

Modelo preliminar de estimativa de cobertura de nuvens, no espaço de cores RGB obtidas a partir de imageador automático.

Sylvio Luiz Mantelli Neto ^{1,2}
Aldo von Wangenheim ³
Enio Bueno Pereira ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC DMA
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.
eniobp@cptec.inpe.br

² Universidade Federal de Santa Catarina EMC-LABSOLAR
Campus Trindade - 88040-900 – Florianópolis - SC, Brasil
sylvio@labsolar.ufsc.br

³ Universidade Federal de Santa Catarina INF-LISHA
Campus Trindade - 88040-900 – Florianópolis - SC, Brasil
awangenh@inf.ufsc.br

Abstract. This paper analyzes images obtained from an automatic total sky imager ⁴. A preliminary classification of optical structures observed on images is proposed in RGB color space of attributes. Pixel RGB decomposition is done using a GDI ⁵ tool programmed in C++ language. This paper shows that RGB space could be used to observe the selected structures, group them in patterns and clearly find their occurrence locus in space. The objective of this study is to improve the automatic identification of patterns of scattering and absorption present in the atmosphere, captured by digital cameras from the surface for multiple remote sensing analyses.

Palavras-chave: image processing, atmospheric patterns, computer vision, absorption and scattering, processamento de imagens, padrões atmosféricos, visão computacional, absorção e espalhamento.

1. Introdução

A energia solar que chega ao topo da atmosfera interage com as moléculas e partículas que compõem a atmosfera e como resultado sofre uma modulação função de diversos fatores. A intensidade desta modulação depende das condições climáticas, meteorológicas locais, e do ângulo de elevação solar no horário de observação. Os dois maiores fenômenos de interação da energia solar antes de chegar à superfície são a absorção e o espalhamento e ocorrem com a energia ao longo de todo o espectro solar. A atmosfera é um sistema dinâmico em constante movimentação. Esta movimentação transporta estes elementos atmosféricos (gases, aerossóis vapor de água e nuvens) entre regiões diferentes, seja por advecção horizontal seja por turbulência. Esta dinâmica controla em última instância, a modulação da radiação solar incidente na superfície. Excetuando-se os fenômenos de modulação de energia causados pela rotação (diurnais) e declinação da Terra (sazonais), as nuvens são o elemento de maior importância na modulação da energia solar incidente. Por esta razão as nuvens necessitam de uma quantificação mais rigorosa para poderem ser parametrizadas e incorporadas em modelos atmosféricos em condições do céu Colle e Pereira (1998). A observação das nuvens a partir de satélites é muito limitada para as camadas intermediárias, e sofre limitações de distorção geométrica, conforme apontado por Rossow(1982) e Raschke e Preus(1979). A

⁴ TOTAL SKY IMAGER TSI 440 YANKEE ENVIRONMENTAL. WWW.YOUNGUSA.COM

⁵ GDI – GRAPHICAL DESIGN INTERFACE, BORLAND BUILDER 6.0

observação das nuvens a partir da superfície feita por operadores meteorológicos possui limitações como análise subjetiva visibilidade entre as camadas, distorção no horizonte etc. conforme apontado por Hoyt (1978) e Holle e Mackay (1975). A observação automática e contínua utilizando-se câmeras digitais depende dos sistemas utilizados e do método de interpretação das imagens. As câmeras CCD digitais têm-se tornado cada vez mais populares, tornando os custos cada vez mais acessíveis. Mas os sistemas de interpretação automática de análise de imagens de nuvens são raros e ainda têm muito que evoluir. O presente trabalho pretende contribuir nesta área visando uma melhor precisão na determinação automática na quantidade de nuvens presente no céu.

2. Materiais e métodos

De acordo com Iqbal (1983), 99% da radiação solar encontra-se na faixa de 0.2 a 4.0 nm e segue o modelo de distribuição de energia de radiação de corpo negro de acordo com o espectro padrão historicamente estabelecido pelo WRMC⁶ e NASA⁷. Apesar da energia solar se distribuir ao longo do ultravioleta, visível e infravermelho, muito pouco desta energia reside na faixa do ultravioleta. Aproximadamente metade desta energia encontra-se na faixa do visível, enquanto que a outra metade na faixa do infravermelho. O presente trabalho se limitará a faixa do visível, que corresponde à faixa de observação do olho humano e da limitação de resposta espectral das câmeras CCD utilizadas.

Em geral existe uma tendência de classificar os padrões existentes nas imagens de uma forma binária (céu e nuvens) retirando-se as obstruções. A classificação mais utilizada para separação das nuvens do céu é a limiarização simples através de nível de intensidade dos píxeis ou a decomposição de suas componentes utilizando-se o seu valor escalar no espaço de cores. A indução dos padrões presentes na imagem a um resultado binário limita a capacidade de interpretação dos algoritmos a uma análise de somente duas opções de padrões. A resposta binária não é apropriada para classificar os píxeis de imagem por que existem nesta várias estruturas ópticas resultantes da interação da luz solar com elementos atmosféricos. Por exemplo, a cor azul definida como céu representa fisicamente o espalhamento Rayleigh da luz solar, produzido por moléculas cujo diâmetro são muito menores do que o comprimento da radiação incidente (Iqbal 1983). A cor laranja ou avermelhada representa fisicamente o espalhamento Mie da luz solar por moléculas cujo tamanho é da mesma ordem ou maiores que o comprimento de onda da radiação incidente (Iqbal 1983). As nuvens compõem um espalhamento difuso em vários comprimentos de onda diferente cuja resultante é a cor branca e representa um espalhamento não especificado (Lillesand e Kiefer 1994). Além do espalhamento as nuvens, também causam absorção da radiação solar fisicamente representando os diferentes níveis de cinza nas imagens. Ao redor do Sol é muito comum a presença de um halo difuso que se estende além do círculo solar, resultante de um espalhamento causado pelos aerossóis e chamado de turbidez atmosférica. A turbidez na presença de céu azul causa uma difusão da luz solar que comumente é interpretada erroneamente como nuvem pelos algoritmos de saída binária (Mantelli, 2001). O Sol atrás de uma nuvem de espessura óptica intermediária gera uma região que possui um brilho de alta intensidade. Este brilho é causado pela propagação da luz solar em um meio heterogêneo. Este fenômeno causa problemas de interpretação dos píxeis quando se busca um resultado binário na imagem, por causa da concentração da alta intensidade de luz.

⁶ WRMC World Radiation Monitoring Center

⁷ NASA National Aeronautics and Space Administration

Um certo nível de inteligência computacional para a classificação dos padrões das imagens tem que ser utilizada para contornar estes problemas e obter uma interpretação automática adequada para estes padrões. Mas antes disto é necessário que se identifique preliminarmente quais são os padrões existentes para que depois se possa saber quais métodos são os mais apropriados para esta análise. O presente trabalho visa contribuir com uma análise mais detalhada na investigação acerca de qual método poderia ser o mais apropriado para a classificação dos padrões existentes no céu.

As imagens para o presente trabalho foram adquiridas utilizando o imageador de nuvens TSI-440 do projeto SONDA⁸, durante a fase de testes no LABSOLAR⁹ em Florianópolis SC. As imagens eram adquiridas automaticamente a cada 15 minutos pelo programa residente no imageador. A aquisição automática permite a formação de um grande conjunto de imagens ao longo do dia. O imageador utiliza uma câmera CCD¹⁰ direcionada para um refletor esférico. O refletor possui uma banda de obstrução da radiação solar direta, um sistema rastreador automático e um filtro ultravioleta para evitar danos ao elemento CCD da câmera de vídeo por exposição excessiva à luz solar. Antes de ser utilizado o imageador tem que ser programado para as condições de funcionamento local. O imageador produz arquivos no formato JPG¹¹ com resolução de 288x352 píxeis com 24 bits para a definição de cores. O imageador é um servidor de imagens possui certas facilidades como: configuração em um IP¹² estático, fornecer imagens pela internet, possuir aquisição programada, etc. Mas o programa de identificação de nuvens não é bom, fato que pode ser constatado por uma simples visualização dos resultados.

Para a análise das imagens, foi desenvolvida uma interface gráfica, utilizada como ferramenta para processamento intermediário e avaliação dos resultados. O programa não se encontra ainda em sua versão final, mas esta sendo desenvolvido para comportar análise multiespacial de cores, segmentação e análise cognitiva utilizando inteligência artificial, visando um sistema automatizado de interpretação de imagens.

O programa atualmente carrega as imagens no formato JPG e separa os píxeis nas componentes do espaço vetorial de cores RGB¹³. Outros espaços de cores podem ser utilizados, mas dependem de uma análise muito mais complexa e extensa que foge do contexto do presente trabalho. Vale a pena salientar o trabalho desenvolvido por Souza (2004) no espaço IHS¹⁴ para segmentação de nuvens. Mas de acordo com Rehrmann e Priese(1995) o espaço de cores IHS não é muito apropriado para se trabalhar com métodos que utilizam distâncias Euclidianas para a análise das imagens. Por isto o IHS foi temporariamente descartado para alcançar os objetivos imediatos do presente trabalho. O programa permite a visualização do histograma dos canais individuais de cores e o armazenamento dos arquivos destes dados para análise complementar. A **figura 1** ilustra uma visualização da interface gráfica com uma imagem já carregada e análise do histograma do canal de intensidade para a imagem à esquerda. Um fato a ser notado na imagem é a presença de céu azul, nuvens e o brilho no céu obtido a partir do espaço IHS ao redor do disco solar na vizinhança da banda de sombreamento, causada pela turbidez atmosférica. Durante a fase de carregamento da imagem

⁸ SONDA Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o Setor de Energia. Projeto FINEP

⁹ LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar do Departamento de Energia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina

¹⁰ CCD – Charged Coupled Device

¹¹ JPG – Joint Photographic Experts Group

¹² IP- Internet Protocol

¹³ RGB – Red Green Blue

¹⁴ IHS – Intensity Hue Saturation

o programa efetua a decomposição dos canais de cores e armazena os dados em um arquivo associado ao nome do arquivo de entrada. Em seguida os arquivos de saída são carregados em um programa comercialmente disponível, especificamente utilizado para a plotar tridimensionalmente dos dados. O programa permite também uma seleção de certos grupos de píxeis utilizando-se os valores das componentes RGB, para observação de alguns padrões isolados através dos gráficos. A partir dos gráficos pode ser desenvolvido um tratamento matemático baseado na geometria analítica tridimensional em espaços Euclidianos para a descrição dos fenômenos observados.

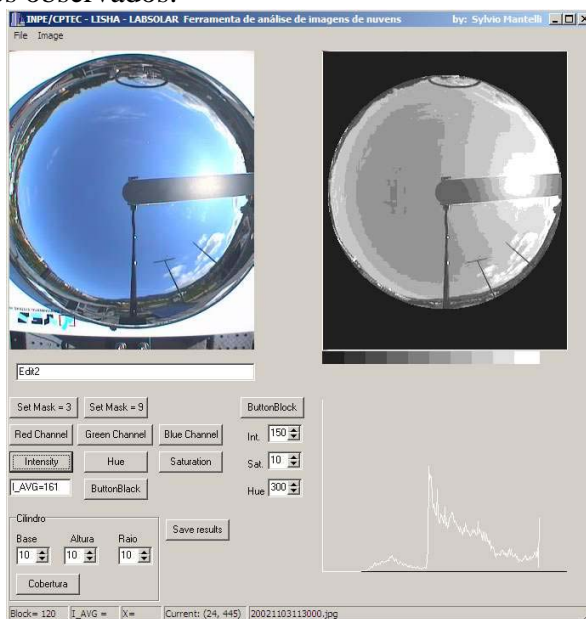


Figura 1. Ilustração da interface gráfica para análise das imagens de nuvens. Em destaque o efeito da turbidez atmosférica para o canal de intensidade.

3. Análise dos resultados

As imagens analisadas foram separadas pela ocorrência dos fenômenos existentes para se observar os extremos dos mesmos. As demais ocorrências foram consideradas casos intermediários, conforme poderá ser observado até o final do presente trabalho. O programa de análise das nuvens desenvolvido apresenta uma implementação da visualização dos histogramas dos canais IHS e RGB individualmente. Através da observação dos histogramas separados a partir dos canais RGB e IHS não se pode observar informações muito relevantes, porque o resultado dos fenômenos presente nas imagens se manifesta somente de maneira combinada. Por isto foi necessário um programa comercial para uma visualização tridimensional da localização dos pontos para se extrair alguma informação de maior relevância. O programa utilizado foi o Origin 7¹⁵, que permite o carregamento do gráfico dos píxeis de imagens simultaneamente, rotação dos eixos visualizados etc. Vale a pena salientar que cada imagem representa um conjunto de mais de 102000 pontos a serem plotados. Após a observação dos gráficos foram separados os seguintes casos de maior interesse para o presente trabalho. Céu encoberto conforme ilustrado na **figura 2**. Céu claro somente (ou céu azul) conforme ilustrado na **figura 3**. Céu claro com turbidez conforme ilustrado na **figura 4**. E finalmente a difusão da luz solar pelas nuvens de forma acentuada atrás de nuvens conforme ilustrado na **figura 5**. Vale a pena salientar que foram introduzidas artificialmente nos

¹⁵ ORIGIN 7.0 www.originlab.com

gráficos a diagonal principal do cubo de cores e as suas projeções, para servir de referência ao posicionamento dos píxeis da imagem a ser analisada no gráfico. Destaca-se o fato de que os pontos correspondentes à diagonal principal do cubo de cores correspondem aos níveis de cinza e indicam a intensidade da luminosidade presente na imagem.

Após a observação dos dados, pode-se observar que as imagens e os fenômenos selecionados apresentavam locais de ocorrência bem determinados no espaço de cores. Em uma análise preliminar pode-se observar o seguinte. Em primeiro lugar os píxeis correspondentes às nuvens não se apresentavam ao longo da diagonal principal do cubo de cores como era de se esperar. Mas se distribuíam nitidamente ao longo de uma reta que não passa pela origem e possui um ângulo de divergência em relação a diagonal principal conforme pode ser observado no gráfico da **figura 2**. As causas para o deslocamento da distribuição dos pixels para fora da diagonal precisam ser investigadas. Mas especula-se que pode ser pela utilização de um filtro ultravioleta instalado pelo fabricante do equipamento na câmera, ou pelo sistema que utiliza a focalização da imagem através de um refletor que atenua parcialmente a intensidade da luz do Sol ou ainda um outro fator a ser investigado com mais detalhes futuramente.

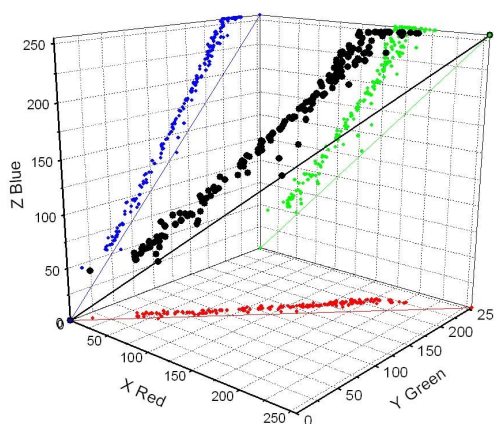


Figura 2. Imagem de céu encoberto e a distribuição dos píxeis no espaço RGB.

Em segundo lugar pode-se observar que os pixels correspondentes ao céu azul, também predominantemente se distribuem ao longo de uma reta, mas posicionados em um lugar diferente no espaço de cores conforme pode ser observado no gráfico da **figura 3**. A distribuição se faz ao longo de um segmento de reta finito suspenso no espaço vetorial. Os pontos observados fora ou mais distantes da reta, especula-se que podem ser relativos aos pontos mais brilhantes presentes na imagem original, causados pela deposição de pequenas manchas temporárias que se formam progressivamente na superfície do refletor entre dois períodos de limpeza consecutivos. A limpeza do refletor deve ser realizada regularmente por um operador.

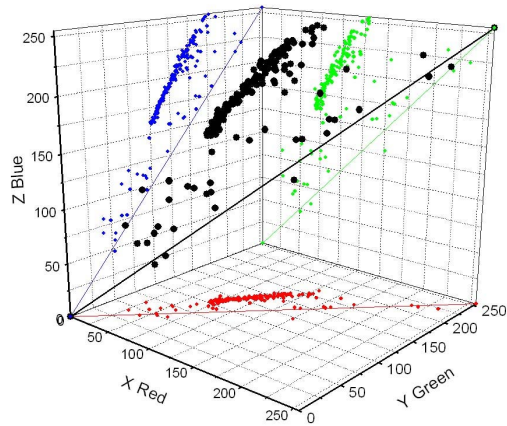
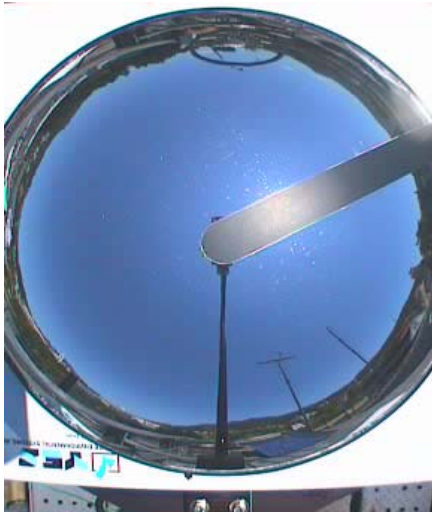


Figura 3. Imagem de céu claro e a distribuição dos píxeis no espaço RGB.

Em terceiro lugar pode-se observar a partir do gráfico da **figura 4** que os pontos relativos à difusão solar causado pela turbidez também se distribuem ao longo de uma reta distinta no espaço. A reta possui sua origem aparentemente desde um ponto de transição da reta de céu azul até o canto de máxima intensidade do cubo de cor. Os pontos fora da reta de azul são correspondentes aos pixels de nuvens distribuídos ao longo da imagem.

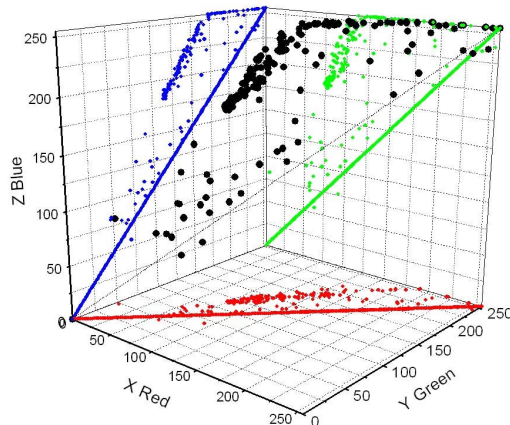


Figura 4. Imagem de céu claro com turbidez acentuada o gráfico dos píxeis no espaço RGB.

Em quarto lugar pode-se observar a partir do gráfico da **figura 5**, que a difusão da luz solar através das nuvens também formam uma reta passando pelo canto de máxima intensidade do cubo de cor, mas em um ângulo diferente da reta de difusão causada pela turbidez atmosférica. O ângulo entre as retas é diferente por que a luz que atravessa a nuvem sofre uma difusão e uma atenuação maior do que a da turbidez atmosférica.

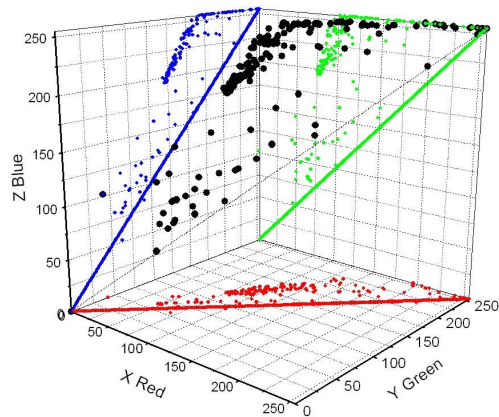


Figura 5. Imagem de céu com nuvem com difusão acentuada e o gráfico píxeis no espaço RGB.

A reta formada pelos pontos correspondentes a imagem de céu encoberto apresenta um indicativo claro da distribuição heterogênea e linear da luminosidade presente no céu. No início da presente investigação pensava-se em utilizar a reta próxima à diagonal principal para a segmentação das nuvens, como um indicativo de profundidade óptica atmosférica. Mas isto não corresponderia ao fenômeno que se pretendia observar (a transição entre céu e nuvem) mas da distribuição da luminosidade ao longo do céu. Esta reta também não passa pela origem ou pela diagonal do cubo de cores, indicando que existe um certo erro do sistema, cujo impacto na interpretação dos fenômenos atmosféricos precisam ser investigados. Mas os pontos podem ser projetados na diagonal principal algebricamente, para permitir uma normalização da intensidade luminosa das nuvens. A partir do extremo superior da reta de nuvens, se estende um outro segmento distinto de reta de pontos em direção ao ponto de máximo do cubo de cores. Fisicamente neste segmento encontram-se os pontos correspondentes a luz do Sol difusa atrás de uma nuvem. As duas retas apesar de bem próximas, podem ser consideradas como duas funções adjacentes e determinadas matematicamente.

A reta formada pelos pontos correspondentes a imagem de céu azul, também apresenta um indicativo de distribuição heterogênea e linear dos níveis de azul no céu. A partir do extremo superior da reta de céu azul se estende também um segmento de reta de pontos até o ponto de máximo do cubo de cores. A inclinação desta reta é diferente da reta de difusão da luz solar e fisicamente corresponde à turbidez atmosférica. Estas duas retas também podem ser modeladas matematicamente.

4. Comentários e Conclusões

A observação da distribuição dos pontos de interesse ao longo de retas no espaço vetorial, permite a utilização do método proposto como uma técnica alternativa de análise das imagens. A existências de píxeis distribuídos em quatro retas bem definidas no espaço de cores, demarcam um lugar comum para a ocorrência dos padrões de interesse do céu. Isto permite que pelo menos o padrão correspondente às nuvens seja clara e estatisticamente identificável, através de uma manipulação matemática mais rigorosa utilizando técnicas de álgebra linear e algoritmos de segmentação de imagens mais refinados. As retas no presente estudo foram obtidas a partir do ajuste linear das projeções dos planos que compõem o cubo de cores. A partir daí pode-se obter a forma paramétrica das retas dos padrões mais comuns. Além da

forma paramétrica podem ser utilizados vetores coincidentes às retas, e executar operações lineares e utilizar distâncias Euclidianas para classificação dos pontos de acordo com os padrões observados.

A partir das retas obtidas, uma quantificação da densidade das nuvens (ou profundidade ótica) poderia ser determinada a partir do gradiente existente entre a reta típica de ocorrência de céu azul e a reta de ocorrência de nuvens. As retas seriam os limites e através da distância Euclidiana entre elas seriam definidas escalas intermediárias. Através de um gradiente perpendicular à diagonal principal do cubo de cores, seria possível, determinar esta profundidade independentemente da distribuição heterogênea da luminosidade causada pela presença do Sol, conforme pode ser observado na **figura 6**. Adicionalmente na mesma imagem poderiam ser estimadas a quantidade de luminosidade no céu e a sua distribuição a partir da projeção das coordenadas do pixel de interesse na diagonal principal do cubo de cores.

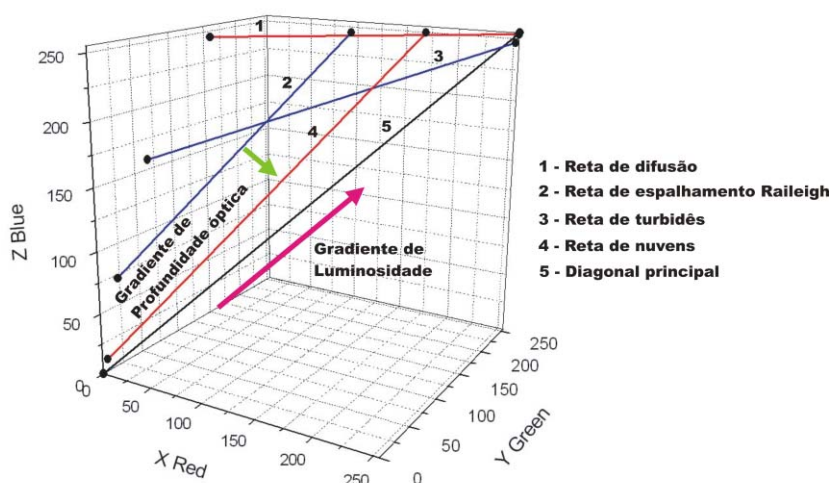


Figura 6. Localização das retas correspondentes a nuvens, espalhamento, difusão e turbidez no espaço RGB.

Ainda precisam ser refinados os ajustes da reta correspondente a turbidez, por que o desvio padrão foi consideravelmente maior do que o observado nas outras retas. Isto por que a seleção dos pixels correspondente à turbidez tem que ser feita de maneira mais seletiva antes do ajuste de retas. Isto apresenta uma certa dificuldade pela quantidade de pontos a serem analisados para a seleção. Outro fenômeno a ser considerado com cuidado é o alto nível de luminosidade presente na imagem próximo ao sol. A técnica apresentada permite a calibração da câmera por comparação com câmeras fotométricas calibradas para o estudo da distribuição da luminosidade no céu.

6. Agradecimentos

Projeto SONDA financiado pela FINEP: No. 22.01.0569.00, através do qual o presente estudo pode ser realizado.

Suporte técnico providenciado pelo INPE-CPTEC-DMA-LIM.

Suporte técnico na análise computacional pelo Laboratório de Visão Computacional da UFSC-INF-LISHA.

7. Referências bibliográficas

- Colle, Sergio, Pereira Enio B. Atlas de Irradiação Solar do Brasil. 1998. Editada por INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar Departamento de Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis SC 1998, 67 p..
- Holle L. R. e MacKay S. A. . Tropical Cloudness from all-sky cameras on Barbados and adjacent Atlantic ocean area. Journal of applied Meteorology. vol. 14 p. 1437-1450. 1975.
- Hoyt D. V. Interannual cloud-cover variations in the contiguous United States. Journal of Applied Meteorology vol. 17 p. 354-357 1978.
- Iqbal, M. Introduction to Solar Radiation. Academic Press, 1983. 390 p.
- Kreider D, Kuller R. C., Ostberg D. R., Perkins F. W. Introdução à análise linear. Vol. 1 e 2. Ao livro técnico SA e Ed. Universidade de Brasília. 1972.
- Lillesand T. M., Kiefer R. W.. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons 1994. 750p.
- Louis Leithold, O Cálculo com Geometria Analítica 3^a ed. Editora Harbra 1994.
- Souza Echer, M. P. *Desenvolvimento de um sistema de mapeamento automático de fração de cobertura de nuvens*. 187f. Tese (Doutorado em Geofísica espacial) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais , São José dos Campos, 2004
- Sylvio Luiz Mantelli Neto, Desenvolvimento de Metodologia para a estimativa da cobertura de nuvens usando uma câmera de superfície e comparando com as imagens de satélite. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação). Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Informática e Estatística, Florianópolis, 2001.
- Murray R. Spiegel. Manual de Formulas e Tabelas Matemáticas. Ed. McGraw-Hill do Brasil 1993.
- Raschke E., Preus H. J.. The determination of the solar radiation budget at theEarth's surface from satellite measurements, Meteor. Rundsch., 32, 18-28, 1979.
- Rehrmann V. , Priese L. Fast and robust segmentation of natural color scenes. Technical report of Image Recognition Lab. University of Koblenz-Landau, Koblenz Germany 1995.
- Rossow W. B. . Clouds. Atlas of satellite observations related to Global change. International Satellite Cloud Climatology Project ISCCP, 1982. p.141-162