

**SENSORIAMENTO REMOTO E LIMNOLOGIA: ESTUDOS PRELIMINARES DO  
RESERVATÓRIO DA UHE-TUCURUÍ**

Evlyn Marcia Leão de Mores Novo  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12201 - São José dos Campos - SP

José Salatiel Pires  
Centrais Elétricas do Norte -ELETRONORTE  
SCN-Quadra 06, Conj.A, Bl.B, s.1013  
70710 - Brasília - DF

**Resumo**

Este trabalho apresenta os resultados preliminares de estudos em andamento no reservatório de Tucuruí através de cooperação científica entre o INPE e a ELETRONORTE. Neste trabalho são feitas comparações entre os gradientes de concentração dos Totais de Sólidos em Suspensão na Água (TSS) derivados de dados coletados em três estações amostrais dispostas de montante (M5) para jusante (M3) e gradientes de níveis digitais extraídos de imagens TM/Landsat em três diferentes datas. Os resultados desta comparação indicam que a radiância espectral da água detectada pelo sensor TM é sensível às variações na concentração de TSS superiores a 4mg/l, a qual representa a diferença média de concentração entre a estação M5 e M4. Esta diferença pode ser associada a uma brusca redução na concentração de sólidos em suspensão na água devido a fatores hidrodinâmicos que levam: 1. a uma elevada taxa de deposição dos sólidos em suspensão nos primeiros quilômetros do reservatório e/ou 2. formação de uma corrente de densidade com o mergulho da massa d'água mais densa do rio Tocantins em direção a regiões mais profundas do reservatório. O estabelecimento de programas de coleta de dados limnológicos simultâneos às passagens do satélite Landsat poderão ampliar o conhecimento dos fatores que explicam a presença desse forte gradiente e suas consequências para o equilíbrio do ecossistema aquático.

**Abstract**

This paper presents some preliminary results of studies which are being carried out in the TUCURUÍ reservoir through scientific cooperation between the Institute for Space Research and the Brazilian Northern Electric Company (ELETRONORTE). In the present paper Total Suspended Solids (TSS) gradients derived from water samples along three limnological stations are compared to gradients in digital counts taken from TM/Landsat data at three different dates. These preliminary results indicate that the spectral radiance detected by TM/Landsat data is sensitive to changes in TSS greater than 4 mg/l. This difference represents the average TSS concentration between two adjacent limnological stations (M5 and M4) in the dry season. Hydrodynamical factors are controlling a high rate of sediment deposition at the reservoir entrance and/or the submersion of Tocantins denser water towards the metalimnium. More studies are needed so as to understand factors controlling the TSS gradients at the reservoir entrance and their consequences to the equilibrium of the aquatic system.

## 1-INTRODUÇÃO

A importância econômica do reservatório da Hidrelétrica de Tucuruí, como parte fundamental do Programa Grande Carajás, implica no seu monitoramento permanente de modo a garantir a multiplicidade da utilização de seus recursos hídricos.

O reservatório de Tucuruí, formado pelo barramento do rio Tocantins, situa-se no Estado do Pará, entre os paralelos de 3°43'e 5°15' de Latitude Sul e entre os meridianos de 49° 12'e 50° 00' de Longitude Oeste, a 300 km em linha reta de Belém. Possui uma área de inundação estimada em 2430 Km<sup>2</sup> e um volume de 45,8Km<sup>3</sup>. Sua área aproximada de drenagem é de 758 000km<sup>2</sup> com uma vazão média afluente (Média da série de Itupiranga, entrada do reservatório) de 11 090 m<sup>3</sup>/s. É o maior e mais importante reservatório do Norte do Brasil, de propriedade das Centrais Elétricas do Norte do Brasil, ELETRONORTE. Produz atualmente 4000 MW de energia e com previsão de duplicação por ocasião do término da segunda fase do empreendimento.

Com o fechamento das comportas em 1985 iniciou-se o monitoramento limnológico e de qualidade da água, visando avaliar periodicamente a evolução das condições do ambiente aquático na fase pós-enchimento. Entretanto, as dimensões do reservatório (2430 Km<sup>2</sup>), as dificuldades de acesso e o custo de amostragem tornam impraticável o monitoramento adequado em toda sua área. Em toda a represa há atualmente em operação apenas 4 estações amostrais o que produz informações limnológicas com resolução espacial de aproximadamente 500 Km<sup>2</sup>. Tal resolução espacial é inadequada principalmente se for levado em conta o caráter detritico do reservatório, que cria um número muito grande de sub-compartimentos cujo tempo de residência é extremamente variável em função de características intrínsecas de suas diferentes sub-bacias de captação (Pereira Filhos, 1990).

A utilização sistemática de dados de Sensoriamento Remoto em limnologia é relativamente recente no Brasil e no mundo. Na literatura sobre o tema se encontram trabalhos clássicos patrocinados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), voltados para a avaliação do potencial desta tecnologia no estudo de propriedades das águas interiores (Anderson e Horne, 1975; LeCroy, 1981). Tais estudos demonstram que certos componentes da água podem ser

inequivocamente relacionados à energia refletida pela água. Dados experimentais (LeCroy, 1981) demonstram que a distribuição superficial de TSS pode ser obtida a partir da análise de dados espectrais do sensor MSS/Landsat.

Apesar do potencial apresentado pelos dados de Sensoriamento Remoto, sua utilização efetiva em atividades de manejo de água interiores foi sempre pequena se comparada às aplicações oceanográficas, florestais e agrícolas. Os sistemas aquáticos continentais possuem fortes gradientes de variação vertical e horizontal em suas propriedades biológicas e físico-químicas. Estes gradientes tornam inadequada a utilização de sensores de baixa resolução espacial (1,1Km por 1,1Km) como o AVHRR (Radiômetro Avançado de muito Alta Resolução) transportado a bordo de satélites da série NOAA, apesar da maior frequência de aquisição de dados.

Os sensores a bordo dos satélites da série Landsat possuem melhor resolução espacial (79m por 56m no caso do MSS e 30m por 30m do TM) mas possuem baixa frequência de recobrimento (16 dias). Esta frequência é mais ainda reduzida devido à cobertura de nuvens, o que torna a probabilidade de aquisição de imagens para certas regiões, inferior a uma cena por ano.

Apesar das limitações anteriormente mencionadas Novo e Tundisi (1988) reconheceram uma ampla faixa de aplicação dos dados TM/Landsat no monitoramento de sistemas aquáticos interiores. Uma das grandes limitações das técnicas convencionais de limnologia é a baixa densidade de estações amostrais e a falta de informações sobre sua representatividade espacial. Esta limitação se torna mais grave em sistemas do porte do reservatório de Tucuruí.

Neste contexto, os dados de sensoriamento remoto orbital podem constituir ferramenta essencial para o estudo de sistemas aquáticos amazônicos. O reservatório de Tucuruí vem sendo utilizado desde 1987 como área de estudo no desenvolvimento de métodos de aplicação de sensoriamento remoto na extração de informações úteis ao manejo de seu sistema aquático e bacia de captação. Índices de vegetação derivados de razões normalizadas das bandas TM3 e TM4 foram utilizados para discriminar e mapear infestações de macrófitas em Tucuruí (Abdon e Figueiredo, 1989). As variações anuais na distribuição espacial dos bancos de

macrófitas aquáticas estão sendo avaliadas desde 1986 a partir do uso de séries históricas de imagens digitais TM/Landsat (Abdon e Meyer, 1990). O impacto das características abióticas e das taxas de desmatamento de duas sub-bacias de captação do reservatório de Tucuruí sobre as propriedades da água em suas respectivas regiões litorâneas está sendo avaliado a partir da integração de dados de Sensoriamento Remoto e dados de campo em um sistema de informações geográficas (Pereira Filho, 1990). Dados de concentração de clorofila coletados simultaneamente à passagem do satélite estão sendo utilizados para estimar a produtividade primária do reservatório de Tucuruí (Braga, 1990).

Neste artigo são apresentados resultados preliminares de estudos destinados a compreender a distribuição dos Totais de Sólidos em Suspensão na superfície d'água a partir da análise conjunta de dados limnológicos de campo e de dados digitais extraídos de imagens TM/Landsat.

## 2-A Importância ecológica da distribuição superficial de TSS.

A distribuição de TSS na superfície d'água é uma informação de grande importância no manejo dos sistemas aquáticos. O TSS controla a penetração de luz na coluna d'água regulando a profundidade da zona eufótica e, portanto, diminuindo a produtividade primária do sistema aquático. Trabalhos realizados na região amazônica têm sugerido que nos grandes sistemas lóticos os processos respiratórios excedem a produção de fitoplâncton porque a presença de material fino em suspensão na água limita a penetração da luz e, portanto, limita a fotossíntese. Dados coletados por Fisher e Parsley (1979) indicam que apesar do elevado nível de nutrientes presentes nas águas do rio Solimões à montante da confluência com o Rio Negro, a produtividade primária é bastante baixa devido à pequena penetração da luz na água (profundidade da zona eufótica sempre inferior a 1 m). Wissmar et al. (1981) estudaram o metabolismo de comunidades planctônicas no rio Amazonas, concluindo que durante o período de vazões elevadas o principal fator que limita a produção primária é a alta concentração de material em suspensão na água.

A análise das séries históricas de TSS e Clorofila em três estações amostrais de Tucuruí revela que o papel do TSS na

produção primária não é tão simples como aponta a literatura. Os sólidos totais em suspensão podem trazer também adsorvidos em suas partículas nutrientes que podem induzir momentaneamente um aumento da produtividade primária. Outra questão relevante é a origem e composição do TSS. Em regiões de maior turbulência o TSS pode ser composto de partículas de maior granulometria e portanto com menor potencial de atenuação da luz (Moore, 1977). O "range" de variação de TSS também é um aspecto relevante no seu papel inibidor da fotossíntese.

## 3-Material e Métodos

Para a realização deste estudo foram analisados dados limnológicos fornecidos pelo Centro de Proteção Ambiental da Eletronorte, baseado em Tucuruí. Estes dados se referem a 6 estações amostrais (J, M1, MR, M3, M4, M5) e apresentam duas limitações básicas: não foram coletados simultaneamente a nenhuma das imagens disponíveis; não cobrem o mesmo período de coleta. Apenas as estações M3 e M5 possuem séries históricas mais completas (1985-1988). A figura 1 representa o Reservatório de Tucuruí com a posição aproximada das estações amostrais analisadas nesse trabalho.

Devido às limitações dos dados limnológicos disponíveis, adotaram-se as seguintes precauções: 1-calculou-se, para o mês referente à data de aquisição da imagem de satélite, a média da concentração de TSS para toda a série histórica disponível. Foram calculados dois tipos de média: a- a média da concentração de TSS à superfície (TSS0); b- a média da concentração média na coluna d'água (TSSM); 2-calculou-se para cada estação a média da concentração de TSS na coluna d'água considerando-se todos os dados disponíveis na série histórica (MTSS). Os dados de satélite utilizados se referem à órbita 224; ponto 63, nas seguintes datas: 22/06/1986; 27/07/87; 16/07/1989.

Os dados de satélite foram submetidos a processamento digital visando: 1-delimitação da superfície livre de água; 2-remoção de faixas de ruído; 3-extração de níveis digitais; 4-classificação espectral das massas de água.

A delimitação da superfície livre de água foi realizada a partir da utilização da banda TM4 (infravermelho próximo), com o auxílio de um classificador determinístico que utiliza como dados de entrada, para a

identificação da água, o limite inferior e superior dos níveis digitais encontrados numa área amostral fornecida pelo analista. A área classificada como água no canal TM4 é posteriormente utilizada como máscara para a remoção da porção terrestre da imagem. Este procedimento inicial reduz o tempo de processamento posterior da imagem, pela redução da área de trabalho. Evita, também, que áreas não pertencentes ao sistema aquático sejam erroneamente nele incluídas devido à similaridade do comportamento espectral nas outras faixas do espectro.

Após a delimitação da área ocupada pelo reservatório, as imagens são submetidas à filtragem para remoção de faixas de ruído. Neste trabalho foi utilizado um filtro recursivo mediana de eficiência já comprovada para o reservatório de Barra Bonita (Godoy e Novo, 1989).

A extração de níveis digitais foi realizada através de dois programas: Cálculo de Parâmetros Estatísticos, o qual permite a aquisição da média dos níveis digitais para amostras de tamanho variável; Leitura de Pixel, o qual permite analisar os valores digitais numa janela de 5 por 5 pixels, fornecendo seu valor mínimo e máximo. Os níveis digitais: (1) mínimos e máximos foram extraídos da cena referente a 16 de julho de 1989, ao longo de um transecto entre as estações M3 e M5; (2) médios foram obtidos em cada uma das estações amostrais da ELETRONORTE. Os níveis digitais entre as estações M3 e M5 foram submetidos à análise de regressão simples tal que a variável independente do modelo foi definida como a distância entre a Estação M5 e o local de extração dos dados espectrais. A variável dependente de cada modelo passou a ser então o nível digital máximo e mínimo de cada amostra em cada banda. Esta análise teve como objetivo identificar a banda espectral mais sensível à variação do nível digital entre as estações amostrais. Os níveis digitais extraídos nas estações amostrais da ELETRONORTE foram utilizados para avaliar a correlação entre estes e as variáveis TSS0 e TSSM. Nas demais datas, os dados digitais foram extraídos apenas entre as estações M5 e M4 e serviram para avaliar a dinâmica anual das massas de água.

A classificação das massas de água do reservatório de Tucuruí foi realizada através do método do paralelepípedo, utilizando-se os pixels em torno das estações amostrais como área de treinamento. Nesta classificação utilizaram-se as bandas TM2, TM3 e TM4.

#### 4-Resultados

##### 4.1- Gradiente de concentrações de TSS ao longo do Reservatório de Tucuruí (dados limnológicos)

A figura 2 mostra a variação da concentração de TSS de montante (M5) para a juzante (M3). Os valores no gráfico são o TSSM para o mês de julho e o MTTSS. Observa-se que as médias das séries (MTTSS) são três vezes mais elevadas que as médias de julho em todas as estações amostrais. A análise da figura indica que existe um forte gradiente quanto à concentração de TSS entre a estação M5 e a estação M4 no mês de julho. A concentração de TSS se reduz a 1/3 entre estas duas estações limnológicas. O mesmo gradiente pode ser observado com as médias das séries de TSS.

A tabela 1 mostra os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e regressão (b) de cada modelo, gerado para determinar a taxa de variação do nível digital com a distância entre uma dada região do reservatório e a estação M5. Como foi constatada a existência de um forte gradiente de concentração de sedimentos entre a estação M5 e M3, os modelos de regressão permitiram constatar que faixa espectral estaria sendo mais sensível a essa variação nos valores de TSSM.

A análise da tabela 1 permite verificar que existe um pequeno gradiente de variação dos níveis digitais com a distância da estação M5. Este gradiente é mais acentuado nas bandas 2 e 3 que correspondem à região verde e vermelha do espectro eletromagnético respectivamente. O "range" de variação na média da concentração de TSS na coluna d'água entre a estação M5 e M3 é pequeno no mês de julho (5mg/l). Isto explica os pequenos valores dos coeficientes de regressão ou a pequena sensibilidade da radiância às variações de TSS. A combinação de um coeficiente de determinação elevado (0,87) e um coeficiente de regressão elevado (0,023) sugere que as variações de nível digital no TM3 estão associadas a variações de TSS entre as estações M5 e M3. Braga (1990), avaliando as correlações entre dados digitais do TM e dados limnológicos coletados simultaneamente à passagem do satélite sobre Tucuruí em agosto de 1990, verificou que tanto as concentrações de TSS quanto as de Clorofila são positivamente relacionadas aos níveis digitais das bandas 1, 2 e 3. Entretanto, enquanto a banda 2 é igualmente boa para os dois componentes da água, a

banda 3 é melhor para estimar o TSS, tendo seu desempenho reduzido para a Clorofila. A banda 2 ao mesmo tempo que responde ao TSS pode responder também à clorofila principalmente porque naquela data foi encontrada uma alta correlação entre TSS e Clorofila. Na banda 3 o aumento de clorofila provoca uma maior absorção da luz, o que faz com que as variações de TSS (responsáveis pelas variações no retroespalhamento) sejam mais prontamente detectadas através do espectro de reflexão da água. Trabalhos de laboratório (Novo et alii, 1990) com simulações de TSS têm demonstrado que a região entre 600 e 700 nm (vermelho) é a mais sensível a variações na concentração de TSS. Esses resultados fornecem fortes indicações de que a banda TM3 é a mais adequada para avaliar a distribuição de TSS em Tucuruí.

É importante salientar que a concentração média de TSS na coluna d'água nem sempre corresponde à concentração detectada pelo sensor, visto que a penetração de luz pode variar de uma estação amostral para outra.

Apesar de todas as limitações da metodologia utilizada, e tendo em vista a pequena variação nas concentrações médias, os dados orbitais permitem a diferenciação de massas de água segundo sua concentração de TSS. Essa diferenciação é apenas qualitativa e reflete apenas o comportamento espectral da água nos primeiros metros de profundidade, mas ainda assim traz informações complementares às fornecidas pelos dados limnológicos.

#### 4.2- Correlação entre níveis digitais e TSS0 e TSSM

A Tabela 2 apresenta o resultado da correlação entre os níveis digitais das bandas TM2, TM3 e TM4 extraídos da imagem referente a 16 de julho de 1989 e as variáveis TSS0 e TSSM. A banda 1 não foi incluída devido sua maior susceptibilidade à interferência atmosférica e consequente baixa sensibilidade às variações de TSS (Tabela 1).

A análise da tabela 2 demonstra numericamente que a banda TM3 é realmente a mais sensível as variações na concentração de sólidos em suspensão na água. O nível de significância das correlações é de 0,05 para as bandas TM2 e TM3. As correlações com a banda 4 não são significativas, o que é esperado dadas as baixas concentrações de TSS (entre 8mg/l e 0,86 mg/l). A baixa significância da correlação negativa

com TSS nesse estudo pode estar mais relacionada ao tamanho da amostra (n=6) que ao processo físico. Os valores negativos dos coeficientes estão em concordância com alguns resultados experimentais que demonstram que para baixas concentrações no infravermelho há uma redução da reflectância, pois há um aumento da profundidade ótica, aumentando o coeficiente de absorção da água. Apenas quando há grandes concentrações de TSS, a região do infravermelho passa a ter um coeficiente mais elevado de retroespalhamento, aumentando assim a reflectância da água e produzindo níveis digitais positivamente relacionados a sua concentração.

#### 4.3- Classificação Temática das Massas de Água do Reservatório de Tucuruí

A figura 3 representa o resultado da classificação temática do reservatório de Tucuruí em 5 tipos de massas de água a partir da análise da imagem de 16 de julho de 1989. A classe 1 corresponde à massa d'água representada pela estação M5. Os níveis digitais médios dessa classe nas bandas mais sensíveis ao TSS são 62 e 19, na região do verde e vermelho respectivamente. A classe 2 representa uma massa d'água com propriedades intermediárias entre as da estação M5 e M4, e que não foi contemplada pela rede de amostragem do Centro de Proteção Ambiental de Tucuruí. Os níveis digitais médios desta classe são 55 e 8,50 no verde e vermelho respectivamente, indicando concentrações mais baixas de TSS. A classe 3 engloba massas de água das estações M4 e M3. Os níveis digitais da classe 3 são 54,5 e 3,4 para as faixas do verde e vermelho respectivamente. A análise da figura 2 permite comprovar que em termos numéricos os valores de TSS destas estações são muito próximos. A concentração de TSS se diferencia em média por um valor inferior a 1 mg/l. Segundo Sydor (1980), concentrações inferiores a 3mg/l estariam fora do limite de sensibilidade dos sensores.

A análise mais detalhada das séries temporais de dados de TSS das estações M3 e M4 demonstra que não há diferenças entre elas nos períodos mais secos, com menor participação do escoamento superficial no aporte de material em suspensão. Este fato é confirmado pela classificação espectral das massas d'água do reservatório de Tucuruí. A similaridade entre as massa de água das estações M3 e M4 talvez tenha sido o motivo da desativação da M4 em julho de 1986. Esta desativação, entretanto, deveria ter sido seguida de estudos

sedimentológicos mais à montante, para que pudesse ser detectado o local onde a maior parte do sedimento é depositado de modo a avaliar a formação de depósitos de remanso para prevenir suas consequências (Pires e Novo, 1990).

Um aspecto ressaltado pela figura 3 é a existência de um limite abrupto entre as classes 1, 2 e 3. Essa mesma feição pode ser observada em detalhe na figura 4, que representa resultado da classificação temática de uma subcena de 512 por 512 pixels englobando apenas a transição entre as classes 1 e 2 identificadas na imagem de 1989. A subcena analisada refere-se à passagem de 27 de julho de 1987. Nela também se observa o limite abrupto entre a massa de água do rio Tocantins nas imediações da estação M5 e a massa d'água do reservatório na transição entre aquela e a estação M4.

Os valores digitais médios para a cena de 1987 são mais baixos do que aqueles encontrados em 1989. Estas diferenças podem ser atribuídas a variações na transmitância atmosférica e mesmo nas propriedades da água. Os níveis digitais da classe 2 (água -Tocantins) foram 11,81 e 11,46 nas faixas do verde e vermelho respectivamente. Na classe 1 (água- Tucuruí), os níveis digitais médios foram 6,46 e 7,52 nas faixas do verde e vermelho respectivamente. A água do rio Tocantins apresenta níveis digitais mais elevados que a água de Tucuruí. De fato os níveis digitais médios caem pela metade na faixa do verde quando se passa de uma classe para a outra. Isto não ocorre em relação à imagem obtida em 1989, na qual ao se passar da classe 1 (água do rio Tocantins) para 2 (água do reservatório) há um decréscimo de apenas 10% na média dos níveis digitais. O comportamento espectral das classes d'água em julho de 1987 parece sugerir que nessa data havia, além de TSS, elevadas concentrações de Clorofila (Pigmentos Totais) em subsuperfície. A Clorofila absorve radiação nas faixas do azul e vermelho determinando uma redução acentuada na radiância da água em todo o espectro visível. O exame dos valores de concentração de clorofila no mês de julho de 1987 revelou uma elevada concentração em superfície (7,6 ug/l). Apesar das diferenças espectrais encontradas entre as datas utilizadas na análise, observa-se que o resultado da classificação reproduziu massas d'água espacialmente semelhantes, com aproximadamente os mesmos limites. Isto pode sugerir que, pelo menos para essa mesma época do ano, essas massas de água se mantêm como compartimentos

discretos, sujeitos a uma dinâmica própria. As concentrações de TSS e outros parâmetros limnológicos podem se alterar, mas mantêm, aparentemente, um certo equilíbrio que preserva suas características da massa d'água, impedindo sua mistura.

#### 4.4- Dinâmica Anual das Massas de Água na entrada do reservatório de Tucuruí.

A dinâmica anual das massas de água pode ser avaliada a partir da análise dos níveis digitais da tabela 3. Observa-se que nos anos de 1986 (junho), 1987 (julho) e 1989 (julho) os níveis digitais indicam uma redução da concentração de TSS de M5 para M4. O gradiente, entretanto, varia de ano para ano. Em 1986, há uma redução lenta (4%) dos níveis digitais até o ponto de transição (T) e deste para a estação M4 (19%). Em 1987, esta transição é mais brusca. Uma massa de água densa, com as propriedades do rio Tocantins, se mantém até o ponto de transição (T) sofrendo a partir daí uma redução de 34% no nível digital referente à estação M4. Em 1989 a passagem da estação M5 para o ponto (T) é abrupta (redução de 25% no valor do nível digital) e deste para a estação M4, mais suave. Estes dados sugerem que a região de máxima deposição da carga do rio Tocantins oscila ano a ano.

Em 1986 e 1987 a faixa de maior deposição é mais estreita (T-M4). Em 1989 essa faixa é mais ampla (M5-M4). A deposição de igual carga em uma faixa mais estreita significa uma redução de profundidade do reservatório mais rápida, ou uma obstrução da entrada de água, ou elevação do nível de base local. As consequências disso seriam maiores riscos de inundação à montante. A análise da dinâmica das massas de água do reservatório para séries mais longas de dados de satélite e dados hidrológicos parece ter grande potencial também para estudos do risco de inundação, orientando as equipes de hidrometria na alocação de seções para levantamento batimétrico da represa. Pode também estar ocorrendo a formação de correntes de densidade. Nesse caso, a massa de água do rio Tocantins escoaria sob a massa superficial do reservatório sem que ocorra o processo de deposição. Esta hipótese levaria a uma menor taxa de deposição junto à entrada do reservatório. Para que qualquer um desses fenômenos seja comprovado, há a necessidade de coleta de dados de campo, coleta esta, cujos locais de amostragem são indicados pela presença desses gradientes de radiância detectados em imagens TM/Landsat.

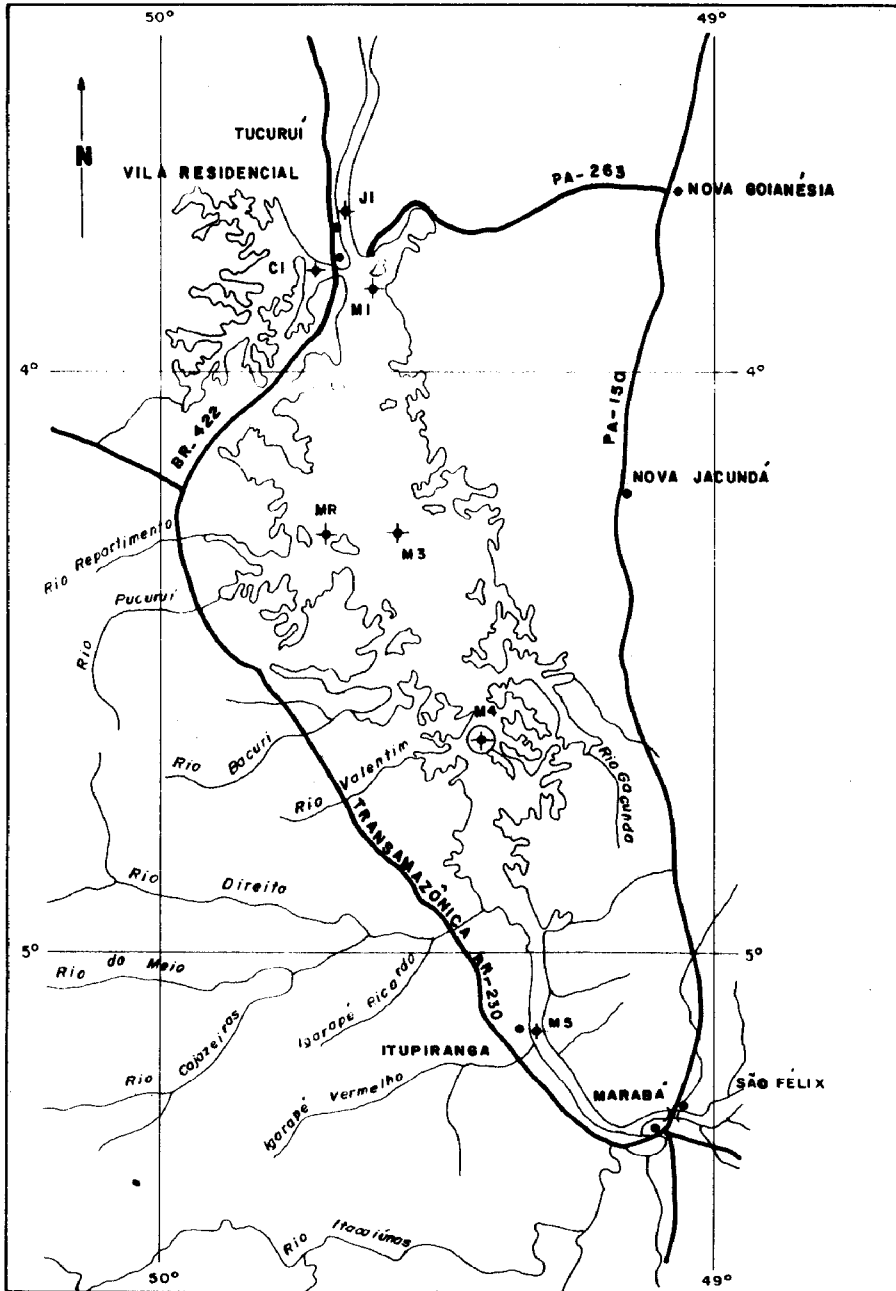
## 5- Conclusões e Recomendações

Os dados apresentados neste trabalho sofrem alguns defeitos básicos em estudos de qualidade d'água: 1- falta de simultaneidade entre a coleta de amostra d'água e os dados de satélite; 2- número reduzido de estações amostrais de campo. Apesar dessas limitações, uma série de informações puderam ser extraídas dos dados de campo e de sensoriamento remoto. Dentre estas informações destacam-se: 1- o forte gradiente de redução na concentração média de TSS da estação M5 para a M4; 2- a existência de um patamar intermediária de concentrações elevadas de TSS entre a estação M5 e M4 não contemplado pelas amostras de campo; 3- a similaridade ótica e limnológica entre as estações M3 e M4 no período de inverno; 4- a permanência no tempo de massas de água com características espectrais semelhantes; 4- a dinâmica dessas massas de água na entrada do reservatório, indicando a variação anual da área de acumulação dos depósitos de remanso.

## 6- Bibliografia

- ABDON, M.M. Áreas de macrófitas aquáticas classificadas através de índices de vegetação extraídos de imagem TM/Landsat. Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 3, Acapulco, 5-9 dezembro 1988.
- \_\_\_\_\_; MEYER, M. Avaliação de áreas ocupadas por diferentes espécies de macrófitas aquáticas no reservatório de Tucuruí através de dados de satélite Landsat/TM. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, Manaus, 24-29 junho 1990.
- ANDERSON, H.M.; Horne, A.J. Remote Sensing of water quality in reservoirs and lakes in semi-arid climates. (NASA CR-166178), Berkley, NASA, 1975.
- BRAGA, C.Z.F. Avaliação preliminar da produtividade primária na represa de Tucuruí, Pará, com utilização de imagem TM. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, Manaus, 24-29 junho 1990.
- FISHER Jr., T.R.; PARSLEY, P.E. Amazon lakes: water storage and nutrient stripping by algae. Limnology and Oceanography. 24(3):547-553, 1979.
- GODOY Jr. M.; NOVO, E.M.L.M. Processamento digital de dados TM/Landsat no monitoramento de águas interiores. (INPE-4956-PRE/1533), 1989.
- LeCROY, S.R. Kerr Reservoir Landsat experiment analysis for March 1981. (NASA CR-165959), Hampton, Virginia, NASA, 1982.
- MOORE, G.K. Satellite surveillance of physical water-quality characteristics. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 12, Ann Arbor, University of Michigan, pp. 445-461, 1977.
- NOVO, E.M.L.M.; STEFFEN, C.A.; BRAGA, C.Z.F. Waveband selection for the remote estimation of suspended solids. Submetido a Remote Sensing of Environment, 1990.
- \_\_\_\_\_; TUNDISI, J.P.G. Sensoriamento Remoto de águas interiores: perspectivas. V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, outubro de 1988.
- PEREIRA FILHO, W. Dados TM/Landsat aplicados à detecção de mudanças ambientais na região do reservatório de Tucuruí. Tese de mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações (a ser submetida). INPE, São José dos Campos, 1990).
- PIRES, J.P.S.; NOVO, E.M.L.M. Aplicação de dados TM/Landsat na identificação de áreas de formação de depósitos de remanso no reservatório UHE Tucuruí. Simpósio Brasileiro de Limnologia, 3, Porto Alegre, 23-29 julho 1990.
- SYDOR, M. Remote Sensing of particulate concentration in water. Applied Optics, 19: 2794-2801, 1980.
- WISSMAR, R.C.; RICHEY, J.E.; SETALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Plankton metabolism and carbon processes in the Amazon River, its tributaries and flood plain waters, Peru-Brasil. May-June, 1977, Ecology, 62(6): 1622-1633, 1981.

**CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S.A**  
**USINA HIDROELÉTRICA DE TUCURUI**



Localização das estações de coletas LIMNOLÓGICAS ao longo do Reservatório da UHE - TUCURUI

**LEGENDA**

- Cidades e Vilas
- + Estações de coletas LIMNOLÓGICAS
- M - Montante
- CI - Caraipé
- JI - Jusante
- ⊕ Localização Aproximada da Estação de Coleta

Figura 1 - Localização das Estações Amostrais Implantadas pela ELETRONORTE.



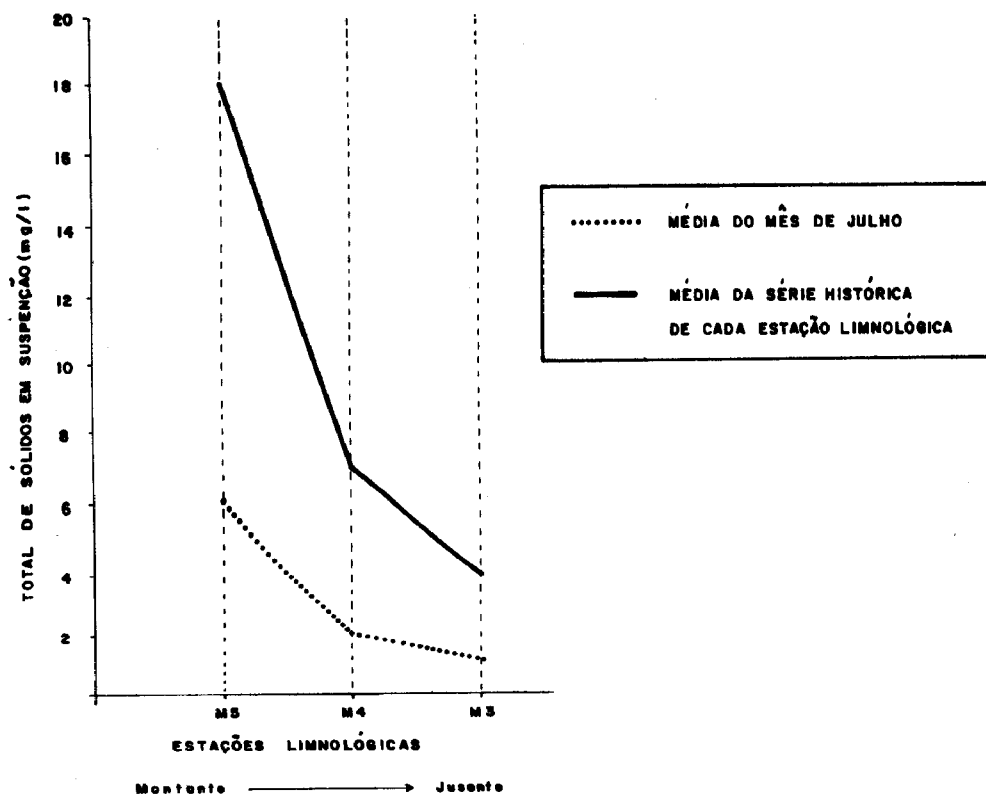


Figura 2 - Média das concentrações do total de sólidos em suspensão na coluna d'água.

TABELA 1

COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (r<sup>2</sup>) E REGRESSÃO (b) DOS MODELOS LINEARES PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DIGITAL EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE UM PONTO QUALQUER À JUZANTE E A ESTAÇÃO M5

MODELO	r <sup>2</sup>	b
NmB1	0,85	0,019
NMB1	0,85	0,018
NmB2	0,85	0,024
NMB2	0,92	0,017
NMB3	0,85	0,019
NmB4	0,19	0,001

**Legenda:**

Nm = Nível digital mínimo da amostra  
 NM = Nível digital máximo da amostra  
 B1 = Banda TM1  
 B2 = Banda TM3  
 B3 = Banda TM3  
 B4 = Banda TM4  
 R2 = Coeficiente de determinação  
 b = Coeficiente de regressão

TABELA 2

CORRELAÇÃO ENTRE A MÉDIA DOS NÍVEIS DIGITAIS NAS  
ESTAÇÕES AMOSTRAIS E AS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS TSS0 E TSSM

	TM2	TM3	TM4
TSS0	0,858	0,901	-0,500
TSSM	0,849	0,890	-0,550



Figura 3 - Classificação das massas de água do Reservatório de Tucuruí em julho de 1989.



Figura 4 - Classificação das massas de água do Reservatório de Tucuruí em julho de 1987.

TABELA 3

NÍVEIS DIGITAIS MÉDIOS NO CANAL TM3/LANDSAT  
NAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS

Est. Amostras	1986	1987	1989
M5	19,35	11,46	17,60
T (Transição)	18,57	11,46	13,14
M4	15,02	0,52	11,24