

VARIAÇÃO NA QUALIDADE ÓPTICA DA ÁGUA DO SISTEMA RIO-RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ/PA. (1)

Mauro Januário (2)

Giberto F. Fisch (3)

RESUMO

Entre os anos de 1983 e 1986 foram coletadas informações sobre o comportamento da penetração na água da radiação solar nos períodos anterior e posterior à formação do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, no Pará. Tais medidas foram obtidas em locais pré-fixados à montante da barragem, abrangendo as épocas chuvosa e seca. Para cada série de dados foram calculadas a irradiância I , o coeficiente de atenuação K e a profundidade da zona eufótica. Erros associados aos cálculos também foram analisados. Através das análises efetuadas verificou-se que a atenuação da radiação solar pela água foi maior no período chuvoso, ocorrendo a situação inversa durante a estiagem. Constatado o comportamento sazonal de K , este foi relacionado com a enorme quantidade de sedimentos em suspensão transportado anualmente pelo sistema Araguaia-Tocantins. Notou-se que no período pós-enchimento do reservatório, houve uma nítida alteração nos valores de K , com diminuição dos valores máximos. Evidenciou-se que, com a diminuição da velocidade do curso d'água, o apote no lago de material suspenso começou a se depositar, iniciando o fenômeno da sedimentação.

INTRODUÇÃO

Paulatinamente a preocupação com os efeitos causados pela ação do homem no ecossistema amazônico vem ocupando espaços importantes dentro dos grandes projetos nesta região. Pesquisas ecológicas ligadas ao desmatamento da Amazônia Ocidental (Programa POLONOROESTE), à inundação de extensas áreas para geração de energia elétrica (Convênio EN/CNPq/INPA) e ao aproveitamento dos recursos minerais (Projeto Grande Carajás e Barcarena) são indispensáveis na atuação racional na floresta amazônica.

O programa do convênio EN/CNPq/INPA se insere no âmbito de estudos ecológicos em três grandes barragens da Amazônia (Tucuruí/PA, Balbina/AM e Samuel/RO). Especificamente na área de Tucuruí as pesquisas se desenvolvem desde 1980. A preocupação é plenamente justificável quando se sabe que a área alagada é de aproximadamente 2.500 km² e o volume acumulado da água é de 43 bilhões de m³, podendo causar o desaparecimento de essências florestais nativas

¹ Pesquisa realizada com recursos do convênio ELETRONORTE/CNPq/INPA.

² Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel", CP 261, CEP 86360, Bandeirantes/PR.

³ Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Atividades Espaciais, CEP 12200, São José dos Campos/SP.

endêmicas, mudanças climáticas locais ou ser foco de doenças tropicais (malária e leishmaniose). Teses que estão sendo estudadas através de acompanhamento sistemáticos e conhecimento acumulados.

Um outro fator preocupante é a qualidade ótica da água do lago artificial. A presença de suspensões atenuando a penetração da luz, ou removendo fótons com o aumento da profundidade, traz várias consequências negativas para a produtividade e produção primária. Hardy (1978), referindo-se a Moghraby, cita que o aumento da concentração de material em suspensão, provocado pelas enchentes no rio Nilo Azul, diminui a penetração de luz e constata a aderência destas substâncias nos organismos do zooplâncton, impedindo sua respiração e dificultando o movimento natatório.

A interferência do feixe direto da radiação solar pela presença de material suspenso diminui a profundidade da zona eufótica, ou seja, profundidade na qual a atenuação da radiação solar é de 99%, contribuindo para tornar menor a produtividade do lago (Kirk, 1985). Além disso, a extensão do campo visual também é afetada e com isso a predação ou alimentação e os movimentos da fauna são prejudicados.

As primeiras medidas de iluminação subaquática datam da década de 1920. Poole & Atkins (1929) apontam como causa presumível para as variações do coeficiente de atenuação K a presença de material inorgânico em suspensão. Muntz (1978), fazendo medidas de penetração e refletância de luz em 5 comprimentos de onda, chegou à conclusão que a diferença da entrada de luz entre os rios Solimões e Castanho, na Amazônia Central, era associado ao material em suspensão e não ao material dissolvido.

Vários estudos neste campo foram feitos, destacando-se Grobbelaar & Stegmann (1976), Junk et al. (1981), Ribeiro (1983), Kishino et al. (1984).

O material em suspensão também preocupa no que tange ao assoreamento contínuo do lago formado. Algumas represas em várias partes do mundo tiveram sua capacidade variada, provocando diminuição na produção de energia e de sua vida útil. A atenção para tal problema tem sido levantada por estudos limnológicos (Santos, 1983; Petri & Fúlato, 1965; Villela & Mattos, 1975) e em cursos específicos de segurança de barragens (Carvalho, 1982).

Em ambiente ribeirinho a deposição de sedimentos tem sido analisada há muito tempo. Data do século passado as primeiras observações registradas de material em suspensão no rio Amazonas (Nordin et al., 1981). A constatação mais notável ocorre no rio Negro, onde processos e zonas de sedimentação propiciaram a formação do Arquipélago de Anavilhanas (Leenheer & Menezes, 1980).

Portanto, nos aspectos relativos aos suspensões, as pesquisas básicas de grandes corpos d'água, como é o caso do lago de Tucuruí, se justificam plenamente.

MATERIAL E MÉTODOS

A intensidade da luz de uma fonte diminui com a distância. A atenuação da luz em um corpo d'água é causada por dois fatores: absorção da energia radiante pela água e alguns solutos presentes; e espalhamento da luz pelas partículas suspensas na água.

A atuação desses elementos no feixe de radiação solar determinam o fenômeno de atenuação ou extinção.

A expressão que equaciona a diminuição da irradiância no meio físico água, obedecendo

os mesmos princípios físicos da penetração de luz na atmosfera, formulada por Lambert-Beer, é dada a seguir:

$$I(z) = I_0 \cdot e^{-Kz} \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (1)$$

$I(z)$ = fluxo de radiação solar à profundidade z (W m^{-2})

I_0 = fluxo de radiação solar incidente na superfície d'água (W m^{-2})

K = coeficiente de atenuação (cm^{-1})

Os dados disponíveis compreendem o período entre outubro de 1983 a fevereiro de 1986, havendo um intervalo médio de 2 meses entre leituras consecutivas. As medidas foram efetuadas a uma distância aproximada de 4 km a montante da barragem.

Para as séries de coleta utilizou-se equipamento LICOR, ou mais especificamente os seguintes instrumentos: LI - 185B Quantun/Radiometer/Photometer, LI - 192SB Underwater Quantun Sensor (2843) e LI 210 SB Photometric Sensor (4309). Os sensores medem a radiação solar entre os comprimentos de onda 400 a 700 nm, definindo a banda da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR).

Cada medida efetuada corresponde a perfis de 80 cm, cujas leituras foram feitas a cada 10 cm. Enquanto o sensor imersível mede a intensidade da luz à profundidade z o fotômetro, situado fora da água, age como indicador da radiação penetrante na superfície, controlando a intensidade da radiação solar durante todo o perfil.

Admitindo-se que, de um modo geral, a equação (1) é válida para qualquer intervalo de comprimento de onda, então o coeficiente de atenuação K é aproximadamente constante na faixa espectral considerada e é calculado pelo método dos mínimos quadrados. Nas determinações são consideradas as respectivas faixas de confiança, assumindo-se 6 graus de liberdade a um nível de confiabilidade de 95%.

O erro relativo da profundidade da zona eufótica foi calculado em 5%, através da vinculação do erro relativo do sensor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerações gerais

A bacia do Tocantins-Araguaia tem uma área de drenagem de aproximadamente 800.000 km^2 , sendo o rio Tocantins o principal tributário. Nos seus 2500 km de extensão recebe águas de 23 afluentes pela margem direita e 25 pela esquerda. Seu declive médio é de apenas 2 cm km^{-1} .

Santos (1983) atenta que o comprimento do rio e dos afluentes são de fundamental importância, do ponto de vista limnológico, devido à entrada de nutrientes, sedimentos orgânicos e inorgânicos.

Medições do coeficiente de atenuação K

Na Figura 1, estão plotados os valores de K em função do tempo, a partir de aproximadamente 200 séries de medidas, abrangendo o período de outubro de 1983 a fevereiro de 1986. A Figura mostra os totais mensais de precipitação, coletados na estação climatológica da barragem de Tucuruí.

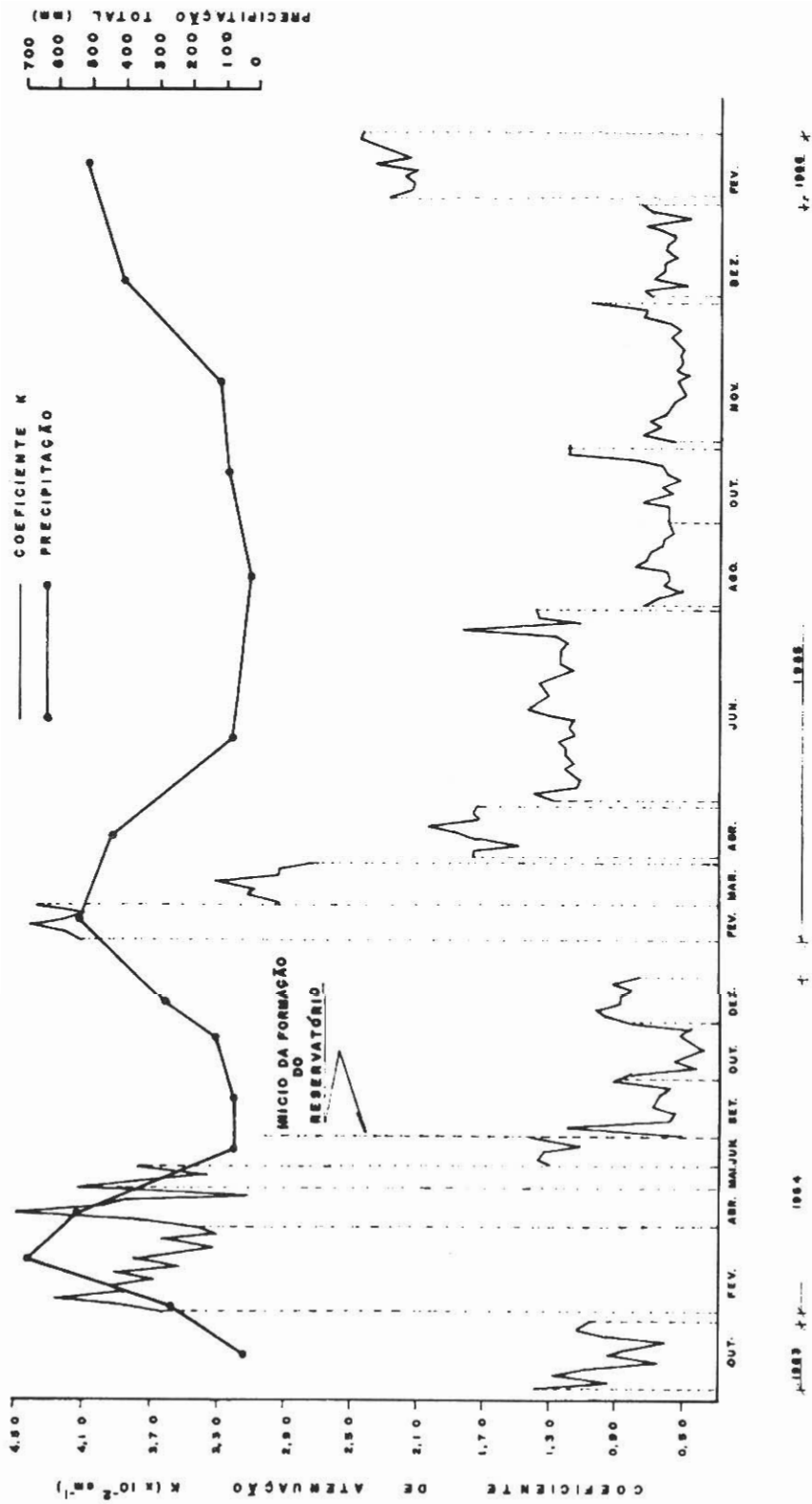


Figura 1 - Variação sazonal do coeficiente de atenuação K, a partir de 200 séries de medidas efetuadas no Rio Tocantins, a montante da Hidrelétrica de Tucuruí/PA; e comportamento da precipitação (Totais mensais), registrados na estação meteorológica, localizada próximo a barragem.

A Tabela 1, mostra a concentração (ppm) de material suspenso no rio Tocantins, medida em diferentes épocas do ano na estação de Itupiranga, distante cerca de 150 km a montante da hidrelétrica de Tucuruí.

A profundidade da zona eufótica foi calculada para cada conjunto de medidas, avaliando-se a média e desvio amostral. Na Tabela 2, encontram-se alguns valores representativos no decorrer do período disponível de dados.

Tabela 1 - Concentração, em ppm, de material suspenso no rio Tocantins, proximidades de Itupiranga/PA.

Fonte: Béquio et al. (1983)

DATA	Concentração (ppm)
31.05.75	56.6
22.06.75	22.2
29.01.79	195.4
28.02.79	84.1
30.03.79	67.1
29.04.79	73.7
30.05.79	68.5
29.06.79	37.5
19.07.79	28.7
30.01.82	256.9
25.02.82	43.0
31.03.82	107.9

Análise

Os dados da Tabela 1, apresentam concentrações maiores de sedimentos em suspensão nos meses chuvosos (janeiro/fevereiro de 1979 e janeiro/março de 1982) do que nos meses secos (junho de 1975 e junho/julho de 1979), evidenciando o aporte desigual do material suspenso, no rio Tocantins, ao longo do ano.

Nas proximidades de Itupiranga o transporte destes sedimentos é da ordem de $77 \text{ t km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$; enquanto que o rio Araguaia, no ponto de coleta de Santa Isabel, com metade da área da Bacia do Tocantins, transporta cerca de $88 \text{ t km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Béquio et al. 1983).

A taxa de erosão, propiciando o aporte da carga detrítica no reservatório, foi estimada em $392 \text{ mil t dia}^{-1}$ com volume médio de $1,55 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (período chuvoso) (Santos, 1983).

Essa enorme quantidade de material, que é introduzida no reservatório de Tucuruí, é importante para dar suporte aos dados de atenuação obtidos.

A sazonalidade do comportamento do coeficiente K foi verificada na Figura 1. A série de dados anterior ao início da formação do lago, ocorrida a 7 de setembro de 1984, não é longa. No entanto, a comparação de valores antes e após o fechamento da barragem é útil.

Com relação à variação sazonal do coeficiente de atenuação, para os meses chuvosos (fevereiro - março - abril) K é maior do que no período seco (julho - agosto - setembro/Outubro - novembro - dezembro). Os totais de precipitação plotados na Figura 1 não mostram diferenças significativas durante o período considerado neste trabalho.

Mesmo com a estabilidade do lago formado, devido à diminuição da velocidade da água, o comportamento sazonal de K, no entanto, permaneceu igual à fase anterior da construção da barragem. Ou seja, aumento na época chuvosa e diminuição na estiagem. Contudo, a amplitude da variação tornou-se menor (abril e junho/85, dezembro/85 e fevereiro/86) após o represamento da água, apesar de que em fevereiro de 1985 apresente valores compatíveis com o mesmo mês do ano anterior. Isso porque o lago, em fevereiro de 1985, não estava completamente formado, caracterizando um período de transição, e a onda de cheia, precedendo a onda de sedimentos, determinou valores altos de K. Nos meses seguintes à transformação rio-lago artificial K apresenta valores menores para os períodos chuvosos (dezembro de 1985 e fevereiro de 1986).

Tabela 2 - Média e desvio da profundidade, em cm, da zona eufótica para épocas representativas das estações do ano nas águas do Tocantins, antes e após a formação do lago artificial, nas vizinhanças da barragem de Tucuruí/PA.

Data	Profundidade (cm)
09.02.84	134 ± 6
09.02.85	109 ± 4
06.02.86	201 ± 11
28.04.84	115 ± 9
24.04.85	251 ± 17
23.06.84	356 ± 33
05.06.85	348 ± 59
08.12.84	505 ± 45
31.12.85	770 ± 104

A diferença na quantidade de material suspenso e dissolvido ao longo do ano também é responsável pela variação sazonal verificada na profundidade da zona eufótica (Tabela 2), apresentando valores maiores no período seco (junho de 1984) devido a atenuação do pouco material suspenso, e diminuindo no período chuvoso (fevereiro de 1984). A comparação entre os mesmos meses dos anos anterior e posteriores ao início da formação do lago, expressam o aumento da profundidade de zona eufótica (fevereiro de 1984 e 1986; março de 1984 e 1985; dezembro de 1984 e 1985), demonstrando o fenômeno da sedimentação devido à estabilidade do meio aquático.

CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados e discutidos anteriormente, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- a) o coeficiente de atenuação K possui variação sazonal, apresentando valores maiores no período chuvoso e menores no período seco. Com o fechamento da barragem, K manteve o comportamento anterior, mas a amplitude de variação entre os valores máximos e mínimos diminuiu;
- b) os valores menores de K, observados após a formação do lago e, conseqüentemente, aumento da zona eufótica, podem decorrer da menor quantidade de material em suspensão, devido à sedimentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua satisfação ao apoio nos trabalhos de campo aos técnicos Hermes Braga e Adalto A. Alves; nos cálculos dos dados ao técnico Sérgio Magno; na discussão e análises ao sr. Antonio C. Tancredi e sr. Ari Marques. Também agradecem à Sra. Nazaré Góes Ribeiro pelo apoio dado durante a execução da pesquisa.

SUMMARY

This work presents the behavior of solar radiation penetration in water of Tucuruí-PA reservoir before and after periods of its installation. The data were obtained in the years 1983 and 1986 near the barrage, during dry and wet stations. The K attenuation coefficient and the euphotic zone profundity were calculated for each series of data. Errors concerning to evaluation were analysed too. It was verified through analysis that the attenuation of solar radiation by water was bigger in rainy periods than in dry ones. This periodical behavior was in connection with the large quantity of suspensoids transported along year by the Araguaia-Tocantins system. There was a clear alteration in K values, with a decrease of the values. It was evidenced that sedimentation phenomenon began with diminution of water current velocity.

Referências bibliográficas

- Béquio, E. A. L.; Lou, W. C.; Siciliano, M. A.; Silveira, O. V. - 1983. Interpretation of the sedimentological behaviour of the Tocantins-Araguaia basin. *IAHS, Publ.* (140).
- Carvalho, N. - 1982. **Curso de segurança de barragens.** ELETROBRAS/RJ.
- Fisch, G. & Januário, M. - 1984. Controle ambiental na região do reservatório da UHE/Tucuruí - Meteorologia. **Relatório Técnico**, período janeiro-junho.
- Grobbelaar, J. U. & Stegmann, P. - 1976. Biological assessment of the euphotic zone in a Turbid Man-Made lake. *Hydrobiology*, 48(3):263-266.
- Hardy, Elsa, R. - 1978. **Composição de Zooplâncton em 5 lagos da Amazônia Central.** Tese de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP.
- Junk, W. J.; Robertson, B. A.; Darwik, A. J.; Vieira, I. - 1981. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 11(4):689-716.
- Kirk, J. T. O. - 1985. Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiology*, 125:195-208.
- Kishino, M.; Booth, C. R.; Okami, N. - 1984. Underwater radiant energy by phytoplankton, detritus, dissolved organic matter, and pure water. *Limnol. Oceanogr.*, 29(2):340-349.
- Leenher, J. A. & Santos, U. M. - 1980. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). *Acta Amazonica*, 10(2):343-355.

- Muntz, W. R. A. - 1978. A penetração de luz nas águas de rios Amazônicos. **Acta Amazonica**, 8(4):613-619.
- Nordin, C. F.; Meade, R. H.; Curtis, W. F.; Bósio, N. J.; Landim, P. M. B. - 1981. Distribuição do sedimento do leito do rio Amazonas; nenhuma mudança apreciável rio abaixo. **Acta Amazonica**, 11(4):769-772.
- Petri, S. & Fulfaro, V. J. - 1965. Aspectos da sedimentação e estruturas sedimentares dos depósitos da represa Billings, SP. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, 14(1-2).
- Poole, H. H. & Atkins, W. R. G. - 1929. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. **J. Mar. biol. Ass. U. K.**, 16.
- Ribeiro, S. B. - 1983. **Estudo sazonal de fatores ambientais, nutrientes e biomassa de fitoplâncton no lago Jacaretinga (Amazônia Central)**. São Carlos, Universidade Federal. Tese de Doutorado.
- Santos, A. - 1983. **Limnologia do sistema Tocantins-Araguaia. Aspectos físicos e biogeoquímicos**. São Carlos, Universidade Federal. Tese Doutorado.
- Villela, S. M. & Mattos, A. - 1975. **Hidrologia aplicada**.

(Aceito para publicação em 14.09.90)