

ESTUDO DE QUALIDADE D'ÁGUA DE RESERVATÓRIOS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO: CONCEITOS METODOLÓGICOS

Tania Maria Sausen
Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE
Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT
Caixa Postal 515, 12201-São José dos Campos, SP, Brasil

Marisa Dantas Bitencourt Pereira
Departamento de Ecologia Geral-Instituto de Biociência-USP
Caixa Postal 11461-São Paulo

RESUMO

O objetivo deste trabalho é levar ao conhecimento do público e da comunidade científica em geral, a importância de uma metodologia eficiente de monitoramento das águas acumuladas artificialmente e, a utilidade das técnicas de sensoriamento remoto, como uma alternativa econômica e prática de orientar e minimizar os trabalhos de campo, que investiguem os parâmetros indicativos da qualidade d'água. Para tanto fez-se um levantamento bibliográfico dos principais estudos realizados nas duas últimas décadas sobre o assunto. Neste trabalho são abordados tópicos metodológicos levando em consideração o comportamento espectral d'água (com ou sem sedimentos) e técnicas de análise de dados de sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The objective of this work is to inform the public and the scientific community about the importance of a efficient methodology for monitoring artificially accumulated water and the uselessness of the remote sensing techniques as a practical and economical alternative to minimize the field trip work wherever water quality parameters are to be investigated. In order to achieve these aims, a bibliographical study of this subject were done through the main papers along the last two decades. In this work methodological topics are shown taking into account the spectral response of the water (with and without sediments) and techniques to analyse remote sensing data.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento vertiginoso da demanda de energia, incentivou a construção de grandes reservatórios de acumulação de água para fins hidrelétricos. Contudo, esses reservatórios se prestam não somente à geração de energia mas também ao abastecimento, à pesca, à recreação, etc.

Os principais fatores que podem afetar a utilização e a vida útil de um reservatório são erosão, carreamento de sólidos, assoreamento, eutrofização, danos à fauna e aumento da vegetação flutuante.

Todos estes fatores geram sedimentos (orgânicos ou inorgânicos) que alteram, de modo específico, as propriedades ópticas da água que é exatamente o fundamento físico do sensoriamento remoto. Desse modo, um acompanhamento da dinâmica das plumas de sedimentos pode ser observado, bem como a concentração de biomassa algal, através das diferentes respostas espectrais que os diferentes complexos água-sedimento apresentam nas faixas do visível e do infra-vermelho do espectro eletromagnético.

Dependendo da origem e tipo de um reservatório e do fim a que este se destina, o monitoramento da qualidade de suas águas tem um inestimável papel do ponto de vista sanitário, bem como no que se refere a vida útil

do mesmo.

Assim, o objetivo deste trabalho é levar ao conhecimento do público e da comunidade científica em geral a importância deste monitoramento, e a utilidade das técnicas de sensoriamento remoto, como uma alternativa econômica e prática de orientar e minimizar os trabalhos de campo, que investigam os parâmetros indicativos da qualidade d'água. Para tanto, fez-se um levantamento bibliográfico dos principais estudos realizados nas duas últimas décadas, para que este trabalho possa desencadear inúmeros outros.

2. SEDIMENTOS - CONCEITOS GERAIS

O termo sedimento tem sido geralmente referenciado aos sólidos em suspensão, resultados do trabalho erosivo dos agentes morfogenéticos sobre diferentes tipos de rochas.

Para Shel-Ley (1976), sedimentos abrangem partículas de todas as grandezas hidráulicas, variando de pedras grandes (metros/segundo) a argilas coloidais (centímetros/séculos).

Contudo, quando o objetivo é estudar a qualidade de águas acumuladas, um outro parâmetro surge: os sólidos em suspensão resultantes da ação do homem.

Neste contexto, faz-se necessário redefinir sedimentos, como sendo todas as partículas em suspensão que ocorrem naturalmente, bem como aquelas resultantes direta ou indiretamente da atividade humana.

A turbidez d'água é o efeito que o material em suspensão tem sobre a penetração da luz em uma dada coluna de água. Segundo Schwebel et alii (1973), este material inclui não somente partículas de argilas e silte, mas também organismos planctônicos. A transparência da água é uma das medidas da turbidez do corpo d'água.

2.1 - SEDIMENTOS INORGÂNICOS

Os sedimentos inorgânicos são constituídos por areia, silte e argila.

As partículas de granulometria reduzida (silte e argila) são tão pequenas que se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento, constituindo a carga de sedimentos em suspensão. As partículas menores que 0,06 mm se comportam sempre como carga suspensa, enquanto os grãos maiores que 0,1 mm podem flutuar ou não, na dependência das condições de fluxo (Christofolletti, 1981).

Estas partículas em suspensão, alteram o índice de turbidez da água. Quanto maior a quantidade de partículas sólidas em suspensão, maior é a turbidez da água.

E, baseando-se no comportamento espectral da água, em função da sua transparência, pode-se fazer um monitoramento dos reservatórios artificiais.

2.2 - SEDIMENTOS ORGÂNICOS

Todo corpo d'água apresenta uma certa porcentagem de material em suspensão, que pode ser derivado de ação erosiva das águas sobre rochas e também de organismos planctônicos.

Plâncton é definido como sendo aqueles organismos flutuadores, tanto animal como vegetal. Nós teremos aqui no fitoplâncton, (plâncton vegetal) que é o responsável direto pelo primeiro degrau da cadeia alimentar da maioria dos ecossistemas aquáticos lacustres.

A concentração de clorofila afeta a turbidez da água e é também um indicador do estado de enriquecimento de um lago ou reservatório (eutrofização).

A principal manifestação da eutrofização é verificada pelo aumento da produtividade e/ou da vegetação aquática superior. Esse aumento da produtividade altera as propriedades ópticas da massa de água a nível de reflectância, chegando mesmo a alterar sua transmitância.

Os parâmetros mais indicativos da eutrofização são a clorofila a, sólidos em suspensão, medidas de transparência das águas e algumas

vezes a quantidade de vegetação flutuante.

2.2.1 - ÍNDICE DE EUTROFIZAÇÃO

O índice de eutrofização pode ser definido como uma combinação linear dos indicadores de eutrofização.

Segundo Werzernak (1974), Boland (1975) e Werzernak et alii (1976), o TSI pode ser definido como a primeira principal componente da matriz de covariância dos parâmetros de eutrofização.

Carlson (1979) desenvolveu um TSI simplificado baseando-se na observação, de que quando dobrar a biomassa algal, a transparência da água obtida por disco de Secchi, cai pela metade.

De acordo com este método, a biomassa algal igual a zero, se refere ao maior valor de disco de Secchi observado até hoje, que é de 64 m.

Cada vez que o TSI aumenta 10 unidades, significa que a transparência da água caiu pela metade e, a biomassa algal no mínimo dobrou.

3. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ÁGUA EM GERAL

Segundo Klooster e Scherz (1974) a turbidez é uma propriedade óptica, relacionada à luz espalhada pelo material em suspensão na água. Ela é correlacionada somente com o material em suspensão e não com as substâncias dissolvidas. Depende do comprimento de onda utilizado, do tamanho e da forma das partículas em suspensão.

A turbidez é uma medida do espalhamento da luz. Um aumento da turbidez ou dos sólidos em suspensão, causa o aumento de reflectância da água.

Duntley (1983) e Jerlov e Nielsen (1968), ao estudarem a interação da luz solar com a água, puderam constatar que a atenuação é o resultado da combinação da ação do espalhamento com o da absorção, e que estes determinam o processo de propagação da luz na água.

Morel (1974), ao analisar a curva de 200-2000 nm do espectro eletromagnético (Figura 1), concluiu que na parte visível do espectro, principalmente na região do azul (450 a 550 nm) o coeficiente de atenuação da água, apresenta-se menor, agindo como uma janela de maior transmissão.

Em ambos os lados desta janela de transmissão, isto é, no ultravioleta, abaixo de 200 nm e no infravermelho, acima de 700 nm, a absorção aumenta consideravelmente.

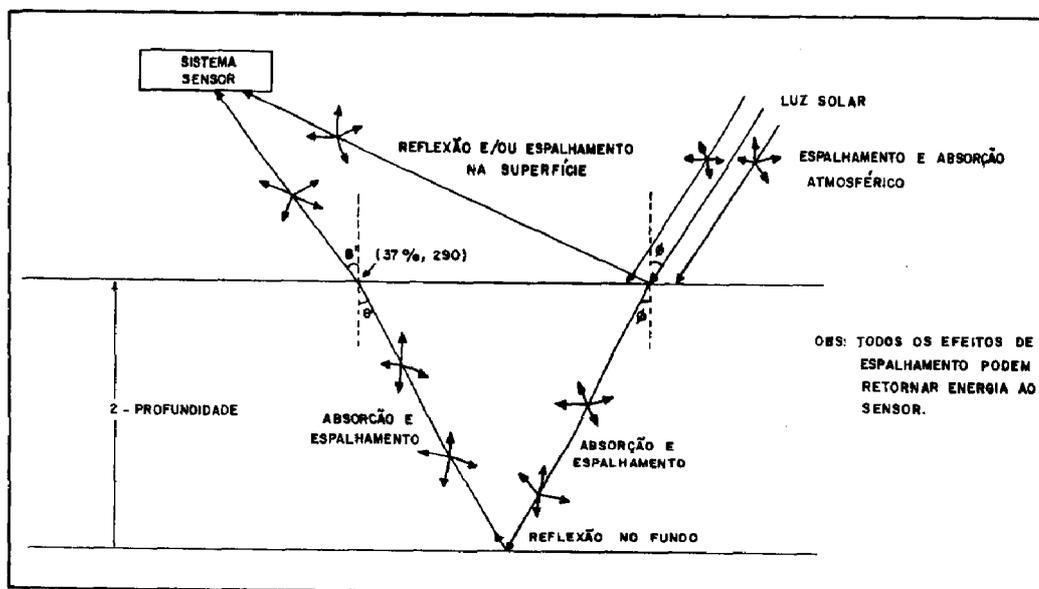


Fig. 1 - Curva de atenuação da água.

FONTE: Jerlov e Nielsen (1974) p. 18.

A transparência relativamente alta da água, na parte visível e ultravioleta do espectro varia com o comprimento de onda.

Conforme mencionado por Herz (1977), em 1938 James e Birge encontraram experimentalmente alguns valores relativos da penetração da luz em água pura, constituindo esses dados uma curva de atenuação para radiações do espectro visível, ultravioleta e infravermelho. A maior penetração foi observada na faixa do azul e do verde (380 nm a 430 nm), havendo uma brusca atenuação das radiações junto ao vermelho e ao violeta, chegando a 10% somente a transmissão relativa em torno de 570 nm e 330 nm respectivamente.

A radiação solar refletida da superfície d'água, varia com o total de sedimentos em suspensão e comprimentos de onda. Em geral, a radiação solar refletida entre 450 a 900 nm aumenta com o aumento da concentração de sedimentos. A região de máxima radiação solar refletida, está ao redor de 500 nm para baixa concentração de sedimentos, e acima de 600 nm para altas concentrações de sedimentos (Ritchie et alii, 1976).

4. SISTEMA LANDSAT (MSS e TM) - MELHORES CANAIS

A luz do sol (radiação direta e radiação espalhada) ao incidir sobre uma superfície d'água, penetra-a sofrendo as mais variadas interações. As vezes, parte desta energia consegue alcançar o fundo, é refletida, e retorna à superfície, podendo ser detectada por um sistema sensor. Esta parte, ao alcançar o sistema, fornece vários tipos de informação (Figura 2).

Tomando-se como base o espectro eletromagnético (Figura 2) e, de acordo com os estudos realizados por Mairs e Clark (1973), o comportamento espectral das águas, nas diferen-

tes faixas do espectro, é o seguinte: partindo do azul, no fim do espectro, pode ser observado um contraste muito pequeno na água. Isto é devido ao aumento da atenuação do sinal pela atmosfera contaminada, encontrada em muitas regiões terrestres e, também, pelas substâncias suspensas e dissolvidas na água.

Indo-se em direção ao azul-esverdeado, ao verde, ao amarelo e ao vermelho, tem-se um aumento do contraste, e uma pluma de sedimentos pode ser definida. Na porção do infravermelho, a energia é completamente absorvida na superfície, não sendo possível obter-se informações dos fenômenos de sub-superfície, mas em contrapartida, tem-se uma excelente definição do corpo d'água.

A porção do espectro visível, saindo do verde para o laranja, aparenta proporcionar a melhor profundidade de penetração, contraste e definição para águas turvas.

Segundo Klooster e Scherz (1974), Kritikos et alii (1974) e Ritchie et alii (1976), a turbidez é uma propriedade ótica relacionada à luz espalhada pela maior ou menor concentração de material suspenso na água. Desta forma, uma mudança na concentração dos sedimentos em suspensão provocará uma mudança na turbidez que, por sua vez, provocará uma mudança na reflectância d'água.

Ritchie et alii (1974), levando em consideração o comprimento de onda e a consideração de sólidos em suspensão na camada superficial d'água, obtiveram dados sobre o comportamento espectral da radiação solar refletida sobre reservatórios d'água. A estas curvas adicionou-se os canais dos sensores MSS e TM do satélite LANDSAT (Figura 3).

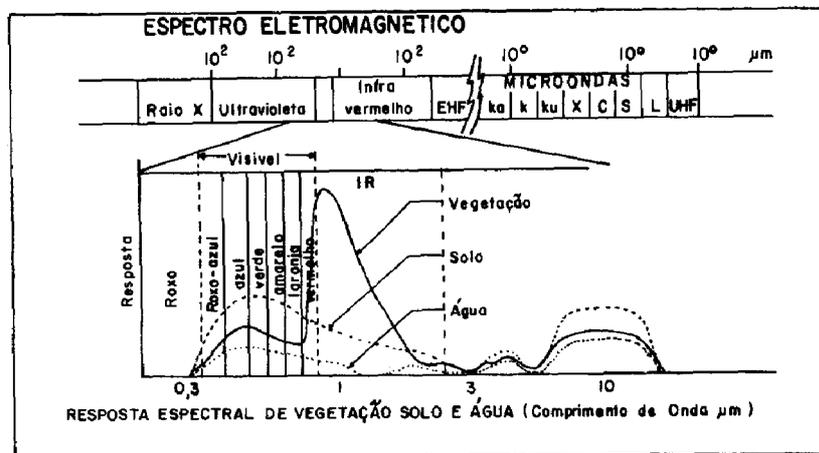


Fig. 2 - Espectro eletromagnético.

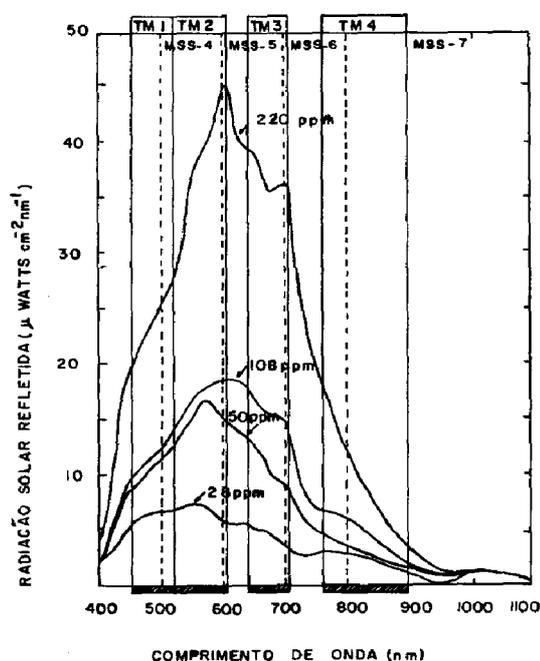


Fig. 3 - Relação entre a quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão na superfície de água, nas faixas dos sistemas MSS e TM-LANDSAT (adaptado de Ritchie et alii (1974)).

Analisando-se a Figura 3, constata-se que quando há uma maior concentração de sólidos em suspensão ou sedimentos, há um maior retorno de energia ao sensor em todos os canais. Observa-se também que há uma maior reflexão dos sedimentos presentes na área, com relação aos comprimentos de onda dos canais MSS 4 e 5 e TM 2 e 3 e que o aumento na concentração dos mesmos provoca um grande aumento no sinal de retorno. Isto se deve ao fato de que aumentando-se a concentração, a penetração da energia eletromagnética na área diminui, ficando o sinal de retorno cada vez mais restrito às camadas superiores dependentes da interação física entre a energia e o tipo de sedimentos.

Observa-se também que indo em direção a re 641

gião do infravermelho, mesmo com grandes concentrações de sedimentos, a água apresenta uma alta absorção, tanto para os canais do MSS (6 e 7) como para os canais do TM (4 e 5).

Bartolucci et alii (1977), constataram que as maiores diferenças nas respostas espectrais entre águas turvas (99 mg/l de sólidos suspensos) e águas límpidas (10 mg/l de sólidos suspensos), ocorrem na região de 600 a 700 nm, que corresponde aos canais MSS5 e TM3 onde se encontra a maior diferença entre as respostas espectrais de águas turvas e límpidas. Estes autores constataram também que, para corpos d'água turvidos (100 mg/l de sólidos suspensos), a reflectância de fundo não afeta a resposta espectral da água, se o fundo tiver profundidades superiores a 30 cm.

Sausen (1981) ao estudar o reservatório de Três Marias (MG), fez uma análise de correlação entre dados de reflectância d'água coletados "in situ" e os valores de níveis de cinza observados nas imagens MSS/LANDSAT. Esta autora pode constatar, que o canal MSS5 (600 a 700 nm) foi o que apresentou o maior coeficiente de correlação (0,96) e, mostrou-se o mais sensível às variações de energia refletida.

Yarger et alii (1973), ao estudar os reservatórios de Perry e Tuttle Creek, em Kansas, USA, pode observar que:

- há uma alta correlação entre os níveis de cinza e a carga suspensas nas faixas do verde (MSS 4, TM2) vermelho (MSS5, TM3) e infravermelho (MSS6, TM4).
- os canais MSS5 e MSS6, normalmente apresentam alta correlação com a carga suspensa, com o canal MSS5, sendo o mais sensível.
- o canal MSS7 é fracamente correlacionado com a carga suspensa, embora apresente um maior retorno para cargas suspensas em torno de 100ppm.
- a discriminação ou sensibilidade entre nível de cinza e carga suspensa é boa até 100 ppm, mas aparenta deteriorar-se rapidamente acima deste nível de turbidez.

Schiebe et alii (1983), em estudos realizados no lago Chicot, Arkansas, com o mapeador temático (TM), puderam constatar que este sensor

pode ser útil no monitoramento de sedimentos em suspensão e clorofila, num lago com cargas altas de sedimentos em suspensão. O canal TM3 apareceu ser o mais adequado, com os canais TM1, 2 e 4 também contendo informações úteis referentes a sedimentos em suspensão.

5. TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO: SEDIMENTO ORGANICOS

Trabalhos anteriores têm demonstrado que dados sensoriados, seja por aeronave seja por satélite, só podem indicar alguns dos parâmetros individuais relativos a qualidade da água e ao estado trófico dos corpos d'água através de índices convenientemente estabelecidos.

Bowker et alii (1973) concluiu que o maior número de detalhes sobre sedimentos em suspensão são vistos na faixa do MSS5. Partículas superficiais e teor de clorofila podem ser observados nas faixas do MSS6 e 7.

Wezernak (1974) descreve que um aumento da reflectância da água na região do vermelho (620-700 nm) é acompanhado de uma diminuição da reflectância no azul (420-480 nm) exceto, é claro, para águas turbindas.

Yarger e McCauley (1975) estudando as razões entre os níveis de cinza médios obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT observou que é possível medir sólidos em suspensão com 67% de confiança, com uma precisão de 12 ppm, no intervalo de 0-80 ppm, e uma precisão de 35 ppm, no intervalo de 0-900 ppm. Observaram também que a concentração de clorofila causa uma queda de energia na faixa do MSS5 (600-700 nm) e um aumento da energia na faixa do MSS4 (500-600 nm). Verificaram que a razão MSS5/MSS4 apresenta uma correlação negativa com a clorofila a. Observaram também que somente uma variação de clorofila maior que 20 µg/l poderá ser detectada pelo Sistema MSS-LANDSAT.

Hellden (1975), estudando lagos na Escandinávia, usando análise densitométrica com diâmetros positivos nas faixas 4 e 5 do MSS-LANDSAT-1, encontrou uma forte relação entre tons de cinza e transparência de DS (Disco de Secchi). Os tons mais claros se referem a baixa transparência de DS. Para esse autor a transparência do corpo d'água pode ser considerada uma medida das condições biológicas e químicas da água as quais podem ser relacionadas com outros parâmetros limnológicos.

Scarpace et alii (1979) classificaram 250 lagos de Wisconsin e encontraram uma alta correlação entre medidas de turbidez no campo e a resposta espectral de um lago no canal 5 do MSS-LANDSAT. Mencionaram também que a principal fonte de turbidez em um lago é devido a presença de algas.

Desde Wezernak (1974) que se nutre a idéia de desenvolver uma expressão numérica que combinasse o maior número possível de parâmetros relativos a qualidade de água para indicar níveis de eutrofização. Chegou-se por fim, a um TSI, que pode ser obtido com dados

de campo ou com dados estimados a partir da resposta espectral do complexo água-sedimento nas faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

6. DISCO DE SECCHI

O disco Secchi, é um disco circular, preto e branco, que é baixado na água até o ponto a partir do qual o disco se torne imperceptível ao olho humano. A distância entre este ponto e a superfície d'água é a profundidade Secchi no local (Pickard, 1963).

Esta profundidade decresce à medida que o coeficiente de absorção da água aumenta, estando relacionada linearmente com as concentrações de sedimentos em suspensão (Barker, 1975; Yarger e McCauley, 1975; Ritchie et alii, 1976; Scherz e Van Domelen, 1975).

A profundidade Secchi, proporciona uma estimativa do coeficiente de atenuação da água no local. Por esta razão, é uma importante informação coletada "in situ", a ser correlacionada com as informações obtidas nas imagens LANDSAT.

Yarger et alii (1973) constataram que o inverso da profundidade Secchi (ou 1/profundidade de penetração da luz solar) é linearmente relacionada com a carga suspensa. Eles mencionaram também que os canais MSS5 e 6, normalmente apresentam alta correlação com a carga suspensa e a profundidade Secchi, sendo o canal MSS5 o mais apropriado para esta análise.

Sausen e Carvalho (1979), fez uma comparação entre as respostas espectrais da água no reservatório de Três Marias (MG) e a profundidade Secchi. O resultado da comparação, mostrou que os níveis de cinza na imagem que representam as diferentes reflectâncias da água, são inversamente proporcionais à profundidade Secchi, isto é, quanto maior for a reflectância, menor é a profundidade Secchi. Estes autores também constataram que os canais MSS4 e 5 foram os que apresentaram os maiores coeficientes de correlação, -0,89 e -0,84, respectivamente.

7. EXEMPLOS DE ESTUDOS REALIZADOS EM RESERVATÓRIOS

Ao realizarem uma classificação, de acordo com os índices de turbidez em 250 lagos de Wisconsin, utilizando somente o canal MSS5, Scarpace et alii (1979), puderam constatar que a análise multitemporal dos dados, é indispensável para se obter um registro do regime do lago ao longo do ano. E que, embora este canal seja o mais sensível para detectar as mudanças no comportamento dos sedimentos, ele também é extremamente sensível aos efeitos atmosféricos. Por esta razão, ao fazer estudos de corpos d'água somente com este canal, é necessário fazer-se correção dos mesmos, nos dados de satélite.

Ao se utilizar mais de um canal, para este tipo de estudo, a simples razão entre cá

nal elimina este efeito, mesmo que parcialmente.

Khorram (1981) estudando o delta da baía de São Francisco com dados do MSS-LANDSAT e fotografias U-2 e infravermelho falsa cor combinados com dados de campo concluiu que áreas com atividade biológica relativamente alta foram claramente discernida das demais áreas através de realce digital nos dados do LANDSAT. Estas áreas foram caracterizadas por uma alta turbidez e alta concentração de sólidos em suspensão.

Lillesand et alii (1983), compararam dados de campo em 60 lagos, no estado de Minnesota, ao longo do ano de 1980, com os respectivos dados espectrais obtidos pelo MSS/LANDSAT. A partir disto, desenvolveram um modelo estatístico que serviu para estimar o estado trófico de aproximadamente 100 outros lagos, usando somente dados LANDSAT para calcular o TSI de Carlson.

Eles observaram altos coeficientes de correlação linear entre os dados estimados de concentração de clorofila, de transparência de disco de Secchi e de TSI de Carlson com os respectivos dados de campo reais. Eles constataram também, que níveis de cinza extraídos de fitas magnéticas nas faixas MSS4, 5, 6 e 7 do LANDSAT são perfeitamente confiáveis para prever TSI de Carlson de clorofila e de transparência de disco de Secchi.

Yarger et alii (1973), estudaram dois reservatórios, Perry e Tuttle Creek, no Kansas. Aproximadamente dez amostras de água de cada reservatório foram coletadas durante cada passagem do LANDSAT livre de nuvens. Estas amostras foram analisadas para concentração de sólidos dissolvidos e suspensos inorgânicos, clorofila, potássio, fosfato e ions de nitrato. Em adição medidas de disco de Secchi e temperatura foram tomadas em cada estação de amostragem. Eles puderam constatar que as imagens de satélite podem ser úteis para a aquisição de dados de qualidade d'água, de uma forma rápida e de baixo custo, facilitando assim o gerenciamento destes corpos d'água.

Sausen (1981), ao realizar estudos no reservatório de Três Marias (MG), utilizou imagens MSS/LANDSAT dos períodos seco e chuvoso, uma vez que este reservatório está em região de clima tropical e, suas características mudaram em função da sazonalidade. Foram coletados também dados de profundidade Secchi e reflexão da água "in situ", em períodos coincidentes com as passagens do satélite.

Esta autora pode constatar, que as imagens do sistema LANDSAT são úteis para o monitoramento do comportamento das concentrações de sedimentos em suspensão em reservatório. Sendo mesmo possível, a partir dos níveis de cinza e profundidade Secchi, elaborar-se mapas semi-quantitativos destas concentrações. Ela constatou também, que os dados mais confiáveis são aqueles coletados no dia da passagem do satélite.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARKER, J.L. Monitoring water quality from LANDSAT. In: NASA, Earth Resources Survey Symposium, proceedings of a Symposium in Houston, TX. June 9-12, 1975. Washington, DC, NASA, 1975, v. 1-A, p. 383-418 (NASA TMX-58168).
- BARTOLUCCI, L.A.; ROBINSON, B.F.; SILVA, L.R. Field measurements of the spectral response of natural waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(5): 595-598, maio 1977.
- BOLAND, D.H.P. The LANDSAT-1 Multispectral Scanner as a tool in the classification of Inland lakes. Comprehensive Symposium on the practical applications of earth resources survey data. 1, Houston, TX, June 1975. *Proceedings*. NASA V.I-A (TM-X58168-JSC-09930) p. 419, 1975.
- BOWKER, D.E.; FLEISCHER, P.; GOSINK, T.A.; HANNA, W.J.; LUDWICK, J. Correlation of ERTS multispectral imagery with suspended water and chlorophyll in lower Chesapeake Bay. Symposium on Significant Results obtained from ERTS-1, V.IB. *Proceedings*. NASA march 5-9, 1973, New Carrollton. MA.p. 1291, 1973.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22 (2):361-369, march 1977.
- CHRISTOFOLETTI, A *Geomorfologia Fluvial: O Canal Fluvial* v.1 Ed. Edgard Blücher Ltda., 1981 cap. 2.
- DUNTLEY, S.Q. Light and the sea. *Journal of the Optical Society of America*, 53(2):214-233. Fev. 1963.
- HELLDEN, V. The use of LANDSAT-1 imagery for water quality studies in Southern Scandinavia. Comprehensive Symposium on the practical application of earth resources survey data. 1, Houston, TX, June 1975, *Proceedings*. NASA V.I-A (TM-X58168-JSC-09930) p. 419, 1975.
- HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos: contribuição metodológica do estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul, através de aplicação de técnicas de sensoramento remoto*. Tese de Doutorado, São Paulo, USP. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 1977.
- JERLOV, N.G.; NIELSON, E.S. *Beam attenuation. Optical aspects of oceanography*. Aberdeen, Aberdeen University, 1968, cap.1, p. 47-62.
- JERLOV, N.G.; NIELSON, E.S. *Optical aspects of oceanography*, London, Academic, 1974.
- Khorram, S. Water quality mapping from LANDSAT digital data. *International Journal of Remote Sensing*. 2(2):145-153, 1981.
- KLOOSTER, R.A.; SCHERZ, J. Water quality by photographic analysis. *Photogrammetric Engineering*, 40(7-12):927-935, 1974.
- KRITIKOS, H.; YORINKS, L.; SMITH, H. Suspended

- solids analysis using ERTS-A data. *Remote Sensing of Environment*, 3(1): 69-78, 1974.
- LILLESAND, T.M.; JOHNSON, W.L.; DEWELL, R.L.; LINDSTRON, O.M.; MEISNER, D.E. Use of LANDSAT data to predict the trophic state of Minnesota lakes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49(2):219-229 Feb. 1983.
- MOREL, A. Optical properties of pure water and pure sea water. In: Jerlov, N.G.; Nielsen, E.S. ed. *Optical Aspects of Oceanography*. London, Academic, 1974, cap. 1, p. 1-23.
- PICKARD, G.L. *Instruments and method. Descriptive physical oceanography*. Oxford, Pergamo, 1963, Cap.6, p. 73-106.
- RITCHIE, I.C.; SCHIEBE, F.B.; MCHENRY, J.R. Remote sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(12):1539-1545, Dec. 1976.
- SAUSEN, T.M.; CARVALHO, V.C. de. *Análise automática de dados LANDSAT no estudo da dispersão de sedimentos em suspensão em reservatórios artificiais*. São José dos Campos, INPE, Set. 1979. (INPE-1572-RPE/071).
- SAUSEN, T.M. *Estudo da Dinâmica do alto rio São Francisco e Reservatório de Três Marias, através de imagens MSS-LANDSAT*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, 1981. (INPE-2249-TDL/066).
- SCARPACE, F.L.; HOLMQUIST, K.W.; FISHER, L.T. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(5):623-633, May, 1979.
- SCHWEBEL, M.D.; JAMES, W.P.; CLARK, W.J. *Remote measurement of turbidity and chlorophyll through aerial photography*. Texas A&M University Remote Sensing Center, Technical Report RSC-47, Dec. 1973.
- SHELLEY, P.E. *Sediment measurement in estuarine and coastal areas*, Washington, DC., NASA, 1976 (NASA CR-2769).
- SCHIEBE, F.R.; RITCHIE, J.C.; BOATWRIGHT, G.O. *A First evaluation of LANDSAT TM data to monitor suspended sediments in Lakes*. In: NASA Goddard Space Flight Center, LANDSAT-4 Workshop Results, v.2, 1983.
- SCHERZ, J.R.; VAN DOMELEN, I.F. Water quality indicators obtainable from aircraft and LANDSAT images their use in classifying lakes. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 10. V.1, p. 447-460, 1975.
- WEZERNAK, C.T. The use of remote sensing in Limnology studies. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9. Ann Arbor, MI 15-19 Apr: 1974. *Proceedings*. ERIM Ann Arbor, MI, V.II p. 963-980, 1974.
- WEZERNAK, C.T.; TANIS, F.J.; BAYZA C.A. Trophic state Analysis of Inland Lakes. *Remote Sensing of Environment* 5(Sf):147-165. 1976.
- YARGER, H.L.; McCauley, J.R.; JAMES, G.W.; MAGMSON, L.M. Water turbidity detection using ERTS-1 imagery. In: NASA. *Symposium on significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*; proceeding of a Symposium in New Carrollton, MD.; Mar. 5-9 1973. Washington, D.C., NASA, p.651-658 (NASA SP-327).
- YARGER, H.L.; MACCAULEY, J.R. Quantitative water quality with LANDSAT and Skylab. Comprehensive Symposium on the practical applications of earth resources survey data, 1. Houston, TX, June 1975. *PROCEEDINGS*, NASA V.I-A (TM-X58168-3SC-09930) p. 419, 1975.