

INDICE DE VEGETAÇÃO NOAA/AVHRR PARA A AMÉRICA DO SUL

D. C. FIGUEIREDO

Min. Agric. / Sec. Informática, S.A.I.O. Área do INEMET, Ed. SECINF, CEP
70000 Brasília-DF, Brasil.

A. SETZER

INPE/CSA - C. postal 515 CEP 12201 São José dos Campos - SP, Brasil.

RESUMO

Este trabalho descreve sucintamente a geração de imagens-mosaico de índices de vegetação a partir de processamento digital de imagens dos satélites polares da série NOAA, utilizando-se o equipamento de tratamento de imagens da série SITIM. São utilizadas imagens nas bandas 1 (0,58u - 0,68u) e 2 (0,72u - 1,1u), obtidas por meio do sensor AVHRR, com resolução espacial de 1,1 km, recebidas pelo INPE em C. Paulista, SP. No processo utiliza-se programas de navegação para correção geométrica de imagens. Como resultado produz-se imagens digitais de índice de vegetação, com 1020 X 1024 píxeis a uma resolução espacial de 5 km, cobrindo em projeção cartográfica convencional a parte da América do Sul compreendida entre 0 a 45 graus sul e 32 a 77 graus oeste. Os resultados, em forma de testes com imagens de 1988, indicam possibilidades de uso futuro em aplicações do sensoriamento remoto regional e a nível global de nosso continente.

ABSTRACT

This paper briefly describes the production of mosaic images of vegetation index obtained from digital images of the polar orbiting NOAA satellites using the "SITIM" image processing equipment. Bands 1(0.58u - 0.68u) and 2(0.72u - 1.1u) of the full 1.1 km resolution AVHRR images received by INPE at C. Paulista, SP, are used. A navigation software is employed to correct the images geometrically. The final product is a vegetation index

digital image with 1020 X 1024 pixel and space resolution of 5 km covering South-America between 0 - 45 dg. south and 32 - 77 dg. west. Test results with 1988 images demonstrated the potential for future remote sensing applications at regional and continental level.

1 - INTRODUÇÃO

Estudos da vegetação por sensoriamento remoto normalmente usam comprimentos de ondas específicos selecionados para fornecer informações sobre a vegetação presente na área de interesse. Estas regiões do espectro são selecionadas de modo que a correspondente radiação refletida venha conduzir um forte sinal da vegetação e ter bom contraste espectral em relação ao solo. (figura 1).

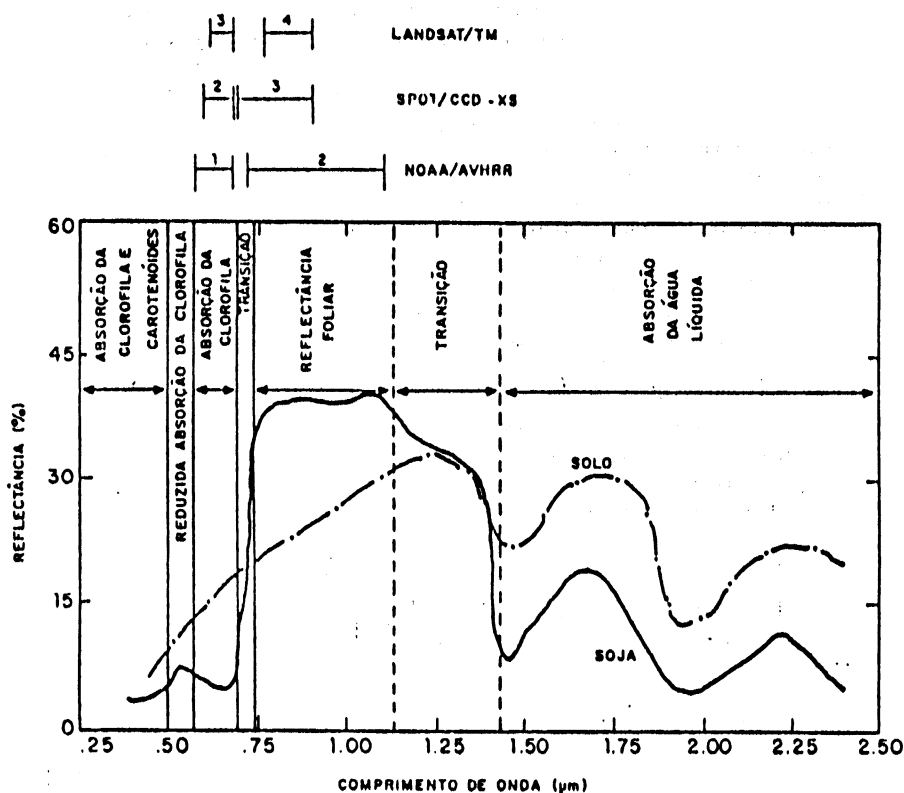


Fig. 1 - CURVAS DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO E SOLO.

Fonte: Adaptado de Tucker e Sellers (1986).

Utilizando-se dados obtidos através de duas bandas espectrais tem-se obtido diferentes tipos de índices de vegetação, (Tucker, 1977). Vários deles demonstram ser igualmente eficientes para estudos da vegetação, mas o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), obtido com a razão da diferença pela soma dos valores medidos em duas

bandas convenientemente escolhidas, tem sido mais diversificadamente utilizado.

As faixas espectrais do vermelho (0,58u a 0,68u) e do infravermelho próximo (0,72u a 1,1u) registradas respectivamente nas bandas 1 e 2 do sistema sensor "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) a bordo dos satélites da série "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA), possibilitam o cálculo do IVDN pela relação $(Nc2 - Nc1) / (Nc2 + Nc1)$, onde Nc1 e Nc2 são os valores digitais dos pixels nas bandas 1 e 2 respectivamente.

Os efeitos do espalhamento e absorção atmosférica sobre a radiação afetam largamente os valores dos índices de vegetação. Estudos recentes têm constatado que, exceto nos casos de crepúsculo, fatores tais como afastamento da visada em relação ao nadir, espalhamento atmosférico, e nuvens, podem somente reduzir os índices de vegetação, (figura 2). Trabalhos no sentido de reduzir tais efeitos têm resultado no método de "composição de imagens temporais por máximo valor de índice de vegetação", que consiste na obtenção de dados de satélite diariamente, mapeando-os em um mesmo sistema de coordenadas, onde realiza-se o registro geográfico dos dados mapeados e, então, seleciona-se para cada ponto, o maior entre os vários valores de índice de vegetação obtidos por um período de vários dias.

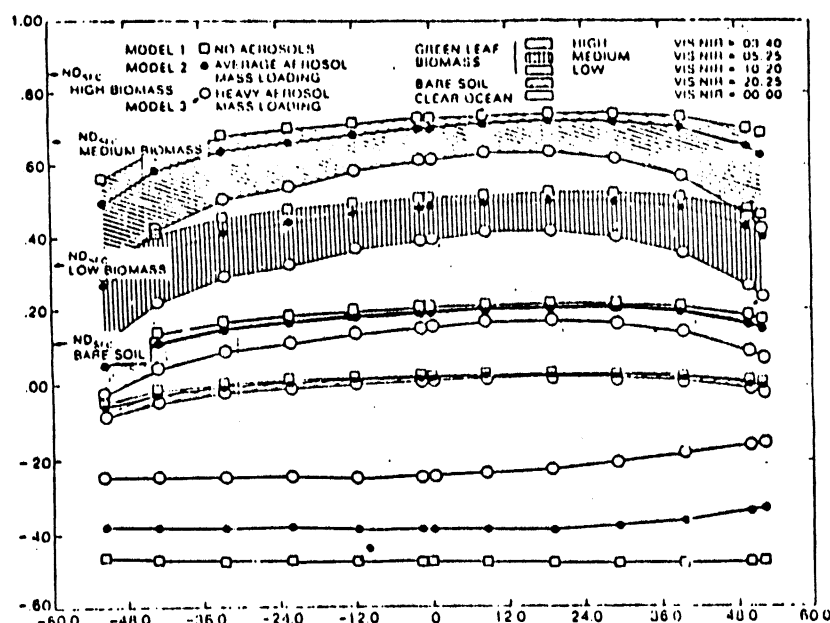


Fig. 2 - SIMULAÇÃO DO IVDN PARA VEGETAÇÃO VERDE, SOLO E ÁGUA, COM A GEOMETRIA DE VISADA E DE ILUMINAÇÃO DURANTE O SOLSTÍCIO DE VERÃO.

Fonte: Holben, 1986.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de geração das imagens-mosaico de índice de vegetação é realizado em duas etapas, (figura 3). Na primeira, (caso direto), são determinadas as coordenadas geográficas correspondentes aos quatro vértices de região retangular selecionada sobre a imagem de entrada NOAA/AVHRR. A partir destas coordenadas é definido o retângulo a ser preenchido na imagem de saída IVDN. Na segunda, (caso inverso), este

retângulo da imagem de saída é totalmente atualizado de modo sequencial pelas suas linhas e colunas. A cada 16 linhas X 16 pixels IVDN a navegação é realizada obtendo-se os pixels AVHRR para a geração do correspondente pixel de índice de vegetação. A determinação dos pixels AVHRR destinados ao cálculo dos demais pixels IVDN é realizada por interpolação bilinear.

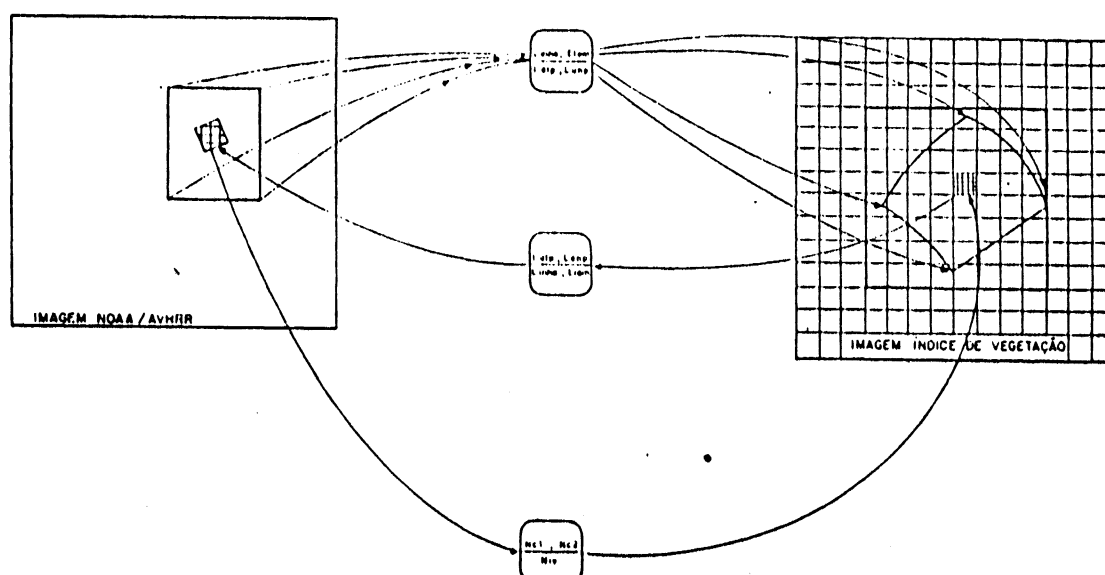


Fig 3 - GERAÇÃO DE MOSAICOS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.

Um outro problema é a não uniformidade da dimensão dos pixels AVHRR, associado à larga faixa imageada sobre a superfície curva da Terra, variando principalmente na direção de varredura, de 1,1 km no centro da imagem a aproximadamente 6 km nas bordas. Para sua solução, a região compreendida por cada pixel da imagem IVDN é fracionada em uma matriz de 5 X 5 elementos de 1 km², realizando-se a navegação para os 4 vértices e interpolando-se, pelo processo de interpolação bilinear, os demais pontos desta matriz. Deste modo, é determinado automaticamente o conjunto de pixels AVHRR para a composição de cada pixel IVDN. Por exemplo, para um pixel da imagem IVDN obtido de uma região central da imagem NOAA/AVHRR utiliza-se cerca de 25 pixels desta imagem. Já na borda da imagem NOAA/AVHRR, uma quantidade bem menor de pixels desta imagem seriam suficiente, pois nesta região eles são maiores.

No processo de interpolação, os valores não inteiros determinados para os pontos da matriz acima citada, são aproximados para o inteiro mais próximo.

É importante observar que a cada 16 pixels IVDN, quatro e não um pixel AVHRR são navegados. Estes quatro pixels correspondem aos vértices da região compreendida por cada pixel IVDN.

Foi escolhido o sistema de projeção cilíndrica equidistante na geração da imagem IVDN, tendo-se em vista não apenas as facilidades de cálculo que este sistema propicia, mas principalmente sua compatibilidade com trabalhos de índices de vegetação e estudos climáticos que, conforme literatura, utilizam mais amplamente este sistema.

O número da linha (Nli) e o da coluna (Nci) do pixel IVDN podem ser obtidos por:

$$\begin{aligned} Nli &= (Lao - Latp) / (5 / R), \\ Nci &= (Loo - Lonp) / (5 / R), \end{aligned} \quad \text{onde}$$

Lao e Loo são respectivamente, a latitude e longitude na origem da imagem de índice de vegetação na tela, (canto superior esquerdo). Latp e Lonp são respectivamente, a latitude e longitude de um pixel de índice de vegetação. O termo $(5 / R)$ é a dimensão do pixel IVDN em radianos, pois o mesmo tem resolução espacial de 5 km, sendo R o raio terrestre médio em km.

Uma vez determinados os números das linhas e das colunas dos pixels AVHRR que compoem 1 pixel IVDN, são lidos os valores destes pixels nas bandas 1 e 2, desprezando-se aqueles cujos valores sejam superiores ao limite do nível de cinza para nuvens, adotado neste trabalho igual a 50. Este valor foi determinado a partir de imagens NOAA/AVHRR, onde nestas bandas constatou-se que pixels sem nuvem nunca têm valor superior a 40 e que, pixels com cobertura de nuvem dificilmente têm valor inferior a 50.

O valor do IVDN é calculado, conforme equação abaixo, a partir das médias dos níveis de cinza do conjunto de pixels AVHRR que o compõem, isto é:

$$IVDN = (M2 - M1) / (M2 + M1)$$

Onde M1 e M2 são respectivamente as médias dos níveis de cinza dos 25 elementos das bandas 1 e 2 que dão origem a cada pixel IVDN.

A título de esclarecimento adicional, é oportuno observar que neste conjunto de 25 elementos podem haver pixels AVHRR repetidos. O importante é que eles cubram, mesmo de modo aproximado, somente os 25 km² do pixel IVDN.

Algebricamente, o valor do índice de vegetação pode variar na faixa de -1 a 1, mas no entanto, o que se verifica na prática é uma variação menor. Para melhor codificação digital do valor do índice de vegetação, a ser gravado em 8 bits na imagem de saída, este valor é distribuído em níveis de cinza na faixa de 0 a 255, logo:

$$Niv = ((IVDN - Imin) / (Imax - Imin)) * 255, \quad \text{onde}$$

Imin e Imax são respectivamente os valores limites inferior e superior do índice de vegetação, adotando-se Imin = -0,4 e Imax = 0,8, com base em cálculos realizados em imagens NOAA/AVHRR. Para o valor do nível de cinza (Niv), é assumido apenas a parte inteira da expressão acima.

Como a imagem IVDN é atualizada por várias imagens NOAA/AVHRR, um mesmo pixel IVDN pode receber atualização por mais de uma vez, e neste caso utiliza-se o maior valor do índice de vegetação entre todos os valores obtidos. Este processo obtem um valor mais real para o IVDN (Holben, 1986). Este simples procedimento em geral possibilita obter imagens IVDN sem cobertura de nuvens em um período máximo estimado de 10 a 12 dias.

Foram utilizadas neste trabalho quinze imagens do satélite NOAA-9, gravadas pela estação receptora do INPE em Cachoeira Paulista, SP, no mes de Julho/1988, principalmente na segunda quinzena. Neste período as imagens foram de boa qualidade, com baixo percentual de cobertura de nuvens, e pouca ocorrência de fumaça proveniente de queimadas. As imagens disponíveis não cobriram toda a extensão prevista,

impossibilitando a geração do IVDN em estados do sul, e em alguns países como Uruguai, Paraguai, Argentina e Chile. Tais imagens encontram-se em fitas magnéticas no Centro de Satélites Ambientais do INPE, São José dos Campos, - SP.

Os programas foram desenvolvidos em linguagem "C", sendo compatíveis ao Sistema de Tratamento de Imagens do INPE (SITIM), (INPE, 1986).

3 - RESULTADOS E DISCUÇÃO

Obteve-se uma imagem de índice de vegetação por diferença normalizada, gerada por processamentos sucessivos de imagens NOAA/AVHRR nas bandas 1 e 2, pelo método de composição de imagem com o máximo valor deste índice. A imagem foi produzida com resolução espacial de 5 km, cobrindo significativa parcela da área inicialmente prevista, entre os paralelos 0 e 45 graus sul e 32 a 77 graus oeste (figura 3).

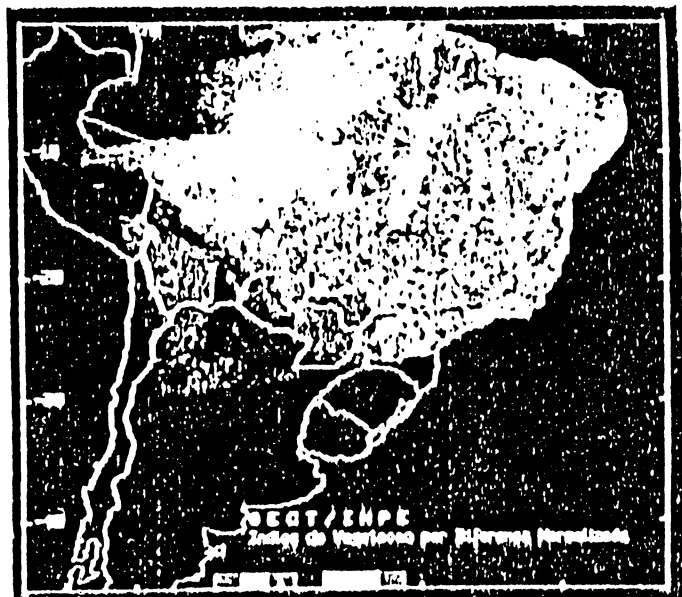


Fig. 3 - Imagem IVDN.

Utilizou-se basicamente quinze imagens NOAA/AVHRR do mês de Julho/88. Imagens IVDN regionais podem ser geradas com menor quantidade de imagens NOAA/AVHRR, e portanto para períodos menores, principalmente para regiões onde a cobertura de nuvens é menos frequente.

A análise visual da imagem IVDN sugere seu potencial de informações. Pela escala de níveis de cinza, onde as regiões mais claras caracterizam maior valor do índice de vegetação, constata-se a exuberância da vegetação da região amazônica, notadamente nas bacias dos rios Xingu, Tapajós e baixo Tocantins no estado do Pará. Identifica-se também características globais da vegetação de outras partes do país. Observa-se por exemplo menores valores do índice de vegetação nas regiões de intensa atividade agrícola não irrigada, principalmente nas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil, onde, no mês de julho, as colheitas já foram concluídas. Constata-se também a possibilidade de

mapeamentos regionais da vegetação. Considerando-se a resolução espacial de 5 km, a identificação de feições geográficas é propiciada com significativo nível de detalhe. São visualizados, por exemplo, os corpos d'água de maior porte identificáveis na imagem pela tonalidade escura caracterizada pelo baixo valor do índice de vegetação da água. Entre eles, observa-se os maiores rios e represas, tais como os rios Paranaíba, Grande, Paraná, Xingu, Tapajós, Amazonas, e as represas de Tucuruí, Itaipu, Três Marias, entre outras; observa-se ainda a área alagada da região do pantanal.

Uma característica de real valor desta imagem é a inexistência quase que total da cobertura de nuvens, até mesmo em regiões frequentemente nubladas. No caso do litoral nordeste, onde se verificou intensa nebulosidade, utilizou-se imagens NOAA/AVHRR de 5 ou 6 passagens, no processo de redução dos efeitos da cobertura de nuvens.

Ressalta-se ainda a natureza sintética da imagem IVDN. A título de ilustração, a uma resolução espacial de 5 km, pode-se armazenar em um único disquete, (360 mil bytes), uma imagem de praticamente todo o território brasileiro.

As imagens IVDN são sobrepostas pelo mapa de divisões políticas da América do Sul no sistema de projeção cilíndrica equidistante, uma vez que a imagem é gerada neste mesmo sistema de projeção. Embora o mapa digital disponível cubra todo o continente, a função de mapeamento utiliza apenas a região para a qual a imagem foi gerada. A precisão deste processo demonstrou-se bastante satisfatória, ocorrendo sobreposição nas feições no interior do país tais como rios nas divisas de estados, bem como nos litorais sul e nordeste.

4 - CONCLUSÕES

Imagens de índice de vegetação para a América do Sul, com resolução espacial de 5 km, obtidas a partir de imagens brutas dos satélites polares NOAA/AVHRR, foram produzidas através de mosaicos digitais em projeção cartográfica convencional em equipamento de processamento digital de imagens de pequeno porte, no caso o SITIM-150.

Foram utilizados programas de navegação direta (coordenadas geográficas para pontos da imagem) e inversa (caso recíproco) que propiciaram correção geométrica no processos de geração de imagens IVDN.

Os mosaicos digitais foram gerados considerando-se uma matriz de 1020 X 1024 pixels espacialmente fixa para uma região da América do Sul, com valores obtidos de pixels AVHRR geograficamente correspondentes, por sua vez identificados através de equações de navegação.

Devido à localização em Cachoeira Paulista, SP, da única estação receptora de imagens NOAA/AVHRR utilizada neste trabalho, não foi possível a produção de IVDN no extremo noroeste do continente, acima da linha do Equador, e outras partes da América do Sul. Estas regiões seriam beneficiadas por uma estação adicional possivelmente na região central da Amazônia.

O índice de aproveitamento das imagens NOAA/AVHRR, para a finalidade de produção de imagens IVDN, foi relativamente baixo. A cobertura de nuvens foi o fator que mais limitou o uso das imagens NOAA/AVHRR. Acredita-se que possivelmente mais da metade da área total imageada anualmente, seja comprometida por este fator. A cobertura de nuvens no período analisado concentrou-se principalmente no norte da Amazônia, norte da Argentina, Bolívia e no litoral nordeste brasileiro. Ruídos nas

Imagens NOAA/AVHRR analisadas ocorreram com frequência nas proximidades do Equador, ou seja, nas regiões mais distantes da estação receptora de imagens, onde supõe-se que a recepção seja comprometida pelo alcance da antena. Contudo, apesar das limitações citadas, a parcela aproveitável das imagens representa imenso volume de dados de utilidade para o sensoriamento remoto, principalmente quando associados ao processo de composição multitemporal, onde este efeito da cobertura de nuvens pode ser praticamente eliminado em curto espaço de tempo.

O processamento de uma imagem NOAA/AVHRR para a produção de imagens IVDN pode consumir duas ou mais horas no equipamento SITIM-150. Embora este tempo não inviabilize o processo, deverá ser considerado na sua eventual operacionalização.

Embora os testes foram feitos com apenas quinze imagens NOAA/AVHRR, acredita-se que os resultados são confiáveis, recomendando-se a utilização dos mesmos desde que produzidos sistematicamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os colegas do Instituto de Pesquisas Espaciais da Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia, e da Secretaria de Informática do Ministério da Agricultura que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images temporal AVHRR data. *Int. J. remote Sensing*, 7(11):1417-1434, 1986.
- FIGUEIREDO D. C.; A. SETZER. Navegação para imagem NOAA/AVHRR em microcomputador. In: *Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto, IV.*, Bariloche - Argentina, 20-24 nov. 1989. Anais.
- INPE. Departamento de processamento de imagens (DPI). Manual de usuário do SITIM, São José dos Campos, SP, 1986.
- TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. remote Sensing*, 7(11):1395-1416, 1986.
- TUCKER, C.J. Use of near infrared / red radiance ratios for estimating vegetation biomass and physiological status. Washington, DC, NASA, 1977.