

ÍNDICE DE ÁGUA PRECIPITÁVEL DA ATMOSFERA A PARTIR DOS CANAIS 4 E 5 DO AVHRR-NOAA

RAUL FRITZ BECHTEL TEIXEIRA¹

¹FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Av. Rui Barbosa, 1246 - 60115-221 - Fortaleza - CE, Brasil
fritz@funceme.br

Abstract. This paper describes the preliminary results of the Precipitable Water Index (PWI) obtained at the Foundation of Meteorology and Water Resources of the State of Ceará – FUNCEME, Brazil. It is used the split-window technique which comprises the difference between the brightness temperatures (in Celsius) from the thermal infrared AVHRR-NOAA channels 4 and 5. This index is very useful for wheater forecastings and climate studies and modeling.

Keywords: remote sensing, precipitable water index, AVHRR, NOAA satellites, meteorology.

1. Introdução

A água na fase gasosa, ou vapor d'água, presente na atmosfera da terra desempenha um papel fundamental na regulação do clima do nosso planeta. O vapor d'água representa a ligação entre a superfície terrestre e o manto de ar que a recobre. O conteúdo de vapor d'água no ar depende da magnitude dos processos de evaporação e de precipitação, segundo Randel et al. (1998). Dentro do ciclo hidrológico, o rápido movimento do vapor d'água encontra-se acoplado à umidade do solo e à precipitação as quais têm muitas implicações práticas.

O transporte do vapor d'água na atmosfera representa um dos fatores determinantes do clima global. O vapor d'água é transportado horizontalmente e verticalmente pela circulação atmosférica. Grande quantidade de vapor na atmosfera é carregada das áreas oceânicas (onde há intensa evaporação) para os continentes, onde vem a precipitar. A energia em movimento devido ao movimento do vapor na atmosfera, está na forma de calor latente. Quando ocorre a condensação, o calor latente é convertido em calor sensível o qual se constitui numa importante fonte de aquecimento atmosférico relacionada aos sistemas de circulação que estão associados, por sua vez, ao tempo e ao clima, conforme Mockler et al. (1994).

O vapor d'água representa, ainda, o principal componente do ar, no efeito estufa, "bloqueando" a passagem de parte da radiação de onda longa proveniente do aquecimento da superfície da terra.

O vapor d'água não se distribui uniformemente sobre a terra. Ele se concentra mais fortemente próximo do equador escasseando em direção aos pólos, de acordo com os padrões de temperatura dessas regiões. Também apresenta significativa variação vertical na atmosfera mostrando-se mais concentrado nos primeiros 5 quilômetros acima do nível médio do mar.

Existem várias formas de se estimar a quantidade de vapor d'água no ar. No sensoriamento remoto da nossa atmosfera, as sondagens verticais por satélites meteorológicos têm fornecido, dentro de suas limitações, estimativas da temperatura do ponto de orvalho, da umidade relativa e da água precipitável (ou vapor d'água atmosférico total) . Esta última, corresponde à altura de água que se formaria à superfície se todo o vapor d'água na coluna vertical atmosférica sob sondagem viesse a condensar e precipitar. Ela se constitui, portanto, em uma importante medida do teor de vapor d'água da atmosfera ou de quanto vapor d'água está disponível para se converter em precipitação. Altos valores de água precipitável podem indicar subseqüentes precipitações. Assim, quando se tem esses altos valores associados à instabilidades locais, chuvas (inclusive intensas) podem vir a ocorrer. Dessa forma, esse tipo de informação é muito valiosa para previsões de tempo de curto e muito curto prazo. Além do

mais, as estimativas da distribuição do vapor d'água ao longo do espaço e do tempo apresentam elevado valor em estudos climatológicos e na modelagem do clima da terra.

Neste, são descritos, brevemente, os primeiros resultados da estimativa, na FUNCEME, do vapor d'água total na atmosfera através do Índice de Água Precipitável (IAP), Dalu (1986), obtido a partir das informações de temperatura de brilho fornecidas por dois canais termais (no infravermelho) do radiômetro Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) que equipa os satélites meteorológicos operacionais, de órbita polar, da série NOAA (U.S. National Oceanic And Atmospheric Administration).

2. Fundamentação Teórica e Metodologia

As temperaturas de brilho fornecidas pelos canais 4 (10,3 a 11,3 μm) e 5 (11,5 a 12,5 μm) do imageador AVHRR-NOAA correspondem a medidas, em unidades de temperatura, da intensidade da radiação termicamente emitida pelo sistema solo-atmosfera. O IAP, que consiste somente na simples diferença entre as temperaturas de brilho dos dois canais mencionados ($\text{IAP} = T_{\text{B canal 4}} - T_{\text{B canal 5}}$), dá uma indicação de quanto vapor d'água está presente na atmosfera. Em virtude das medidas dos canais 4 e 5 representarem um volume amostrado desde o topo da atmosfera até à superfície, o IAP (evidentemente, na forma em que ele foi definido, ou seja, como um índice indicando mais ou menos vapor e não a altura de água em milímetros) consegue estimar a água precipitável total na coluna atmosférica.

Os canais do AVHRR trabalham em janelas atmosféricas relativamente transparentes de forma a permitir observações da superfície na ausência de nuvens. Entre, aproximadamente, 10 e 13 μm tem-se uma janela atmosférica em que as nuvens e o vapor d'água são os maiores responsáveis pela atenuação da radiação (a transmitância variando, nesse caso, entre 20 e 90 %). Sabendo-se que o termo "atenuação" envolve tanto a absorção como o espalhamento, observa-se que nos comprimentos de onda do infravermelho os processos de absorção são mais intensos e significativos do que os de espalhamento da radiação, daí a ênfase nos mesmos na técnica aqui abordada.

O vapor d'água presente no ar não absorve fortemente a radiação infravermelha (abrangida pelos canais 4 e 5) que chega no satélite, ou seja, a radiação é pouco atenuada o que quer dizer que ela é relativamente bem transmitida. Porém, simplificadamente falando, como o canal 5 situa-se num intervalo de comprimentos de onda ligeiramente maiores do aqueles do canal 4, ele é mais sensível ao vapor d'água (a radiação de maior comprimento de onda, com menor energia, passa com mais dificuldade pelo vapor). Assim, havendo mais vapor d'água ocorrerá uma maior atenuação, no canal 5, da intensidade da radiação que alcança o satélite. Note-se que a reemissão de infravermelho pelo vapor, após a absorção realizada pelo mesmo, acontece em comprimentos de onda maiores do que os que foram absorvidos. A temperatura de brilho medida pelo satélite, no canal 5, torna-se, portanto, menor na presença do vapor d'água. Segue-se, então, que a diferença entre os dois canais torna-se maior, ou seja, mais vapor d'água significa menor temperatura de brilho do canal 5 e um IAP mais elevado. O inverso (menor valor de IAP) ocorre quando se tem menos vapor.

O uso da diferença de absorção da radiação de onda longa, pelo vapor d'água, entre os dois canais é conhecida pelo nome de técnica "split-window".

A FUNCEME implementou, recentemente, o sistema TeraScan de aquisição e processamento de dados e imagens de satélites meteorológicos e ambientais. Nele, é possível trabalhar com imagens AVHRR-NOAA de forma a calcular o IAP como estabelecido acima. Para isso, basta dispor das imagens nos canais 4 e 5 e realizar a diferença entre os canais através da ferramenta, do aplicativo TeraVision, denominada "math". Nela, a variável 1 é escolhida como sendo o canal 4 e a variável 2, o canal 5. O IAP é calculado, sobre cada pixel

da imagem, como a diferença entre as duas variáveis (expressas em unidades de temperaturas Celsius), disso resultando uma nova imagem. Para visualizar essa imagem foi criada, no sistema, uma paleta de cores na qual usou-se a cor marrom para valores do índice entre $-1,0$ e $-0,5$, a cor amarela entre $-0,5$ e $0,6$, a cor verde entre $0,6$ e $1,7$, a cor azul entre $1,7$ e $2,8$ e a cor roxa entre $2,8$ e $7,0$. As áreas com menor teor de vapor d'água correspondem, portanto, aos valores pequenos do índice (marrom, amarelo e verde) e as de maior teor aos altos valores (azul e roxo).

3. Resultados

A **Figura 1(a)**, a seguir, mostra uma imagem AVHRR-NOAA, recepcionada e processada na FUNCEME, no canal 5 (infravermelho), do Nordeste do Brasil, correspondente a uma passagem do satélite NOAA-15, em 29/10/2002 às 18:20 h local. Ao seu lado, **Figura 1 (b)**, aparece uma imagem, também recepcionada e processada na FUNCEME, no canal do vapor d'água, do satélite geostacionário METEOSAT 7, de 29/10/2002 às 18:00 h local.

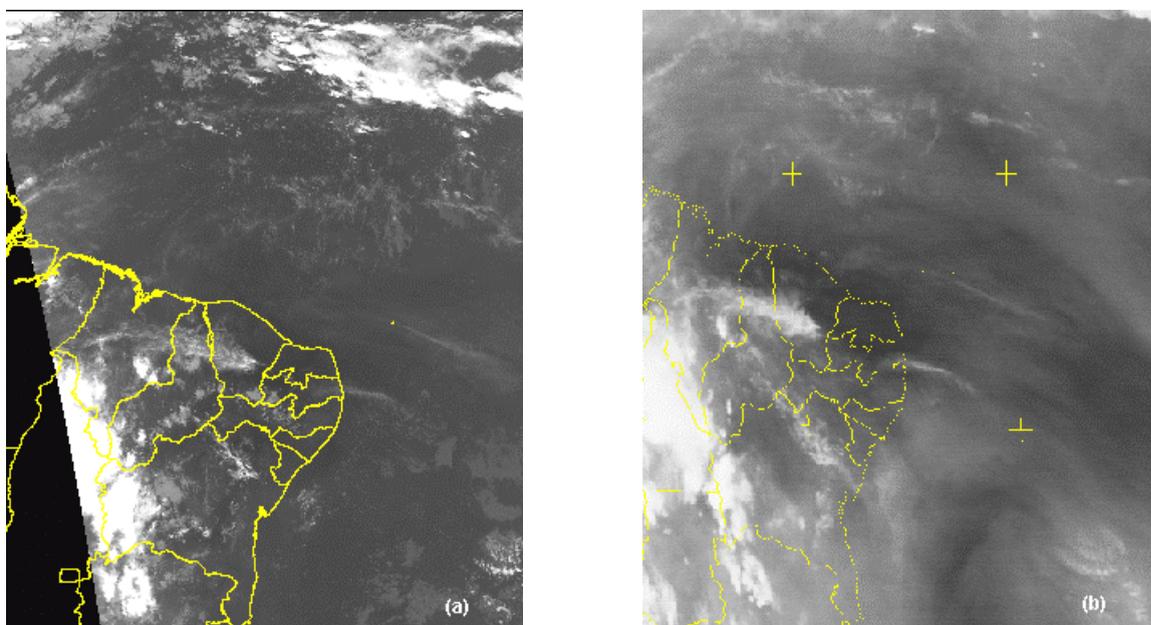


Figura 1 (a) e (b) – Imagem AVHRR (canal 5) fornecida pelo NOAA15, à esquerda, e imagem no vapor d'água, fornecida pelo METEOSAT 7, à direita, referentes ao dia 29/10/2002, às 18:20 h local em relação ao NOAA e 18:00 h local com respeito ao METEOSAT. Imagens geradas na FUNCEME.

A **Figura 2**, em seguida, exhibe uma imagem de IAP gerada, na FUNCEME, a partir da diferença entre as temperaturas de brilho de uma imagem, no canal 4, que não aparece na **Figura 1**, e da imagem, no canal 5, correspondente à **Figura 1 (a)**.

Apesar das radiâncias, no canal do vapor, para o satélite METEOSAT, representarem principalmente os níveis de 500-600 hPa, segundo Citeau et al. (1999), a imagem de IAP mostra certa concordância com a de vapor (**Figura 1 (b)**) proveniente do METEOSAT. O norte do Ceará e o Rio Grande do Norte, por exemplo, exibem, nas imagens, menor conteúdo de vapor d'água (tom verde, na imagem de IAP). Também aparecem menos úmidas algumas áreas do litoral leste do Nordeste. No Oceano Atlântico, na altura da Bahia, vê-se os mesmos padrões, curvilíneos, de umidade e de ar mais seco, nas imagens.

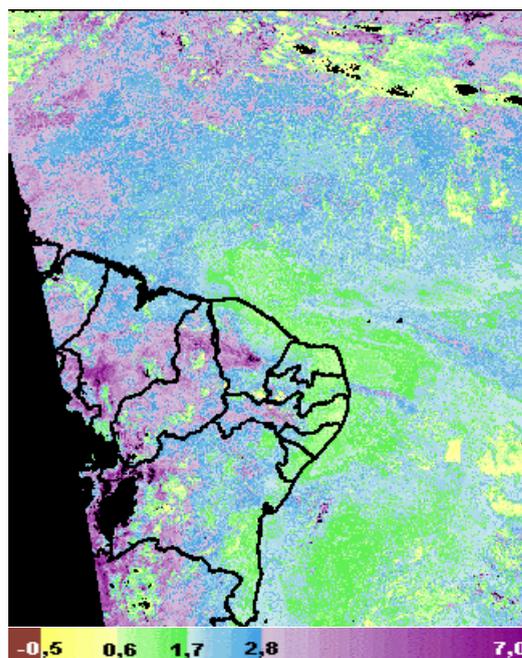


Figura 2 – Imagem de IAP, de 29/10/2002, gerada, na FUNCEME, a partir de imagens AVHRR, nos canais 4 e 5, fornecidas pelo satélite NOAA-15 em passagem em torno das 18:20 h local.

Observa-se, ainda, que não foi utilizada uma máscara de nuvens na geração da imagem de IAP. Assim, as nuvens não devem ser confundidas com áreas de concentração de umidade.

Imagens meteorológicas posteriores à imagem de IAP apresentada, mostraram céu predominantemente claro ao longo do litoral do Ceará, correspondendo, portanto, às condições atmosféricas de baixa umidade indicadas pelo IAP.

Na seqüência, **Figura 3 (a) e (b)**, vê-se exemplos de composições de imagens IAP (no caso, para os meses de setembro e outubro de 1999), para a América do Sul, geradas pela NOAA's National Climatic Data Center (NCDC) – National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS), EUA, para fins de estudos climáticos.

Observa-se, na **Figura 3 (a) e (b)**, áreas mais úmidas (em azul e roxo) no centro-norte da América do Sul ou na região tropical.

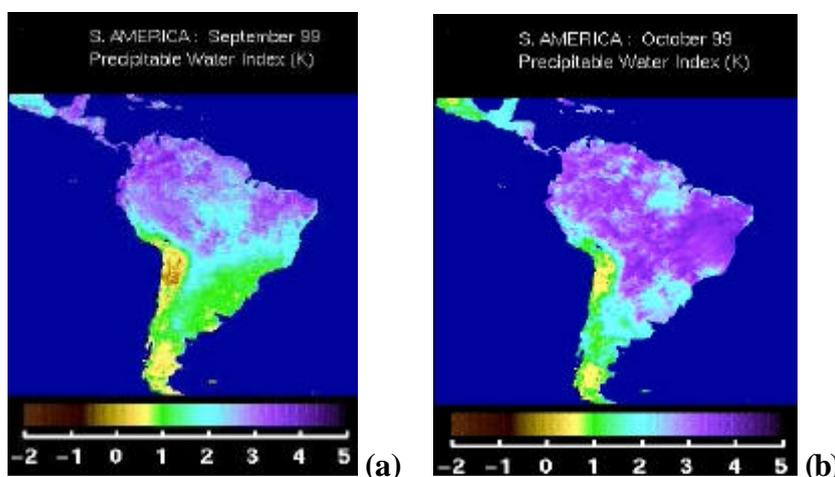


Figura 3 (a) e (b) – Imagens de IAP, para setembro (à esquerda) e outubro (à direita) de 1999, geradas pelo NCDC- NESDIS, da NOAA, EUA.

4. Conclusões e Recomendações

De acordo com os primeiros resultados obtidos, depreende-se que as imagens de IAP podem servir bem, no sensoriamento remoto da atmosfera de nosso planeta, à realização de análise e previsão de tempo e à elaboração de importantes estudos climatológicos. Essas imagens podem complementar informações de umidade a partir de sondagens verticais da atmosfera e de imageamentos no vapor d'água provenientes de satélites meteorológicos operacionais.

O uso das imagens de IAP, na FUNCEME, deverá contribuir para um incremento em qualidade das atividades nas áreas do tempo e do clima desenvolvidas por esse órgão do Governo do Estado do Ceará.

Recomenda-se, por fim, que máscaras de nuvens sejam aplicadas a essas imagens para melhorar a sua apresentação e facilitar a sua interpretação.

Referências e Bibliografia

Chang, F.-C.; Jedlovec, G. J.; Suggs, R. J.; Guillory, A. R. Intercomparisons of total precipitable water from satellite and other long term data sets. In: 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, UNESCO, Paris, France, 25-29 May 1998. *Pre-Prints*. American Meteorological Society, Société Météorologique de France, EUMETSAT, 1998. v. 1, p. 26-29.

Citeau, J.; Dagorne, D.; Lahuec, J.-P. Relationships between the water vapor above the Atlantic and Western Africa and regional climate: Introduction of FLUVAP Project. In: The Tenth International ATOVS Study Conference, Boulder, Colorado, USA, 27 Jan-2 Feb 1999. *Proceedings*. International ATOVS Working Group, Dec 1999, p. 104-112.

Dalu, G. Satellite remote sensing of atmospheric water vapor. *International Journal of Remote Sensing*, v. 7, p. 1089-1097, 1986.

Mockler, S.B. *Water vapor in the climate system*. AGU Special Report. Washington, DC, USA: American Geophysical Union, December 1995. 13 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. Description of precipitable water index. Disponível em: <http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/crad/sat/surf/html/gvi_pwi.html>. Acesso: 09 outubro 2002.

National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. Precipitable water index. Disponível em: <<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/IMAGES/gvi.html>>. Acesso: 09 outubro 2002.

National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. Experimental image mapping system. Disponível em: <<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/IMAGES/CONUS.html>>. Acesso: 10 outubro 2002.

National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. NOAA GVI Guide. Appendix O. Precipitable water index. Disponível em: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/gviug/html/o/2-info.htm>>. Acesso: 11 setembro 2002.

Randel, D.L.; Haar, V.T.H.; Ringerud, M.A. Observed variability of total column water vapor related to atmospheric temperature. In: 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, UNESCO, Paris, France, 25-29 May 1998. *Pre-Prints*. American Meteorological Society, Société Météorologique de France, EUMETSAT, 1998. v. 1, p. 15-17.

The University of Texas at Austin. Atmospheric Attenuation and Atmospheric Windows. Disponível em: <http://www.utexas.edu/depts/grg/classes/crum/rs_project/module3/3_2.html>. Acesso: 21 outubro 2002.