nuvens e as integrais diárias de radiação solar global, difusa e direta, as demais colunas contêm as informações relacionadas aos parâmetros da primeira coluna para os dias 4, 5 e 6 de outubro de 2002.

O dia 4 de outubro, foi um dia claro com nebulosidade de $19,7 \pm 4,0$ %. A integral diária da radiação global foi de $27,7 \text{ kW/m}^2$. O dia 5 apresenta um cenário com nebulosidade de $94,5 \pm 1,4$ %, a integral diária da radiação global foi de $2,8 \text{ kW/m}^2$. Em termos de diferença da nebulosidade entre o dia 4 e 5, tem-se variações diárias de nebulosidade entre $94,5 \pm 1,4$ % e $19,7 \pm 4,0$ %, com a variação da radiação solar global do dia 4 para o dia 5 de $24,9 \text{ kW/m}^2$.

O dia 6 apresenta nebulosidade de $45,7 \pm 24,5$ %, o que varia entre céu claro e céu parcialmente encoberto, quando comparado à diferença de nebulosidade entre os dias 4 (claro) e 5 (encoberto). Contudo, a diferença entre as integrais diárias da radiação global entre o dia 4 e 6 foi de $7,4 \text{ kW/m}^2$, entre o dia 5 e 6 foi de $17,5 \text{ kW/m}^2$.

Através desses valores percebe-se que em condições de céu claro (dia 4 de outubro) e céu parcialmente encoberto (6 de outubro) a radiação solar pode ser bastante variada. A integral diária da radiação difusa praticamente dobra do dia 4 para o dia 6. A integral diária da radiação direta reduz-se a metade, isso para a condição de nebulosidade de $19,7 \pm 4,0$ %, visto na Figura 9 como céu claro, para céu parcialmente encoberto

com nebulosidade de 21,2% - 70,2%.

Aparentemente as imagens fornecidas pelo sistema automático de captura de imagens parecem atender as necessidades de instrumentação de campo para observação das condições de céu. Não cabe a esse trabalho descrever o algoritmo que realiza o procedimento de classificação de imagens, entretanto os resultados que podem ser visualizados na Figura 8 sugerem que a classificação está sendo realizada de modo coerente.

IV. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi descrever uma metodologia automática de campo para determinar a fração de cobertura de nuvens e validá-la para a região de Florianópolis. Durante essa primeira fase do trabalho, as imagens coletadas em Florianópolis foram trazidas a São José dos Campos para serem processadas e classificadas através do programa classificador de imagens.

Para avaliar os primeiros resultados sobre a cobertura de nuvens gerada pelo programa classificador, foram utilizados dados de radiação solar global, direta e difusa bem como o índice Kt para o mesmo sítio onde se encontra o sistema de captura de imagens. Essa etapa foi um passo de grande importância em termos de análise desta nova metodologia de análise de dados sobre fração de cobertura de nuvens.

O principal benefício esperado do sistema de coleta automática de imagens é que seja capaz de fornecer uma série de dados com alta resolução espaço-temporal de imagens para auxiliar estudos sobre transferência radiativa na atmosfera e ciências afim. As características principais esperadas para o protótipo são: automação, consistência dos dados, simplicidade de operação e baixo custo. Essa última característica visa possibilitar sua entrada em rotinas de operação em estações meteorológicas e experimentos científicos que requeiram esse tipo de informação e como auxílio em outras áreas como: agrometeorologia, engenharia civil e ao controle de tráfego aéreo.

Verifica-se que o sistema de mapeamento automático de nuvens, é viável sob o ponto de vista prático e operacional, pois não necessita de operador instrumental. Quanto a relação custo-benefício existem câmaras CCD de baixo custo para comercialização no mercado, isso confere ao sistema algumas expectativas quanto ao seu uso potencial após seu desenvolvimento.

V. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de doutorado número 140373/2000-4, à UFSC na pessoa do doutor Samuel Luna pela ajuda com os dados de radiação solar, aos bolsistas Atsunori e Guilherme pela ajuda com a transmissão dos dados da BRSN. A Silvia V. Pereira (projeto SONDA/INPE) pelo trabalho de diagramação do croqui. Ao doutor Francisco Jablonsk e ao tecnologista René Laporte (divisão de astrofísica do INPE) pelos esclarecimentos no decorrer do trabalho.

- [1] Paltridge, G. W., Platt, C. M. R. *Radiative processes in meteorology and climatology*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1976.
- [2] Wiscombe, W. J. Improved Mie scattering algorithms. *Appl. Optics*, **19**, 1505-1509(1980).
- [3] Salby, M. L. *Fundamentals of Atmospheric Physics*. USA.; New York, 1995.
- [4] Pereira, E.B., Colle, S. A energia que vem do sol. *Ciência Hoje*.v.**22**, n 130, p. 24-35. 1997.
- [5] International Energy Agency (IEA). A report of task 9, Vol 2: *Techniques for supplementing solar radiation network data*. Federal Republic of Germany (1992)
- [6] Escola de Especialista de Aeronáutica (EEAR) *Manual de observação à superfície*. Guaratinguetá,1993. (comunicação pessoal)
- [7] Pinker, R. T., Laszlo I. Modeling surface solar irradiance for satellite applications on a global scale. *J. Appl. Meteor.*, **31**, 194-211, 1992.
- [8] Ceballos, J.C; Bottino, M.J Modelo CPTEC GL para estimativa de radiação solar por satélite: versões GL1.0 e GL1.1. *Meteorologia Brasileira* além do ano 2000. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000.3768-3774
- [9] Svensmark, H. and Friis-Christensen, E. Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage – A Missing Link in Solar-climate Relationships, *J. Atmos. Solar-Terrestrial Physics*. **59**, 1225–1232. (1997).
- [10] Herman, J. R. and Goldberg, R. A ‘Sun, Weather, and climate’, NASA – Washington, D.C. 1978.
- [11] Rigozo, N. R., Nordemann, D. J. R., Echer, E., Zanandrea, A. and Gonzalez, W. D. Solar variability effects studied by tree-ring data wavelet analysis, *Adv. Space Res.* **29(12)**, 1985-1988, 2002.
- [12] Madruga, J.L.; Souza, M. P.;Pereira, E.B. Avaliação da influência da cobertura efetiva de nuvens na concentração de biomassa no Oceano Atlântico Sul utilizando dados de satélite. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5-10 abr. p. 1587- 1590 - Belo Horizonte 2003
- [13] Kirchoff, V. W. J. H.; Nasser, N. A radiação UV-B e seus efeitos na pele humana. In: Seminário de Interações Geomédicas, 1996, Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba.
- [14] Kirchoff, V. W. J. H.; Casiccia, C. A. R.; Zamorano, F. The ozone hole over Punta Arenas, Chile. *J. Geophys. Res.*, **102**, 8945-8953(1997)
- [15] Silva, A A . *A espessura óptica de aerossóis na banda do UV-B*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001 Tese (Doutorado em Geofísica espacial).
- [16] Martins, F.R. *Estudo Sobre a Influência dos Aerossóis e do Processo de Determinação da Cobertura de Nuvens no Modelo Físico de Radiação Solar – SR*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial).
- [17] Amaral, M. G. V. *Iluminação Natural:Revisão da Legislação construtiva de Florianópolis*. Universidade. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Dissertação de Mestrado.
- [18] Santos, J. M. *Contribuição aos estudos de albedo*, Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1957.Tese (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz)
- [19] Holle, R. L. MacKay, S. Tropical Cloudiness from All-Sky Cameras on Brabados and Adjacent Atlantic Ocean. *J. Appl. Meteorol.* **14**, 1437-1450(1975).
- [20] Shields, J.E.; Karr, M.E.; Tooman, T.P.; Soble, D.H.; Moore, T.S. The Whole Sky Image- A year of progress, 1988. Disponível em: <http://www.arm.gov/docs/documents/technical/conf_9803/shields-98.pdf>
- [21] Feister, U., Shields, J., Karr, M., Johnson, R., Dehne, K., and Woldt, M.,” Ground-Based Cloud Images and Sky Radiances in the Visible and Near Infrared Region from Whole Sky Imager Measurements”, *Proceedings Climate Monitoring – Satellite Application Facility Training Workshop*, DWD, EUMETSAT and WMO, 2000.Disponível em: <<http://www.mpl.ucsd.edu/people/jshields/publications/publications.htm>>
- [22] Gonzalez, R.C. Woods, R.E. *Digital image processing*. Massachusetts:Addison-Wesley,1992.
- [23] Souza, M.P. *Desenvolvimento de uma nova metodologia para determinação de cobertura efetiva de nuvens*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,1999. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial).
- [24] Souza-Echer, M.P. *Desenvolvimento de um sistema de mapeamento automático de fração de cobertura de nuvens*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.Tese (Doutorado em Geofísica espacial INPE)