

Ricardo Henrique Paes Barreto Peixoto

**SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TOCANTINS
A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA SERRA DA MESA (GO)**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba como
requisito parcial à obtenção do título de
Mestre

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Sub Área: Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadores: Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Profa. Dra. Annemarie König

Campina Grande – PB
Julho/2001



P379s Peixoto, Ricardo Henrique Paes Barreto.
Sobre a qualidade da água do Rio Tocantins a jusante da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa (GO) / Ricardo Henrique Paes Barreto Peixoto. - Campina Grande, 2001.
123 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.
"Orientação : Prof^a. Dr^a. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, Prof^a. Dr^a. Annemarie König".
Referências.

1. Água - Qualidade. 2. Usina Hidrelétrica Serra da Mesa (GO). 3. Rio Tocantins. 4. Engenharia Civil - Dissertação. I. Ceballos, Beatriz Susana Ovruski de. II. König, Annemarie . III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título

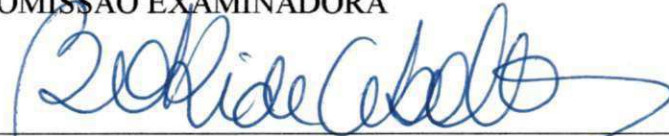
CDU 628.1(817.3)(043)

Ricardo Henrique Paes Barreto Peixoto

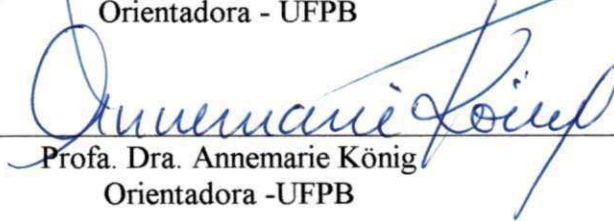
**SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TOCANTINS
A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA SERRA DA MESA (GO)**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 11/07/2001

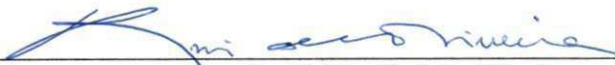
COMISSÃO EXAMINADORA



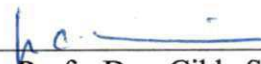
Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Orientadora - UFPB



Profa. Dra. Annemarie König
Orientadora -UFPB



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Examinador interno UFPB



Profa. Dra. Gilda Schmidt
Examinadora externa - UNITINS

CAMPINA GRANDE - PB
Julho/2001

OFEREÇO

À minha tia e mãe MARIA ALUCE PAES BARRETO pelo esforço para que a minha vida profissional chegasse até aqui.

Aos meus pais PEDRO FERDINANDO LEAL PEIXOTO E DELZUÍTA BARRETO PEIXOTO. Com muito amor, aos filhos IGOR E RAÍZA. Dedico

AGRADEÇO

A DEUS por ter me dado a saúde, coragem e força para realizar esta pesquisa.

A Profa. Dra. BEATRIZ S. O. DE CEBALLOS, pela oportunidade, pelo exemplo de competência profissional e orientação deste trabalho.

A Profa. Dra. ANNEMARIE KÖNIG pela ajuda sempre que solicitada e co-orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. RUI DE OLIVEIRA pela amizade e os ensinamentos recebidos.

A Profa. Dra. GILDA SCHMIDT, pelo apoio, amizade e cordialidade ao enviar-me dados e referências sobre a pesquisa.

Aos Professores ANTÔNIO COSTA FILHO E MARIDETE SARAIVA CORREIA, pelas contribuições dadas sempre que solicitados.

Ao Prof. JOSEANO CARVALHO DOURADO, pela amizade e colaboração fornecida na análise da literatura.

A Universidade do Tocantins por ter autorizado meu afastamento para fazer o mestrado.

Ao colegiado do curso de Graduação em Engenharia Ambiental da UNITINS, pela confiança em mim depositada.

Ao consórcio formado pelas empresas Nacional Energética S/A e Companhia Energética Nacional pela oportunidade de realização deste trabalho e pelas facilidades concedidas através do contrato nº 01/97 firmado entre a UNITINS e a Nacional Energética S/A com interveniência de FURNAS.

Aos engenheiros ambientais JOSÉ FLORENTINO PORTO JUNIOR E MARCUS CARLOS COSTA SANTOS, pela convivência e incentivo durante minha estadia em Campina Grande.

Ao colega RODRIGO DE FELLIPO, de FURNAS Centrais Elétricas S/A, pela atenção e cordialidade ao enviar-me referências sobre a UHE Serra da Mesa.

Aos funcionários da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental do DEC/CCT/UFPB e a todos os colegas da turma de mestrado.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	viii
Lista de Siglas e Símbolos.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Resumo.....	xv
Abstract.....	xvi
1.0 – INTRODUÇÃO.....	1
2.0 – OBJETIVOS.....	3
3.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 - Escassez de água.....	4
3.2 - Águas superficiais.....	5
3.3 - Qualidade da água doce.....	7
3.3.1 - Parâmetros de qualidade física e química da água.....	9
3.3.3.1 pH, temperatura e condutividade elétrica.....	9
3.3.3.2 Cor, transparência e turbidez.....	12
3.3.3.3 Alcalinidade total e dureza total.....	14
3.3.3.4 Íons (cloreto, sódio, potássio, cálcio e sílica).....	14
3.3.3.5 Nutrientes nitrogenados e ortofosfato solúvel.....	15
3.3.3.6 Oxigênio dissolvido.....	17
3.3.3.7 Clorofila <i>a</i>	18
3.4 - Avaliação da qualidade da água.....	18
3.5 - A Bacia Amazônica.....	19
3.6 - A Bacia Araguaia - Tocantins.....	22
3.7 - Influência de represas na qualidade da água dos rios a jusante.....	23
3.8 - Aspectos climáticos da região amazônica.....	27
4.0 – MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 - Localização da área de estudo.....	29
4.2 - Descrição da área sob estudo.....	30
4.3 - Definição dos pontos de amostragem e coleta de amostras.....	32
4.4 - Definição de épocas climáticas homogêneas.....	34
4.5 - Procedimento de coleta e preservação das amostras.....	41
4.6 - Período de frequência de amostragem de água.....	41
4.7 - Variáveis analisadas e métodos analíticos utilizados.....	41
4.8 - Análises estatísticas.....	42
5.0 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	43
5.1 - Dados pluviométricos.....	43

5.2 -	Resultados do monitoramento da qualidade da água do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO).....	45
5.2.1 -	Transparência.....	45
5.2.2 -	Temperatura.....	48
5.2.3 -	pH.....	49
5.2.4 -	Condutividade elétrica.....	50
5.2.5 -	Turbidez.....	51
5.2.6 -	Cor.....	53
5.2.7 -	Oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação.....	54
5.2.8 -	Clorofila <i>a</i>	58
5.2.9 -	N-amoniaco.....	59
5.2.10 -	N-nitrico.....	59
5.2.11 -	Ortofosfato solúvel.....	60
5.2.12 -	Íons (Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , SiO ₂ ⁻).....	61
5.2.13 -	Alcalinidade total e dureza total.....	64
5.3 -	Análise comparativa da qualidade da água nos pontos de amostragem do rio Tocantins (TO).....	66
5.4 -	Análise de comparação gráfica entre os pontos para temperatura (GT ₂).....	67
6.0 -	DISCUSSÃO	68
7.0 -	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
8.0 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	ANEXO I	86
	Tabela I 1 - Aspectos gerais dos pontos demarcados no rio Tocantins (TO, Brasil), no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã, durante o período de mai / 98 a mar / 00.....	87
	Tabela I 2 - Aspectos meteorológicos observados durante o período de jan / 99 a mar / 00 no trecho do rio Tocantins (TO, Brasil), entre as confluências dos rios Cana-Brava e Parana nos dias de coleta.....	88
	Tabela I 3 - Precipitação pluviométrica (mm) diária e totais mensais, no período de mai / 98 a mar 00, na estação meteorológica de Palmeiropolis (TO).....	89
	Tabela I 4 - Valores médios dos parâmetros estudados nos pontos de amostragem do rio Tocantins (TO), período mai / 98 a mar / 00.....	90
	ANEXO II	92
	Tabelas II 1 a II 18 - Valores médios e desvio padrão, medianas, máximos, mínimos e moda de temperatura, pH condutividade elétrica, turbidez, transparência, cor, oxigênio dissolvido, clorofila <i>a</i> , N-amoniaco, N nitrico, ortofosfato solúvel, cloretos, sódio, potássio, cálcio, sílica, alcalinidade total e dureza total.....	93

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 4 – Material e Métodos

- Figura 4.1 – Localização do Estado do Tocantins no Brasil e localização geográfica da bacia sob estudo. 29
- Figura 4.2 - Área de estudo em relação à bacia hidrográfica do rio Tocantins (TO, Brasil). 30
- Figura 4.3 - Localização dos pontos de amostragem no rio Tocantins, durante o período de mai/98 a mar/00, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã, 36
- Figura 4.4 - Aspecto geral do rio Tocantins (TO) a montante do rio Cana-Brava (PT1). Podem ser observadas mata ciliar bastante conservada e ausência de influencia antrópica 37
- Figura 4.5 - Detalhes do PT2 no rio Tocantins (TO) a jusante da confluência do rio Cana-Brava, sendo observadas algumas modificações na mata ciliar. 37
- Figura 4.6 - Rio Tocantins a jusante do rio Mucambão no PT3. Pode ser observado aspecto turvo devido ao aporte de material suspenso proveniente deste rio. 38
- Figura 4.7 - Rio Tocantins nas proximidades do núcleo urbano Coronel Valente (PT4), sendo constatada a retirada da vegetação ciliar para abertura de áreas para pastagens. 38
- Figura 4.8 - Rio Tocantins nas proximidades da travessia de balsa de São Salvador (PT5). Pode ser observada a retirada de vegetação ciliar para o plantio de pastagem. 39
- Figura 4.9 - Aspecto geral do rio Tocantins a jusante do Distrito de Retiro (PT6), sendo observada mata ciliar secundária. 39
- Figura 4.10 Vista geral da confluência do rio Paranã com o rio Tocantins (TO) (PT7). Ao lado esquerdo o rio Paranã e ao lado direito o rio Tocantins. 40

Capítulo 5 – Apresentação e análise dos resultados

- Figura 5.1 - Distribuição dos valores médios das precipitações pluviométricas no posto meteorológico da UHE Serra da Mesa (GO) entre 1998 e 2000. 46
- Figura 5.2 - Distribuição dos valores médios mensais da precipitação pluviométrica (mm) na estação meteorológica da cidade de Peixe (TO) (1961 a 1990). 47
- Figura 5.3 - Distribuição dos valores das precipitações pluviométricas na estação meteorológica de Palmeirópolis (TO). 48
- Figura 5.4 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de transparência do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-

	Brava e Paranã (TO), durante o período de mai/98 a mar/00.	51
Figura 5.5 -	Valores médios de transparência, zona fótica e profundidade dos pontos de amostragem do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai - set /98 (S1) e mai - set /99 (S2).	53
Figura 5.6 -	Valores médios de transparência, zona fótica e profundidade dos pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de nov /98 – mar /99 (C1) e nov /99 – mar /00 (C2).	53
Figura 5.7 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios de temperatura do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.	54
Figura 5.8 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios de pH do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de maio /98 a mar /00.	55
Figura 5.9 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios da condutividade elétrica do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.	56
Figura 5.10 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios de turbidez do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00 .	58
Figura 5.11 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios da cor do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.	60
Figura 5.12 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios de oxigênio dissolvido do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.	61
Figura 5.13 -	Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no primeiro período de seca (S1) (mai - set/98).	62
Figura 5.14 -	Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de seca (S2) (mai - set/99).	62
Figura 5.15 -	Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no primeiro período de chuva (C1) (nov/98 a mar/99).	63
Figura 5.16 -	Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de chuva (C2) (nov/99 a mar/00).	63
Figura 5.17 -	Distribuição espaço-temporal dos valores médios de clorofila <u>a</u> do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-	

- Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 64
- Figura 5.18 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de N-amoniaco do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 65
- Figura 5.19 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de N-Nítrico do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 65
- Figura 5.20 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de ortofosfato solúvel do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 61
- Figura 5.21 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de: (a) cloreto; (b) sódio e (c) potássio do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 63
- Figura 5.22 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de: (a) cálcio e (b) silicato do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai/98 a mar/00. 71
- Figura 5.23 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de alcalinidade total no rio Tocantins no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 72
- Figura 5.24 - Distribuição espaço-temporal dos valores médios de dureza total do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00. 72
- Figura 5.25 - Médias e limites de confiança de 95% (método GT2) de temperatura dos pontos estudados do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), em 2 períodos de seca e 2 de chuva (mai/98 - mar/00). 78

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

1. Análise estatística

desvpad	desvio padrão
méd	média
mdn	mediana
min	mínimo
max	máximo
n	número de amostras

2. Épocas de amostragem

(S1)	primeiro período seco (mar a set / 98)
(C1)	primeiro período de chuva (nov / 98 a mar / 99)
(S2)	segundo período seco (mar a set / 99)
(C2)	segundo período seco (nov / 99 a mar / 00)
(S1 + C1)	primeiro período de seca (mar a set / 98) e primeiro período de chuva (nov / 98 a mar / 99)
(S2 + C2)	segundo período de seca (mar a set / 99) e segundo período de chuva (nov a mar / 99)
(S1 + S2)	conjunto das duas épocas secas (mar a set / 98 e mar a set / 99)
(C1 + C2)	conjunto das duas épocas de chuvas (nov / 98 a mar / 99 e nov / 99 a mar / 00)
(S1 + C1 + S2 + C2)	conjunto das quatro épocas (mar / 98 a mar / 00)

3. Órgãos governamentais estaduais

SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente
UNITINS	Universidade do Tocantins

4. Órgãos Governamentais Federais

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica

5. Pontos de amostragem

PT1	Ponto de coleta no rio Tocantins a montante do rio Cana-Brava
PT2	Ponto de coleta no rio Tocantins a jusante do rio Cana-Brava
PT3	Ponto de coleta no rio Tocantins a jusante do rio Mucambão
PT4	Ponto de coleta no rio Tocantins na balsa de Cel. Valente
PT5	Ponto de coleta no rio Tocantins na balsa de São Salvador.
PT6	Ponto de coleta no rio Tocantins próximo ao Distrito de Retiro
PT7	Ponto de coleta no rio Tocantins na confluência do rio Paranã

6. Siglas

UHE	Usina Hidrelétrica
AHE	Aproveitamento Hidrelétrico
FPM	Fundo de Participação do Município

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3 – Revisão bibliográfica

Tabela 3.1 - Concentrações de alguns cátions e ânions em alguns rios amazônicos e no rio Tocantins (TO).	15
Tabela 3.2 - Características hidrológicas anuais dos principais rios da Bacia Amazônica.	21
Tabela 3.3 - Classificação de lagos europeus em relação à presença de compostos nitrogenados (em mg/l).	26

Capítulo 4. – Material e métodos

Tabela 4.1 - Locais dos pontos de coleta do rio Tocantins a jusante da UHE Serra da Mesa (TO).	35
Tabela 4.2 - Parâmetros analisados, métodos e equipamentos utilizados nas amostras de água do rio Tocantins (TO), no período de mar/98 a mar/00.	42

Capítulo 5 – Apresentação e análise dos resultados

Tabela 5.1 - Profundidade média (m) do rio Tocantins (TO) nos pontos de amostragem nos 2 períodos de seca e 2 de chuva.	53
Tabela 5.2 - Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta do rio Tocantins (TO), no primeiro período de seca (S1).	62
Tabela 5.3 - Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta do rio Tocantins (TO), no segundo período de seca (S2).	62
Tabela 5.4 - Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta do rio Tocantins (TO), no primeiro período de chuva (C1).	62
Tabela 5.5 - Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta do rio Tocantins (TO), no segundo período de chuva (C2).	63
Tabela 5.6 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das médias dos valores de temperatura em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Parana (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2	

de chuva (mai / 98 – mar / 00).	73
Tabela 5.7 - Elementos de análise de variância de fator único para os valores médios de temperatura dos pontos estudados no rio Tocantins (TO), no período de mai / 98 a mar / 00.	77

RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar a variação das características físicas e químicas das águas do Rio Tocantins (TO), a jusante da UHE Serra da Mesa no trecho compreendido entre a confluência do Rio Cana-Brava até a confluência do Rio Paranã (83 km), nas épocas seca e chuvosa. Os dados foram coletados junto ao Projeto de Monitoramento Limnológico do rio Tocantins a jusante da UHE Serra da Mesa, como parte integrante de um convênio firmado entre a Universidade do Tocantins e Serra da Mesa - Energia S/A, com interveniência de FURNAS – Centrais Elétricas S/A. Buscou-se aproveitar o maior volume de informações disponíveis referente a parâmetros relacionados com a qualidade da água. O Rio Tocantins é de utilização múltipla (abastecimento doméstico, dessedentação de animais, lavagem de roupas, turismo, lazer, pesca, geração de energia e irrigação irrestrita). A bacia hidrográfica do rio Tocantins apresenta uma área de drenagem de 757.000 km² e uma descarga média de longo período de 11.800 m³/s. Foram realizadas amostragens bimestrais em sete pontos de coleta, no período de mai/98 a mar/00 compreendendo (duas épocas secas e duas chuvosas) para as seguintes variáveis: pH, temperatura, condutividade, transparência, cor, turbidez, OD, clorofila *a*, ortofosfato solúvel, N-amoniaco, N- nítrico, cloreto, sódio, potássio, sílica, cálcio, alcalinidade total e dureza total. As características físicas e químicas observadas em todas as épocas, evidenciaram que a qualidade da água do rio Tocantins é boa para os diversos fins a que se destina, considerando-se os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução 020/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. As concentrações de nutrientes evidenciaram que o trecho estudado, não recebe aportes que possam tornar-se agentes imediatos de degradação da qualidade da água. De fato, os teores de N e P corresponderam ao nível de águas oligotróficas. Propõe-se continuar o monitoramento, com frequência mensal, a fim de se dispor de séries temporais mais longas que permitam estudo mais aprofundado das tendências de eutrofização e dos possíveis impactos da UHE Serra da Mesa na qualidade da água do rio Tocantins.

ABSTRACT

The present work aimed to study the variation of the physical and chemical characteristics of Tocantins river (TO), downstream the UHE Serra da Mesa in the area defined from the confluence of Cana-Brava River to the confluence of the Paranã River (83 km), along a period of 2 years. Data were obtained from a research project named: "Limnological monitoring of Tocantins river downstream of UHE Serra da Mesa", as part of an agreement between the University of Tocantins and Serra da Mesa - Energy S/A and FURNAS – Centrais Eléctricas. We tried to obtain the largest volume of available information referring to parameters related with water quality. Tocantins River is of multiple use (domestic supply, animal feed, clothes washing, tourism, leisure, fishing energy generation and unrestricted irrigation). The Tocantins river basin presents drainage 757.000 m³/s and medium discharge of long period of 11.800 m³/s. Bimonthly samplings were accomplished in seven collection points, in the period from may/98 to mar/00 two rainy and two dry seasons for the following parameters: pH, temperature, conductivity, transparency, color, turbidity, OD, chlorophyll a, reactive phosphate, ammonium and nitrate, chloride, sodium, potassium, sílica, calcium, total alkalinity and total hardness. The physical and chemical characteristics observed showed that water quality of Tocantins River is adequate for its several purposes destination considering the parameters for water quality stated by CONAMA Resolution 020/86. The concentrations of nutrients evidenced that the area doesn't receive contributions that can become immediate agents of degradation of water quality. In fact, the ratio of N and P corresponded to the level of oligotrophic waters. We intend to continue the monthly monitoring, in order to obtain longer temporal series that would allow a deeper study of the tendencies for eutrophication and of the possible impacts of UHE Serra da Mesa in the water quality of Tocantins River.

1 - INTRODUÇÃO

Os problemas de represamento de rios para fins de geração de energia elétrica constituem, na época atual, um constante desafio à engenharia ambiental, de forma a proporcionar um desenvolvimento ambientalmente seguro. Com o crescimento demográfico, a geração de energia elétrica proveniente dos recursos hídricos tem sido nas últimas décadas, uma atividade importante na América Latina e no Brasil.

O rápido aumento na construção de represas, principalmente com a finalidade de produção de energia elétrica e a grande dimensão desses ecossistemas artificiais, produziram perturbações profundas no comportamento natural dos rios represados assim como também podem atingir as regiões circunvizinhas causando modificações hidrológicas, geológicas e paisagísticas e alterar as próprias características físicas e químicas da água.

Atualmente, existe uma conscientização mundial quanto à necessidade de conservação dos recursos hídricos em todo o planeta, pois a ação degradadora do homem tem provocado condições indesejáveis de qualidade das águas, tornando-as um recurso limitado para as necessidades humanas. No Estado do Tocantins, o estudo da qualidade das águas superficiais é importante devido à escassez de informações e a necessidade de conhecer se os múltiplos interesses de utilização dos recursos hídricos estão de acordo com essa qualidade. O estudo de rios a jusante de barragens é de extrema importância para o Estado do Tocantins, onde o grande potencial hidroenergético de seus rios gerou e continuará a gerar várias represas, principalmente para obtenção de energia elétrica.

Os rios, devido à sua dinâmica acelerada e a grande extensão física do ecossistema, oferecem maiores dificuldades para o desenvolvimento de estudos ecológicos ao contrário dos

lagos, que possuem limites bem definidos onde predominam processos de ciclagem da matéria e são altamente interativos com os ambientes adjacentes do qual fazem parte.

A qualidade da água é definida por um conjunto de parâmetros indicadores que descrevem seus constituintes químicos principais, suas propriedades físicas, químicas e os sistemas biológicos nela incluídos (Maybeck, 1990). Esta qualidade relaciona-se com o tipo de uso a que se destina essa água. Para cada tipo de uso, existem limites máximos de impurezas. Em 18/06/86 o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução 20/86, estabeleceu uma classificação para as águas do território nacional, complementando a regulamentação existente (Portaria MINTER nº 013/76).

As modificações da qualidade da água a jusante de grandes usinas hidrelétricas, são variáveis, dependendo de diversos fatores ambientais (principalmente a precipitação pluviométrica e os ventos), da implantação e operação das mesmas (Tundisi, 1988). Um estudo dos parâmetros físicos, químicos e biológicos produzirá informações essenciais para estratégias de correção e prevenção, permitindo relacionar a qualidade da água a jusante com as condições operacionais dos futuros reservatórios previstos ao longo do rio Tocantins.

O presente trabalho de pesquisa utilizou dados coletados junto ao projeto intitulado “Monitoramento Limnológico do rio Tocantins a jusante da UHE Serra da Mesa”, firmado entre a Universidade do Tocantins e Serra da Mesa – Energia S/A, buscando-se, desta forma o entendimento do funcionamento dos sistemas lóticos da região Norte. Os conhecimentos alcançados nesta pesquisa, por serem pioneiros para o Estado do Tocantins, contribuirão para o desenvolvimento de medidas de gestão, tendentes à preservação desse recurso hídrico.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo geral

- Caracterizar a qualidade das águas do rio Tocantins (TO) visando gerar um banco de dados que permita acompanhar a evolução da qualidade da água e a adoção de medidas de preservação e conservação.

2.2 - Objetivos específicos

- Caracterizar o perfil da qualidade física e química da água do rio Tocantins (TO) a jusante da UHE Serra da Mesa, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã.
- Conhecer os níveis de poluição e de eutrofização de trechos específicos do rio Tocantins (TO).
- Avaliar a influência do ciclo hidrológico (épocas seca e chuvosa) na qualidade da água.
- Estudar as correlações entre as variáveis de qualidade, a fim de compreender sobre o metabolismo do sistema sob estudo.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Escassez da água

Atualmente, as populações dos grandes centros urbanos, industriais e áreas de desenvolvimento agrícola com uso intensivo de insumos químicos, já se defrontam com problemas de escassez qualitativa de água para consumo. Deve-se ressaltar que a escassez quantitativa de água constitui fator limitante ao desenvolvimento, pois em muitas regiões a demanda de água para indústrias e abastecimento doméstico está competindo cada vez mais com a demanda para produção agrícola, enquanto a escassez qualitativa pode acarretar problemas mais sérios à saúde pública, à economia e ao ambiente em geral. Dentre os usos da água, a agricultura é a atividade de maior consumo principalmente em países em desenvolvimento e de economia em geral. A demanda mundial por água nos dias atuais já representa 41% dos 14 mil km³/ano e a disponibilidade de água no Brasil é de cerca de 71 x 10³ m³/pessoa ano, sendo uma das mais altas do mundo (Rebouças, 1999). Segundo Meybeck (1990), em escala global, a irrigação e outros usos agrícolas são responsáveis por aproximadamente 80% da utilização da água.

A degradação das águas continentais pela poluição antropogênica, vem agravando as dificuldades para o seu aproveitamento e intensificando sua escassez (Porto *et al*, 1991). Escassez e mau uso da água doce representam problemas sérios e crescentes que ameaçam o desenvolvimento sustentável. Numa análise mais ampla, a oferta da água se apresenta como fator fundamental tanto para a manutenção dos ecossistemas naturais como para os ecossistemas produtivos identificados como produtores de alimentos e fibras através das atividades humanas. A evidência está na própria história, onde as principais civilizações com

maior desenvolvimento, floresceram nos vales onde a disponibilidade de água era abundante e com características especiais.

A água doce representa apenas 3% do total da água existente na natureza. Os restantes 97% encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte da água doce, (aproximadamente 2,3% dos 3% existentes), está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos. Na verdade, apenas 0,5% do volume total de água do planeta encontra-se imediatamente disponível para o homem (Rebouças, 1999).

O Brasil detém cerca de 20% da água doce do mundo (Tundisi *et al.*, 1999). Entretanto, a diversidade da distribuição espacial e temporal dessa grande quantidade de água não é homogênea. Se por um lado o Brasil possui a maior bacia fluvial do mundo, a bacia Amazônica, por outro, as secas periódicas da região Nordeste provocam o êxodo rural e fortes tensões sociais. A demanda por água está aumentando rapidamente. Mais de 70% vão para irrigação, menos de 20% para indústria e apenas 6% para consumo doméstico. Conflitos sobre o uso dos recursos hídricos tenderão a aumentar no futuro, seja dentro de um mesmo país, entre os usos doméstico, industrial e agrícola, ou entre países dentro de uma mesma bacia hidrográfica. Estes conflitos poderão ser amenizados sempre que a gestão da água utilizar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, e a distribuição da água possa ser acordada entre os próprios usuários. O estabelecimento de agências de bacias eficientes, com legislação adequada, mecanismos de cobrança pelo uso da água (baseados nos conceitos usuário-pagador e poluidor-pagador) e mecanismos apropriados de monitoramento e controle são os maiores desafios para que se possa alcançar o desenvolvimento sustentável (Salati *et al.*, 1999).

3.2 Águas superficiais

A principal fonte de águas doces no planeta ocorre pelo escoamento de águas de superfície. Águas superficiais são as que escoam no terreno sob ação da gravidade ou que permanecem estagnadas em depressões da crosta terrestre, excetuando os oceanos e mares (Dacach, 1975).

O Brasil é um país com elevada disponibilidade em recursos hídricos, com uma vazão de 257.790 m³/s escoando pelos rios (aproximadamente 18% do potencial de superfície do planeta), e um volume armazenado de água subterrânea da ordem de 58.000 km³ como

resultado de uma precipitação média de 1.954 mm/ano. Destes, 1.195 mm correspondem a evapotranspiração e o restante à parcela do deflúvio anual (759 mm/ano) (Christófidis, 1999). Na região Centro – Oeste as descargas específicas são 14,9 l/s km² e na região Norte 33,8 l/s km². Em nível de bacia amazônica, a produção hídrica é de 34,2 l/s km² (Maia Neto, 1997).

Cerca de 89% da potencialidade das águas superficiais do Brasil estão concentrados nas regiões Norte e Centro – Oeste, onde estão abrigados apenas 14,5% dos brasileiros que, por sua vez, precisam somente de 9,2% da demanda hídrica do país. Os 11% restantes do potencial hídrico de superfície estão localizados nas outras três regiões (Nordeste, Sul e Sudeste) onde estão distribuídas 85,5% da população e 90,8% da demanda de água do Brasil (Maia Neto, 1997). Em nível de grandes bacias hidrográficas já há indicativo de conflitos de quantidades. O referencial para o sinal de alerta de escassez hídrica é 1.700 m³/hab/ano (Maia Neto, 1997). Em alguns estados brasileiros, tais como Pernambuco (1.234 m³/hab/ano), Paraíba (1.348 m³/hab/ano) e Rio Grande do Norte (1.593 m³/hab/ano) podem ser observados, que os valores, estão abaixo desse referencial para prevenção ou alerta de escassez hídrica.

Os rios constituem um ambiente ecológico caracterizado pela presença de correnteza e são bastante susceptíveis às influências do ambiente. Por esta razão, apresentam características muito variáveis. A natureza do leito do rio depende da geologia regional e da velocidade de sua correnteza, que varia de acordo com seu tamanho e declividade (Branco, 1991).

Odum (1971) divide a extensão de um rio em duas zonas aparentes que são: 1) a zona de corredeira, que possui uma correnteza com força suficiente para manter o fundo livre de silte ou de outro material solto (velocidade superior a 1,2 m/s), com o leito formado por seixos de grandes volumes, que fornecem um substrato firme no qual alguns organismos ficam aderidos, e 2) a zona de remanso, que têm águas mais profundas, onde a velocidade da corrente é reduzida permitindo a sedimentação de material mais fino como areia e silte, originando um fundo mole, favorável aos animais escavadores e nadadores, às plantas enraizadas e, nos grandes remansos, ao plâncton. As comunidades destes trechos de grandes rios assemelham-se às de pequenos lagos.

3.3 - Qualidade da água doce

Os recursos hídricos dulcícolas constituem um componente essencial da biosfera e parte indispensável de todos os ecossistemas terrestres bem como, suporte para o desenvolvimento econômico e social. A água constitui parte integrante do organismo humano, representando uma proporção considerável cerca de 70% de sua composição (Branco, 1991).

O ciclo hidrológico abrange águas doces superficiais e profundas, salgadas, salobras etc. Segundo Arruda (1997), a água constitui um recurso renovável através dos processos físicos do ciclo hidrológico e sua ocorrência é variável no tempo e no espaço em função de condições geográficas e climáticas. Ciclos climatológicos e hidrológicos em reservatórios estão intrinsecamente relacionadas com condições regionais nas quais se inclui a morfologia do reservatório, a latitude e os padrões climatológicos, principalmente de precipitação, vento e radiação solar.

Desde as origens do homem, a sociedade humana tendeu a localizar-se ao redor dos rios, lagos e outras fontes de água. Considerando a importância crescente da influência dos fatores antrópicos na qualidade das águas bem como formas de uso e ocupação do meio físico e das atividades sócio-econômicas, torna-se necessário, com frequência crescente, distinguir as características naturais da água daquelas causadas pela ação do homem (Rebouças, 1999).

A ação antropogênica sobre o meio aquático é talvez a responsável pelas maiores alterações na qualidade da água. Entre as ações humanas que podem alterar o balanço hídrico, destacam-se, em escala local e regional, o desmatamento e a mudança climática global decorrente da alteração química da atmosfera com gases que promovem o "efeito estufa" (Salati *et al.*, 1999).

A quantidade e qualidade dos recursos hídricos que escoam pelo canal principal de uma bacia hidrográfica em condições naturais, dependem do clima e das características físicas dos ecossistemas que a compõem. Segundo a teoria de origem geológica e biológica das águas da Terra, a água que escoava pela superfície da crosta provoca erosão das rochas, cujas partículas transportadas foram se acumular e formar depósitos nas suas depressões. No processo de erosão das rochas, muitos produtos reagem com a água da chuva e com o CO₂ da atmosfera para formar carbonatos. Dessa forma, o excesso de CO₂ na atmosfera é removido e reciclado por um enorme laço de realimentação que envolve a erosão das rochas e a formação de carbonatos que afundam na crosta (Rebouças, 1999). A erosão do solo tem sido

influenciada pelo fator humano e acelerada, ano a ano, de acordo com o crescimento da população e a ocupação e uso dos solos. A constituição da bacia influi na erosão marginal, aumentando o fluxo de substâncias oxidáveis para o interior dos rios e lagos (Tundisi, 1988).

Payne (1986), também destaca que a composição das águas superficiais depende do intemperismo das rochas, da precipitação pluviométrica e da relação evaporação/cristalização. Espíndola (1990), estudando a dinâmica hidrológica do sistema Pantanal Matogrossense, associou a oscilação do nível da água da Lagoa Albuquerque (MS), a um padrão de variação para a maioria dos fatores analisados. Segundo Margalef (1981) essa oscilação no nível da água caracteriza-se como uma perturbação física constante, uma vez que é um fenômeno cíclico anual, evidenciando uma estabilidade de pulso que corresponde aos períodos de águas altas e águas baixas.

As características da água são idênticas tanto nas águas correntes como nos lagos. Entretanto os ambientes lóticos apresentam condições específicas resultantes de variações de velocidade, volume, fonte de suprimento de água, profundidade, tipo de substrato e sombreamento, como também de vários fatores que atuam sazonalmente e mesmo, em um dado momento, ao longo do curso do rio (Maier, 1978).

Em um rio, o fluxo de água impõe um determinado sentido, havendo um contínuo arraste de material orgânico e inorgânico. Margalef (1976), observa que os fatores de grande significado ecológico que mostram uma mudança progressiva ao longo dos rios, são principalmente: vazão, velocidade de corrente, tipo de substrato, temperatura, oxigênio dissolvido e nutrientes inorgânicos. Nos rios, predominam o transporte horizontal e a sucessão espacial das comunidades. Espíndola (1990), estudando a dinâmica hidrológica do Pantanal Matogrossense verificou que a precipitação e a flutuação do nível de água interferem nas características limnológicas do sistema ao modificarem o volume da água, a velocidade da corrente, a turbidez, a concentração de material em suspensão, a concentração de nutrientes e, conseqüentemente, alteram a composição e a densidade das comunidades biológicas.

De acordo com Branco (1991), as águas doces apresentam características muito variadas, que lhes são conferidas pelos ambientes de origem por onde circulam, percolam ou onde são armazenados. Essas características são expressas por parâmetros de qualidade tais como:

- estéticos: cor, turbidez, odor, sabor,

- fisiológicos: toxicidade, patogenicidade, salinidade,
- ecológico: pH, oxigênio dissolvido, produtividade.

A caracterização da qualidade de uma água permite avaliar as condições de poluição e alteração de um corpo hídrico. Para isso é necessário definir um conjunto de parâmetros significativos que atendam ao objetivo e que sejam monitorados por períodos de tempo apropriados. Em termos físicos, químicos e biológicos, um ecossistema deve possuir equilíbrio entre os organismos vivos e o ambiente circundante por eles utilizados. No meio aquático existe uma estreita dependência entre suas características e os organismos, de tal maneira que a composição da comunidade nele presente, varia sensivelmente em função da composição e das características físicas, químicas e biológicas da água.

A classificação mundial das águas, feita com base nas características naturais, designa como água doce àquela que apresenta teor de sólidos totais dissolvidos (STD) inferior a 1.000 mg/l. As águas com STD entre 1.000 e 10.000 mg/l são classificadas como salobras e aquelas com mais de 10.000 mg/l são consideradas salgadas (Porto, 1991). Segundo a Resolução 020/86 do CONAMA, no Brasil consideram-se águas doces aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰, águas salobras as que apresentam salinidade maior que 0,5 ‰ até 30 ‰ e águas salinas as que possuem salinidade igual ou superior a 30 ‰.

3.3.1 - Parâmetros de qualidade física e química da água

3.3.1.1 - pH, temperatura e condutividade elétrica

O pH representa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio. Na grande maioria dos corpos d'água continentais o pH varia entre 5,5 e 8; no entanto, pode-se encontrar ambientes mais ácidos ou mais básicos (Payne, 1986). Nas águas naturais a variação desse parâmetro é influenciada pelas reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem na massa líquida, ocasionada geralmente, pelo consumo e/ou produção de dióxido de carbono (CO₂) (Sawyer *et al.*, 1994).

A chuva geralmente tem pH ácido (5 a 6) e também pode interferir no pH dos ecossistemas aquáticos. O efeito das águas de chuva sobre o pH das águas continentais fica mais evidente quando estas têm pouca capacidade de tamponamento, ou seja baixa alcalinidade (Esteves, 1998).

As comunidades aquáticas interferem nos valores de pH da água de diferentes maneiras: os organismos heterótrofos, principalmente as bactérias, liberam CO_2 no processo de decomposição da matéria orgânica ocorrendo a formação de ácido carbônico e ions de hidrogênio, que reduzem o pH, durante o processo fotossintético a assimilação do CO_2 , pelas macrófitas, algas e cianobactérias elevam o pH do meio e quando a fotossíntese é muito intensa, o pH pode apresentar flutuações diurnas extremas, podendo ultrapassar o valor de 10, ao fim da tarde. Isto é mais freqüente em águas com baixa capacidade em neutralizar ácidos (baixa alcalinidade). Já em ambientes aquáticos com alta alcalinidade a variação de pH fica entre 7 e 8, mesmo ocorrendo altas taxas fotossintéticas (Sawyer *et al.*, 1994; Esteves, 1998).

Ecossistemas aquáticos que apresentam, mais freqüentemente, valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone. No Brasil, ecossistemas aquáticos continentais com baixo pH são encontrados na região da Amazônia Central, no litoral (na faixa de restingas) e em regiões de turfeiras. Estes ecossistemas têm como característica comum a cor escura da água (cor de café ou chá). Na Amazônia, os corpos d'água foram estudados por Sioli (1984), que observou os valores mais baixos de pH nos corpos d'água localizados na região de sedimentos da Formação Barreiras, com valores entre 4,0 e 5,5. Esses baixos valores sugerem ausência de substâncias tamponadoras em solução (bicarbonato e carbonato).

A temperatura das águas superficiais varia com a localização geográfica e com as condições climáticas. Este parâmetro influencia os organismos bem como sobre os teores de gases dissolvidos na água (Branco e Rocha 1977). Segundo Tundisi (1988), tanto o aquecimento direto como indireto das águas superficiais, são influenciados pela fisiografia da bacia de drenagem (geologia, geomorfologia, pedologia e hidrologia), material em suspensão na água e pela vegetação marginal, sendo que estes fatores podem também se influenciar mutuamente. A variação da temperatura da água é diretamente proporcional a da temperatura do ar do meio circundante (Tundisi, 1988). A temperatura, tanto do ar quanto da água, é um parâmetro significativo para o ecossistema, uma vez que as reações químicas e bioquímicas, a solubilidade dos gases dissolvidos e processos biológicos, principalmente, são diretamente influenciados pela temperatura. Altas temperaturas estimulam o metabolismo dos microrganismos enquanto baixas temperaturas, resultam em baixo metabolismo bacteriano (Esteves, 1998).

A condutividade elétrica expressa a capacidade de um meio de transmitir a corrente elétrica, e está diretamente relacionada com maior concentração e tipo de íons que a água contém. Através deste parâmetro pode-se avaliar o teor de sólidos totais dissolvidos, pois de maneira geral a relação condutividade elétrica / sólidos totais dissolvidos é de 1,5:1,0 (APHA *et al.*, 1995). Como o número de íons depende diretamente da quantidade de eletrólitos na solução a condutividade é uma forma indireta de indicar a concentração de sais dissolvidos na água.

A condutividade elétrica das águas superficiais é bastante variada, podendo ser baixa, com valores de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em locais onde a precipitação é pobre em solutos e litologia local formada por rochas resistentes ao intemperismo, até valores próximos de 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que é a condutividade da águas do mar (Sawyer *et al.*, 1994).

Existe uma correlação positiva entre a condutividade e o pH das águas doces bicarbonatadas. Em águas pobres em sais solúveis e de baixos valores de pH (<5), o íon H^+ torna-se o principal responsável pelos valores de condutividade. Em águas muito alcalinas, cujos valores de pH são extremos, têm condutividade elétrica devido apenas a elevadas concentrações de poucos íons em solução, onde o mais freqüente é o OH^- . Na prática, isto mostra que um corpo d'água rico em compostos húmicos e com pH baixo (cerca de 4) pode apresentar altos valores de condutividade elétrica. A condutividade está ainda influenciada pela profundidade, sendo maior nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais (Wetzel, 1993).

Em regiões tropicais os valores de condutividade nos ambientes aquáticos estão mais relacionados com as características geoquímicas da região onde se localizam e com as condições climáticas (estação seca e de chuva). Fitkal (1971) *apud* Esteves (1998) classificou na Amazônia três regiões geoquímicas com base nos valores de condutividade elétrica da água. Estas regiões são: a que compreende a Amazônia Central que se caracteriza pelos baixos valores de condutividade elétrica da água (5-10 $\mu\text{S}/\text{cm}$); as regiões periféricas sul e norte que têm água com valores de condutividade elétrica intermediárias (10-20 $\mu\text{S}/\text{cm}$); e as regiões periféricas do oeste, que apresentam os maiores valores de condutividade elétrica (30-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

3.3.3.2 - Cor, transparência e turbidez

A cor das águas naturais é o resultado da luz dispersa após ter atravessado a água até várias profundidades e ter sofrido absorção seletiva durante o trajeto (Wetzel, 1993). É expressa em uH (unidades Hazen), equivalentes a 1 mg Pt/L (APHA *et al.*, 1995). A maior parte da cor das águas superficiais provém da matéria orgânica dissolvida, especialmente compostos húmicos e das substâncias em suspensão. Grandes quantidades de material inorgânico como as argilas podem dar uma coloração amarela ou vermelho-acastanhada. Em ambientes onde as cianobactérias ou as diatomáceas ocorrem em grande quantidade e se acumulam nas águas de superfícies, as cores serão azul-esverdeada ou castanho-amarelada, respectivamente. Yentsch (1960) *apud* Wetzel (1993), relata que quando as concentrações de algas planctônicas são baixas, estas não alteram a cor da água. Águas naturais possuem cor que varia entre zero e 200 uH (unidades Hazen) e acima disso seriam águas de brejo ou pântano com altos teores de matéria orgânica (Sawyer *et al.*, 1994).

A transparência é uma medida da penetração da luz na água. Sua determinação é feita através do disco de Secchi, que é um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro pintado de preto e branco. Sua leitura é feita em cm ou metros. A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos em suspensão no caminho ótico. A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de comprimento de onda está entre 400 – 740 nm (faixa visível). A profundidade medida (em metros) é denominada transparência de disco de Secchi, profundidade Secchi ou profundidade do disco de Secchi. Vários estudos mostraram que a redução na transmissão da luz em relação às medições da transparência do disco Secchi está relacionada em grande parte com a dispersão crescente de partículas suspensas. Esta relação é especialmente verdadeira em lagos muito produtivos e tem sido utilizada para estimar a densidade aproximada das comunidades fitoplanctônica. Embora a profundidade da transparência seja independente da intensidade da luz à superfície, os resultados deixam de ser rigorosos perto do amanhecer e do anoitecer, devendo o disco de Secchi ser usado de preferência ao meio dia (Wetzel, 1993).

Segundo Branco e Rocha (1977), a natureza da transparência pode ser biogênica ou seja, pode ter como causa principal o material orgânico vivo em suspensão e pode ser

abiogênica, quando é causada pelo material inorgânico como silte e argilas ou compostos orgânicos não relacionados com formas vivas.

Admite-se que a zona fótica, isto é, a zona iluminada da coluna d'água onde a fotossíntese é possível, corresponde aproximadamente a 3 vezes a profundidade Secchi (Esteves, 1998). Em águas fortemente coloridas (lagos humíficos), ou carregadas com materiais em suspensão (rios amazônicos e do Tocantins nas épocas de cheia ou após chuvas torrenciais), a transparência geralmente não ultrapassa poucos centímetros. Também é o caso quando alguns microrganismos como algas verdes unicelulares ou cianobactérias ocorrem em grande quantidade, seja em toda a massa d'água, seja apenas na superfície, dando cor verde à água. Esse fenômeno é denominado "floração da água" (waterbloom) (Esteves, 1998; Branco e Rocha, 1977; Margalef, 1976).

Sioli (1984), estudando os rios da Amazônia os classificou como: rios de águas brancas, rios de água preta e rios de água clara. Os rios de águas brancas são de origem andina e transportam grande quantidade de material em suspensão, com uma transparência entre 0,10 – 0,50 m. Enquadram-se nesta faixa os rios Solimões e Madeira. Os rios de águas pretas têm coloração negra devido ao conteúdo de ácido húmico e carregam muita matéria orgânica biodegradada e pouco material em suspensão, dando a água uma transparência de 1,30 a 2,30 m, além de possuírem um pH muito ácido, em torno de 5. O principal exemplo deste tipo é o rio Negro. Os rios de águas claras "tipo Tapajós", de coloração verde-clara, tem pouco material em suspensão e transparência entre 1,10 e 4,30 m.

A turbidez das águas está relacionada à quantidade de matéria orgânica dissolvida e sólidos em suspensão que variam em tamanho, desde colóides até partículas maiores, que se depositam (tamanho superior a 1 μm APHA *et al.*, 1995). O conhecimento da variação da turbidez nas águas superficiais é importante pela sua relação com o teor de oxigênio dissolvido em função dos sólidos suspensos dificultarem a penetração da radiação solar, provocando uma diminuição na atividade fotossintética. Em águas turvas, microrganismos prejudiciais ao consumo humano podem ficar revestidos pelas partículas de turbidez ficando protegidos do desinfetante (Sawyer *et al.*, 1994). Por isto e por razões estéticas, as legislações mundiais estabelecem valores máximos permissíveis de turbidez. No Brasil, a Resolução 020/86 do CONAMA fixa valores de turbidez em função dos usos da água. Valores de turbidez menores que 1,0 UJ na água tratada, são uma boa indicação de redução de sólidos suspensos e bacteriana (Branco e Rocha, 1977).

3.3.3.3 - Alcalinidade total e dureza total

A alcalinidade de uma água representa a sua capacidade de neutralizar ácidos (Sawyer *et al.*, 1994). Em águas superficiais, a alcalinidade total é devida principalmente a bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo que este último é raro na maioria das águas naturais, pois ocorre geralmente em águas com pH superior a 10. Em águas naturais, valores de alcalinidade na faixa de 300 a 500 mg/l são considerados normais, permitindo sua utilização como manancial de abastecimento (Branco e Rocha, 1977).

Em termos da composição química da água, Esteves (1998) divide os rios em dois tipos: os de águas alcalinas ou carbonatadas, com 100 ppm ou mais de sólidos inorgânicos dissolvidos e os rios de águas ácidas ou de cloretos, com menos de 25 ppm de sólidos dissolvidos. Existem ainda os rios húmicos ou de águas negras, com elevadas concentrações de material orgânico dissolvido, que são encontrados nas planícies quentes. A química da água dos rios de carbonato é controlada em grande parte pelo intemperismo das rochas, enquanto que a precipitação atmosférica é o fator predominante dos rios de cloreto.

O termo “dureza” é usado em tratamento de água, para expressar o teor de íons de cálcio e magnésio que estão combinados a carbonatos e bicarbonatos, podendo estar também combinado com sulfatos e cloretos (APHA *et al.*, 1995). Usualmente se expressa pela quantidade equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). É causada geralmente pelo contato com o solo e formações rochosas (Sawyer *et al.*, 1994). De um modo geral, as águas duras se originam de áreas onde as formações de calcário estão presentes. As águas brandas se originam em áreas onde a superfície é fina e as formações de calcário são espaçadas ou ausentes. De acordo com o seu grau de dureza, as águas são classificadas como brandas (0 – 75 mg/l CaCO_3), moderadamente duras (75 – 150 mg/l CaCO_3), duras (150 – 300 mg/l CaCO_3) e muito duras (>300 mg/l CaCO_3) (Sawyer *et al.*, 1994).

3.3.3.4 - Íons (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SiO_2^-)

Estes íons têm importante papel na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, pois fazem parte de todos os processos fisiológicos.

O cálcio, além de ser essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e moluscos, tem grande importância na ciclagem do fosfato. Encontra-se combinado em duas formas principais: carbonato e bicarbonato de cálcio e interfere no pH.

O magnésio é importante, entre outras atividades, devido a sua participação na formação da molécula de clorofila. Além disto, toma parte em inúmeros processos metabólicos da célula, como no metabolismo do nitrogênio (Sawyer *et al.*, 1994).

O sódio, o potássio e o cloreto, têm um papel importante na troca e no transporte de outros íons para os meios intra e extra celular, mas não atuam como fatores limitantes (Wetzel, 1993).

A sílica presente no ambiente aquático é proveniente principalmente, da decomposição de minerais como silicato de alumínio, freqüentes em rochas sedimentares. Na água, a sílica pode estar sob três formas principais: (1) solúvel - como ion SiO_2^- (aq), (2) sílica coloidal, (3) sílica particulada - incorporada principalmente ao fitoplâncton (sílica biogênica = SiO_2^-) ou aos detritos orgânicos, sob a forma de quartzo e minerais de silicatos em suspensão e ainda adsorvidos a compostos orgânicos e inorgânicos como o hidróxido de alumínio e de ferro. Os silicatos podem ser nutrientes limitantes para as algas diatomáceas. A Tabela 3.1 apresenta as concentrações de alguns cátions e ânions em alguns rios amazônicos e no rio Tocantins.

Tabela 3.1 - Concentração de alguns cátions e ânions em alguns rios amazônicos e no rio Tocantins (TO).

Rios	Localização	Íons (mg/l)				
		Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻
Rio Solimões (água branca)	(AM)	2,3	0,9	1,1	7,2	3,1
Rio Negro (água preta)	(AM)	0,4	0,3	0,1	0,2	0,02
Córregos de floresta	(AM)	0,2	0,2	0,04	0,04	N.d
Água da chuva (Região Amazônica)	(AM)	0,02	0,01	0,02	0,07	N.d.
Rio Madeira (água branca)	(RO)	2,3	2,0	2,6	7,7	0,4
Rios sul-americanos (valores médios)		9,4	1,4	5,0	21,0	8,0
Rio Tocantins (valores médios)	(TO)	1,5	2,4	12,5	13,0	8,4

Fonte: adaptado de Esteves (1998)

3.3.3.5 - Nutrientes nitrogenados e ortofosfato solúvel

As formas de nitrogênio na água doce são importantes para a regulação da produtividade das algas e para o metabolismo de todos os seres vivos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa, havendo uma correlação positiva entre alta produtividade algal e as concentrações de nitrogênio nas formas de N-amoniacal e N-nitrico (Wetzel, 1993).

As principais fontes naturais de nitrogênio podem ser: a chuva, o material orgânico e o inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular. Pode estar presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), ion amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.) e nitrogênio orgânico particulado (Esteves, 1998).

O nitrogênio amoniacal tem origem principalmente nas águas residuárias domésticas e/ou da decomposição da matéria orgânica por ação bacteriana. A amônia excretada pelos animais aquáticos é pouco relevante do ponto de vista quantitativo, quando comparada com aquela proveniente da decomposição bacteriana (Wetzel, 1993). Em águas naturais, a detecção de amônia em grandes quantidades, é um critério de poluição (Dussart, 1966).

O ion amônio (NH_4^+) é muito importante para os organismos produtores, visto que sua absorção é energeticamente mais viável por não haver necessidade de sua redução no interior celular, como ocorre com o nitrato, que é reduzido pela nitrato-redutase até amônio. O ion amônio também pode ser encontrado na sua forma não dissolvida, como hidróxido de amônio (NH_4OH). A relação $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_4\text{OH}$ é função do pH e da temperatura. As razões aproximadas de ion amônio e hidróxido de amônio são 3000:1 em pH 6,0; 300:1 em pH 7,0; 30:1 em pH 8,0; 1:1 em pH 9,5 (Hutchinson, 1957) *apud* Wetzel (1993).

O nitrito ocorre como um composto intermediário na redução bacteriana do nitrato ou na oxidação da amônia. O nitrogênio amoniacal sofre a ação de um primeiro grupo de bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas*) originando nitritos (NO_2^-) que, sob a ação de outras bactérias nitrificantes (*Nitrobacter*), são oxidados para nitratos (NO_3^-). A partir desse momento, o nitrato fica à disposição dos vegetais, que o absorvem e utilizam. As bactérias desnitrificantes podem reduzir nitratos novamente a nitrogênio molecular, que retorna à atmosfera em condições de anaerobiose.

A concentração do fósforo nos sistemas biológicos é importante devido à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos. Dentre as formas de fósforo inorgânico, a que assume maior relevância é o ortofosfato (PO_4^{3-}), por ser a de mais fácil assimilação pelos vegetais aquáticos, algas, cianobactérias e a maioria dos organismos microscópicos (Wetzel, 1993). Na maioria das águas continentais, o fósforo é o principal fator limitante da produtividade. Por isso tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos (Vollenweider, 1981).

A principal fonte natural de fosfato para os ecossistemas aquáticos são as rochas da bacia de drenagem. Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato podem ser apontados, como o material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são: os esgotos domésticos e industriais, os fertilizantes agrícolas e o material particulado de origem industrial contido na atmosfera. Em regiões industrializadas e com elevada densidade populacional, as fontes artificiais de fosfato são mais importantes do que as naturais (Tundisi, 1988).

Vários fatores físicos e químicos interferem na precipitação do íon fosfato no ambiente aquático; entre estes se destacam as concentrações dos íons ferro, alumínio, sulfeto e dos compostos orgânicos e carbonatos. São também importantes o pH e as condições de oxiredução. A quantidade de fósforo precipitado é geralmente baixa, sendo normalmente inferior a 30 $\mu\text{gP/l}$ nas regiões pouco povoadas, enquanto que em regiões perto de grandes núcleos urbanos e industriais esses valores podem aumentar acima de 100 $\mu\text{g/l}$ (Wetzel, 1993).

Nitrogênio e fósforo são geralmente considerados os nutrientes de maior importância no controle da degradação da qualidade da água, associados com o processo de eutrofização.

3.3.3.6 - Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é uma das variáveis mais usadas na caracterização das águas doces, por ser essencial ao metabolismo dos organismos aeróbios e, com isso, evitar processos de fermentação e putrefação. A difusão dos gases na água é um processo lento, e a solubilidade do oxigênio na água é influenciada pela pressão atmosférica e pela temperatura (Mortimer, 1981 *apud* Wetzel, 1993). As perdas ocorrem pelo consumo na decomposição da matéria orgânica (oxidação), pelo que sai para a atmosfera, pelo que se consome na respiração de organismos aquáticos e na oxidação de íons metálicos, como o ferro e o manganês (Sawyer *et al.*, 1994). A oxidação biológica da matéria orgânica, na interface sedimento-água, leva à diminuição do oxigênio dissolvido. Embora a respiração animal e vegetal possa consumir grandes quantidades de oxigênio dissolvido, o consumo maior é feito na decomposição bacteriana da matéria orgânica. Esse consumo nem sempre é compensado pela reaeração atmosférica e fotossíntese. Sabe-se que valores de supersaturação de OD estão associados a

maior biomassa de algas e que na ausência de luz, maior é a demanda por oxigênio exercida pela própria biomassa de algas e pela biota restante do corpo aquático.

Para o cálculo da concentração de saturação do oxigênio dissolvido utiliza-se a seguinte equação:

$$OD_{sat} = (14,62 - 0,3898 \times T + 0,006969 \times T^2 - 0,00005897 \times T^3) \cdot [1(0,0000228675 \times A)^{5,167}] \quad (3.1)$$

onde:

T = Temperatura da água (°C)

A = Altitude do ponto, em relação ao nível do mar.

O cálculo da porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido na amostra é calculada dividindo-se a concentração de OD medida pela concentração de saturação.

3.3.3.7 - Clorofila a

A clorofila a é o pigmento verde de algas e vegetais, que desempenha o papel fundamental na fotossíntese. A clorofila a é uma molécula complexa, com estrutura semelhante à da hemoglobina, embora seu núcleo apresente magnésio e não ferro. Sua função é de absorver energia luminosa e transferi-la para o ATP durante o processo de síntese de matéria orgânica a partir de substâncias inorgânicas (Margalef, 1981).

As algas unicelulares, que constituem o fitoplâncton, formam parte do grupo dos produtores primários. A medição da concentração de clorofila a em amostras de água dar indicações da biomassa do fitoplâncton (Esteves, 1998).

3.4 - Avaliação da qualidade da água

O crescimento da população mundial tem aumentado a demanda por água e cada vez mais tem sido necessário o estabelecimento de programas de monitoramento da qualidade, com o objetivo de controlar o uso e preservar esses recursos.

Diversos objetivos justificam um programa de avaliações da qualidade das águas, dentre os quais pode-se destacar a necessidade de se estabelecer banco de dados que evidencie o estado natural da água com vistas ao controle de possíveis alterações que possam ocorrer em mais longo prazo.

No planejamento de uma rede de monitoramento e controle da qualidade de água, os seguintes fatores devem ser considerados: localização das estações de coleta, frequência de amostragem, parâmetros a serem analisados e, dentre estes, devem ser considerados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, a depender do objetivo a ser alcançado (Porto, 1991).

Devem também ser considerados parâmetros climatológicos, geográficos e paisagísticos em geral visto que qualquer modificação nos componentes do clima ou da paisagem alterará a quantidade, a qualidade e o tempo de residência da água nos ecossistemas e, por sua vez, o fluxo da água e suas características no canal principal do rio (Salati *et al.*, 1999).

A composição da água da chuva tem grande influência sobre a qualidade das águas superficiais. Quando a água da chuva atinge o solo e escoar sobre ele, inicia-se um processo de dissolução e arraste que transportará material retirado do solo até os rios e oceanos. As características dessas águas dependem do seu trajeto atmosférico. As partículas sólidas e gases atmosféricos de variadas origens são dissolvidos pelas águas que caem na superfície da Terra na forma de chuva, neblina e neve, principalmente. Como resultado, essas águas meteóricas podem ser consideradas como constituindo uma solução diluída (com teores médios de sais dissolvidos de uns poucos miligramas por litro) e ligeiramente ácida (pH 4 - 6) (Rebouças, 1999). Alguns trabalhos mostram que o efeito das chuvas nas águas lânticas da bacia de drenagem se manifestam até três dias posteriores à ocorrência das chuvas (Tavares *et al.*, 1998).

3.5 - A Bacia Amazônica

O continente Sul Americano é dominado por grandes rios, extensas regiões de várzeas a eles associadas, áreas alagadas pantanosas e lagos rasos. As três principais bacias hidrográficas do continente (Magdalena, Orinoco e Amazonas) contribuem com 13% do total de sólidos suspensos descarregados por todos os rios nos oceanos (Maybeck, 1990). Das seis mais importantes bacias hidrográficas da América do Sul (Magdalena, Orinoco, Amazonas, São Francisco, Paraná e Uruguai), quatro delas ocupam grande parte do território do Brasil e localizam-se e interagem na floresta tropical úmida, no cerrado e nas regiões semi-áridas. A Bacia Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo aproximadamente 5 milhões em território brasileiro e o restante dividido entre Bolívia,

Colômbia, Equador e Peru. A região Amazônica é limitada à oeste pela Cordilheira dos Andes (com elevações de até 6.000 m), a norte pelo Planalto das Guianas (com picos montanhosos de até 3.000 m), ao sul pelo Planalto Central (altitudes típicas de 1.200 m) e à leste pelo Oceano Atlântico, por onde toda a água captada na bacia escoava para o mar. Segundo o IBGE (1977), a área da Amazônia Legal no Brasil é de 5.032.925 km², compreendidos nos Estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos estados Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. Esta bacia é caracterizada pelo rio Amazonas, seus tributários e os lagos de várzea que interagem com os rios. As flutuações no nível da água são uma importante função de força que dirige o funcionamento ecológico, hidrológico, físico, químico e biológico do sistema. Durante o período de nível baixo da água, a região da várzea é seca, com apenas lagos remanescentes. Durante os períodos de enchentes e de nível alto dos rios, todo o sistema sofre inundação. Os rios e a várzea do Amazonas constituem um complexo de canais, rios, lagos, ilhas, depressões, permanentemente modificadas pela sedimentação e transporte de sólidos em suspensão, influenciando também a sucessão da vegetação terrestre pela constante modificação, remoção e deposição de material nos solos (Tundisi *et al.*, 1999). Os rios Amazonas e Paraná recebem contribuições de energia e materiais de diferentes áreas geológicas o que resulta em "*águas brancas*" (com sedimentos dos Andes), "*águas pretas*" (como aquelas que resultam de rios passando através de densa vegetação) e "*águas vermelhas*" (com contribuições de argila, solos da bacia do Paraná superior). Os rios de águas barrentas e o próprio Amazonas de origem andina são ricos em nutrientes, por esse motivo, são os rios que apresentam maior produtividade. Exemplo típico são as águas dos rios Solimões e Negro, formadores do Amazonas. O primeiro, proveniente da região andina, possui água com pH aproximado de 7, é rico em nutrientes e apresenta coloração amarelada em decorrência dos sedimentos que transporta. O rio Negro, proveniente de áreas cobertas por vegetação porém com solos predominantemente arenosos, possui pH 4,5 é pobre em nutrientes e apresenta cor escura, produzida pela decomposição incompleta da biomassa nos solos arenosos. A grande quantidade de areia depositada na planície amazônica levou ao desenvolvimento dos rios de águas pretas, que são os rios mais característicos da Amazônia.

Todos estes rios têm uma grande importância ecológica, econômica e social drenando vastas áreas com escassa população (menos de 1 habitante por km² no estado do Amazonas) e outras com grande concentração populacional (superior a 400 habitantes por km² no Sul do Brasil). As interações destes rios com as populações locais, o uso destes recursos e os

impactos das atividades humanas são de extrema relevância para os futuros usos múltiplos dos recursos de água doce no Brasil.

De acordo com Meade (1985), o rio Amazonas responde pela maior carga sólida do mundo no Oceano Atlântico. Segundo este mesmo autor, 90 a 95% da carga sólida do Amazonas são provenientes dos Andes. Gibbs (1967) considera que a fonte dos sedimentos em suspensão do rio Amazonas difere da fonte de descarga líquida, atribuindo a essa última o escoamento superficial das áreas e com base na quantidade de sedimentos em suspensão, no grau de acidez e volume de matéria orgânica dissolvida, os rios amazônicos pertencem à categoria de águas brancas, pretas e claras. A Tabela 3.2 mostra as características hidrológicas anuais dos principais rios da bacia amazônica.

Tabela 3.2 - Características hidrológicas anuais dos principais rios da bacia amazônica.

Rios	Área de drenagem (km ²)	Descarga (m ³ /s)	Descarga específica (l/s km ²)	Pluviometria (mm/ano)
Solimões	990.780	46.500	46,9	2.900
Purus	370.000	11.000	29,7	2336
Solimões	2.147.740	103.000	48,0	2.880
Rio Negro	696.810	28.400	40,8	2.566
Amazonas*	2.854.300	131.600	46,1	2.780
Amazonas**	4.618.750	168.700	36,5	2.520
Amazonas (fz)	6.112.000	209.000	34,2	2.460
Tapajós	490.000	13.500	27,6	2.520
Madeira	1420.000	31.200	22,0	1.940
Tocantins (fz)	757.000	11.800	15,6	1.660

Fonte: Adaptado de Molinier (1994)

As descargas dos rios Purus, Madeira, Tapajós e Xingu foram medidos na confluência. A do rio Negro em Manaus, do Amazonas* em Jatuarã e do Amazonas** em Óbidos.

3.6 - A Bacia do Araguaia -Tocantins

O Brasil encontra-se subdividido em 08 bacias hidrográficas principais. As características climáticas, ecológicas e econômicas das mesmas são bastante diferenciadas. Assim, as bacias da região Norte têm água em abundância e necessitam de cuidadosa preservação ambiental. A rede de monitoramento da qualidade de água operada pela ANEEL abrange todo o território nacional. A bacia hidrográfica Araguaia - Tocantins conta hoje com 180 estações pluviométricas, 86 com medidas de vazão e níveis dos rios (<http://www.dnaee.gov.br>).

Localiza-se quase que integralmente entre os paralelos 2° e 18° e os meridianos de longitude oeste 46° e 56°. Sua configuração alongada no sentido longitudinal, seguindo as diretrizes dos dois importantes eixos fluviais, o Tocantins e o Araguaia, que se unem no extremo setentrional da bacia, formam o baixo Tocantins, que desemboca no Rio Pará, pertencente ao estuário do rio Amazonas.

A bacia do rio Tocantins possui uma vazão média anual de longo período de 11.800 m³/s, volume médio anual de 344 km³ e uma área de drenagem de 757.000 km² que representa 7,5% do território nacional. Aproximadamente 83% da área da bacia distribui-se nos Estados de Tocantins e Goiás (58%), Mato Grosso (24%), Pará (13%) e Maranhão (4%), além do Distrito Federal (1%). Limita-se com as bacias de alguns dos maiores rios do Brasil: ao Sul com a do Paraná, a Oeste, com a do Xingu e a Leste, com a do São Francisco. Grande parte de sua área está na região Centro Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até sua confluência, na divisa dos estados de Goiás, Maranhão e Pará. Desse ponto para jusante, a bacia hidrográfica entra na região Norte e se restringe a apenas um corredor formado pelas áreas marginais do rio Tocantins (<http://www.aneel.gov.br>).

Os rios desta bacia correm sobre solos pobres em nutrientes e podem ser classificados como rios de águas claras. As lagoas marginais são raras no rio Tocantins, mas integram importantes planícies de inundação no seu curso superior, na confluência com o rio Araguaia e logo abaixo da represa de Tucuruí no estado do Pará. O rio Tocantins é do tipo canalizado, com estreita planície de inundação. Nasce no escudo brasileiro e flui em direção Norte por cerca de 2.500 km até desaguar no estuário do Amazonas (Baía de Marajó), nas proximidades

de Belém. Os principais formadores são os rios Paranã e Maranhão. Corredeiras e cachoeiras são os habitats mais comuns ao longo de seu curso (IBGE, 1977).

3.7 - Influência de represas na qualidade da água dos rios a jusante

A área ocupada pelas 50 maiores barragens brasileiras é aproximadamente de 31.200 km², a qual equivale a 0,36% do território brasileiro (Eletrobrás, 1995). O AHE Serra da Mesa caracteriza-se pela construção de uma barragem tipo enrocamento com núcleo de argila, com uma altura máxima de 154 m, extensão de crista de 1.510 m e um volume total de $11,8 \times 10^6$ m³. O lago formado por esta barragem tem uma superfície de 1.784 km² e potência instalada de 1.293 MW. Este empreendimento está localizado no Estado de Goiás entre os municípios de Colinas do Sul e Minaçu, no ponto de coordenadas geográficas 13° 50'S e 48°18'WGr (Furnas, 1996).

A região a jusante da UHE Serra da Mesa que sofreu mais intensamente com a baixa vazão do rio Tocantins compreende as partes ribeirinhas limitrofes dos municípios de Palmeirópolis, Paranã e São Salvador do Tocantins, representando pequena porção de cada município individualmente (Figura 4.1). Destes 3 municípios o mais populoso é o de Paranã, que tem sua sede às margens do rio de mesmo nome, sendo no entanto pouco povoado na porção vertente do rio Tocantins. O município de Palmeirópolis, sob o aspecto sócio-econômico, é o principal deles com sua sede distante aproximadamente 50 km do rio Tocantins, e tem as suas atividades econômicas e sociais dissociadas do rio. O único município que está intimamente ligado ao rio Tocantins é o de São Salvador do Tocantins, com sua sede e principal distrito (Retiro) plantados às margens do rio Tocantins. Por serem estas as únicas localidades que mantêm uma estreita interação com o rio é que foi mais detalhadamente analisada. São Salvador do Tocantins possui uma população predominantemente rural. A arrecadação é insignificante mantendo uma total dependência dos repasses constitucionais, onde o FPM contribui com quase a totalidade. O município conta com 2 postos de saúde, um posto do correio e 2 postos telefônicos. O fornecimento de energia elétrica é feito por grupos geradores e o abastecimento de água por poços semi - artesianos, sendo que durante o período de seca ocorre sensível diminuição de vazão, comprometendo o abastecimento na sede do município. A principal atividade econômica do município é a pecuária, não havendo agricultura significativa. A agricultura de subsistência, especialmente

milho, arroz e mandioca, além de hortaliças, é praticada na porção de terra que o rio costuma inundar – agricultura de vazante.

As represas, de um modo geral, quer isoladamente ou em cascata, constituem um importante impacto qualitativo e quantitativo nos ecossistemas de águas interiores. Nos últimos vinte anos os usos desses sistemas diversificaram-se, ampliando sua importância pois estes reservatórios têm significado econômico, ecológico, hidrológico e social em muitas regiões do país e foram utilizados como base para o desenvolvimento regional (Tundisi, 1999). A morfometria dos reservatórios é variada, mas, de um modo geral, predomina o padrão dendrítico compartimentalizado, o que complica a amostragem e o manejo desses reservatórios. Baixa declividade e inundação de grandes áreas são características da maioria dos reservatórios no Brasil. Áreas alagadas associadas a esses reservatórios são fatores importantes de heterogeneidade espacial, visto que os principais tributários contribuem com material dissolvido e particulado (Branco e Rocha, 1977)

A essa variabilidade espacial sobrepõe-se uma grande variabilidade temporal causada por alterações climáticas, principalmente a precipitação pluviométrica e os ventos. Também o sistema operacional do reservatório é uma função de força fundamental que atua, a jusante e a montante. As chuvas intensas provocam o escoamento de materiais acumulados na bacia de drenagem, a matéria orgânica em suspensão aumenta reduzindo a transparência, que afeta a produção primária do fitoplâncton e a sobrevivência das macrófitas, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido na água, a qual pode decrescer em até 70% (Tundisi *et al.*, 1999).

Outra fonte de variabilidade espacial e temporal nas represas é a flutuação do nível da água regulada pelo ciclo hidrológico e pela operação do reservatório. Quando grandes áreas deste, secam, ocorre a decomposição acelerada de matéria orgânica. Por exemplo, o reservatório de Samuel, em Rondônia, sofre reduções de aproximadamente 400 km² durante os períodos de seca, áreas estas que são uma fonte de nitrogênio e fósforo durante o próximo período de inundação. Em algumas dessas represas, áreas secas são cultivadas, (por exemplo no reservatório do Rio Sobradinho no Rio São Francisco) esperando-se as chuvas.

O tempo de retenção é outra função importante. As diferenças dos tempos de permanência da água alteram as comunidades zoo e fitoplanctônicas, principalmente na sua composição de espécies, sucessão, biomassa, produtividade e colonização.

A construção de represas em série, como ocorrerá no rio Tocantins pode produzir segundo Tundisi *et al.* (1999) extensas modificações a jusante, destacando-se:

- i) alteração do regime hidrológico devido à regulação do fluxo e do nível, e conseqüentemente, modificações na altura das variações hidrométricas. Com isto modificam-se os regimes de inundação e as áreas alagadas;
- ii) alterações no sistema de reprodução de peixes e na fauna e flora das áreas de inundação: as modificações no regime hidrológico interferem nos ciclos de reprodução dos peixes, impedindo a migração, por exemplo;
- iii) retenção de sedimentos nos reservatórios a montante, com o qual aumenta a capacidade de erosão da água a jusante. A retenção de sedimentos interfere com os ciclos biogeoquímicos e a qualidade da água.

A água represada pode se aquecer diferencialmente resultando na estratificação térmica, que interfere na qualidade da água pelo efeito na formação de gases, da localização das algas, produção da degradação das condições do lago e da água e do escoamento a jusante da barragem (Tucci, 1993).

O barramento de rios, para fins de geração de energia elétrica, também pode interferir no aporte de nutrientes: as represas geralmente retêm fósforo e exportam o nitrogênio a jusante interferindo no processo de fertilização natural dos ecossistemas aquáticos favorecendo a fertilização acelerada, caracterizando o processo de eutrofização.

Segundo Vollenweider (1981), a eutrofização de um corpo d'água é o resultado do aumento da concentração de nutrientes. Nitrogênio e fósforo são, geralmente, considerados os nutrientes de maior importância no controle de degradação da qualidade da água, associada com a eutrofização em reservatórios.

Segundo Odum (1971), a eutrofização pode ser natural ou artificial. A eutrofização natural ou autóctone, é um processo lento e contínuo, ocasionado pelo aumento de nutrientes provenientes de folhas, galhos, animais, etc. no corpo d'água. A eutrofização artificial ou alóctone, que também é chamada de antrópica ou cultural é ocasionada, segundo Tundisi (1988) por: (1) despejos de esgotos; (2) vegetação remanescente em represas não desmatadas; (3) atividades agrícolas nas margens; (4) poluição do ar .

Esteves (1986), relata que a eutrofização cultural é vista como uma reação em cadeia de causas e efeitos característicos, que têm como resultado final a quebra do equilíbrio

ecológico, por haver mais produção de matéria orgânica do que o ecossistema é capaz de decompor. Esse desequilíbrio provoca alterações nas condições físicas e químicas do ecossistema, como o aumento da concentração de nutrientes, alterações significativas do pH em curto período de tempo, aumento da concentração de gases, como metano e gás sulfídrico e, nas condições biológicas, alterações na diversidade e na densidade dos organismos.

A classificação do estado trófico de um lago ou reservatório, envolve o estabelecimento de limites mínimos e máximos das concentrações de nutrientes e biomassa, baseados no grau ou intensidade do processo da eutrofização e de suas conseqüências. Carlson (1977) recomenda que para fins de classificação, deve ser dada prioridade aos parâmetros biológicos (clorofila *a* e ao fósforo total). Por outro lado, a produtividade de um corpo aquático pode ser definida como sua capacidade de propiciar e sustentar o desenvolvimento das diversas espécies de seres vivos.

Um corpo d'água pode ser classificado em função de seu estado trófico em: (1) oligotrófico; (2) mesotrófico; (3) eutrófico. Oligotrófico, quando o nível de nutrientes e biomassa é muito baixo, permitindo poucos representantes de muitas espécies; mesotrófico, quando o nível de nutrientes é moderado, permitindo maior variedade de espécies e eutrófico, quando há muito nutriente disponível na água, de modo que o número de espécies se reduz, embora com grande número de representantes destas espécies. Geralmente aparece grande quantidade de macrófitas e algas. Vollenweider (1968) classificou os lagos europeus segundo as diferentes formas de compostos nitrogenados (Tabela 3.3). Não existe uma classificação trófica para rios, onde a velocidade da corrente e os aportes externos das zonas por onde passa alteram sua composição.

Tabela 3.3 – Classificação de lagos europeus em relação à presença de compostos nitrogenados (mg/l).

Tipos de lagos	Nitrogênio amoniacal	Nitrato	Nitrito
Oligotrófico	0,0 - 0,3	0,0 - 1,0	0,0 - 0,5
Mesotrófico	0,3 - 2,0	1,0 - 5,0	0,5 - 5,0
Eutrófico	2,0 - 15,0	5,0 - 50,0	5,0 - 15,0

Fonte: Vollenweider (1968).

As principais características observadas no estágio final da eutrofização cultural são: pouca produtividade, coluna d'água com altos déficits de OD e elevada biomassa de algas. As características observadas rapidamente num corpo d'água eutrofizado são: a redução do número de espécies, um aumento na biomassa das espécies resistentes, a presença intensa de algas e macrófitas, o odor desagradável, entre outras.

3.8 - Aspectos climáticos da região amazônica

O Brasil possui diferentes regimes de precipitação pluviométrica em função de sua vasta extensão territorial, desde a região equatorial até latitudes subtropicais, assim como da complexidade topográfica (Marengo *et al.*, 1993). A região Norte, onde está inserida a bacia hidrográfica do rio Tocantins, área em estudo, sofre influência de sistemas tropicais e de latitudes médias, com uma estação seca bem definida no inverno e uma estação chuvosa no verão, caracterizada pela alta frequência de chuvas convectivas. O Norte, devido ao posicionamento latitudinal, caracteriza-se por ser região de transição entre os climas quentes de latitude baixa e os climas mesotérmicos, de tipo temperado das latitudes médias (Nobre *et al.*, 1989). Em geral, a precipitação pluviométrica distribui-se uniformemente nessa região, com valores médios anuais de 1.500 a 2.000 mm. O trimestre mais seco com bastante uniformidade em toda a região é de junho / julho e agosto. A precipitação do trimestre mais seco é da ordem de apenas 30 mm em grande parte do Brasil central e o mais chuvoso (superior a 900 mm) ocorre no período de dezembro / janeiro / fevereiro (Marengo *et al.*, 1993).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

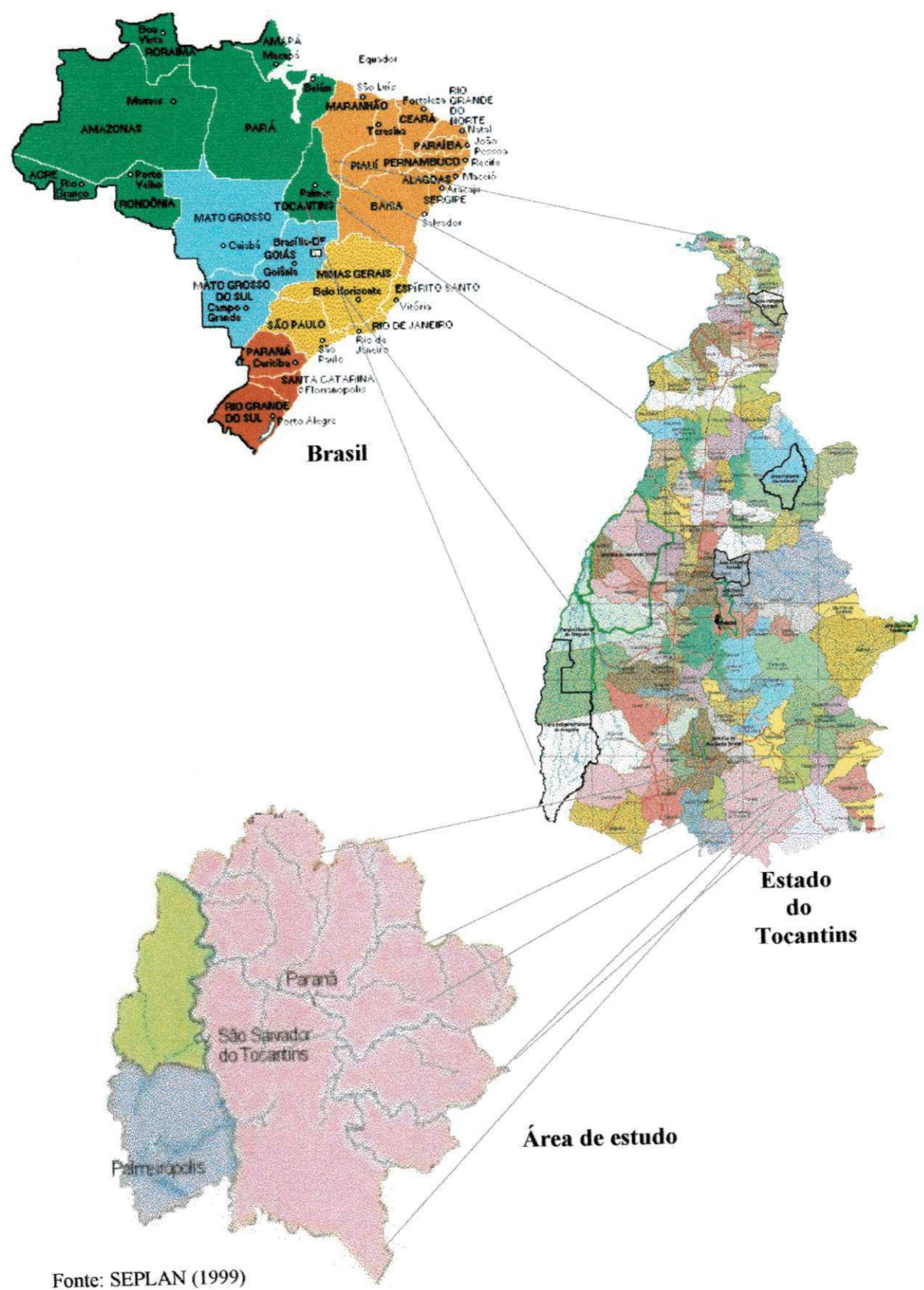
4.1 - Localização da área de estudo

O Estado do Tocantins, com 1,1 milhões de habitantes (0,7% da população do Brasil) distribuídos em 139 municípios, possui uma área de 278.420,7 km². Tem como coordenadas geográficas: ao Norte 5° 10' 06" S e 48° 21' 00" W, ao Sul 13° 27' 59" S e 47° 40' 42" W, a Leste 10° 15' 18" S e 45° 41' 46" W e a Oeste 11° 27' 31" S e 50° 44' 33" W. Limita-se ao Norte, com o Estado do Maranhão, a Leste com os Estados do Maranhão, Piauí, e Bahia, ao Sul com o Estado de Goiás e a Oeste, com os Estados de Mato Grosso e Pará. Na Figura 4.1 apresenta-se a localização do Estado do Tocantins no Brasil e a localização geográfica da área de estudo.

4.2 - Descrição da área de estudo

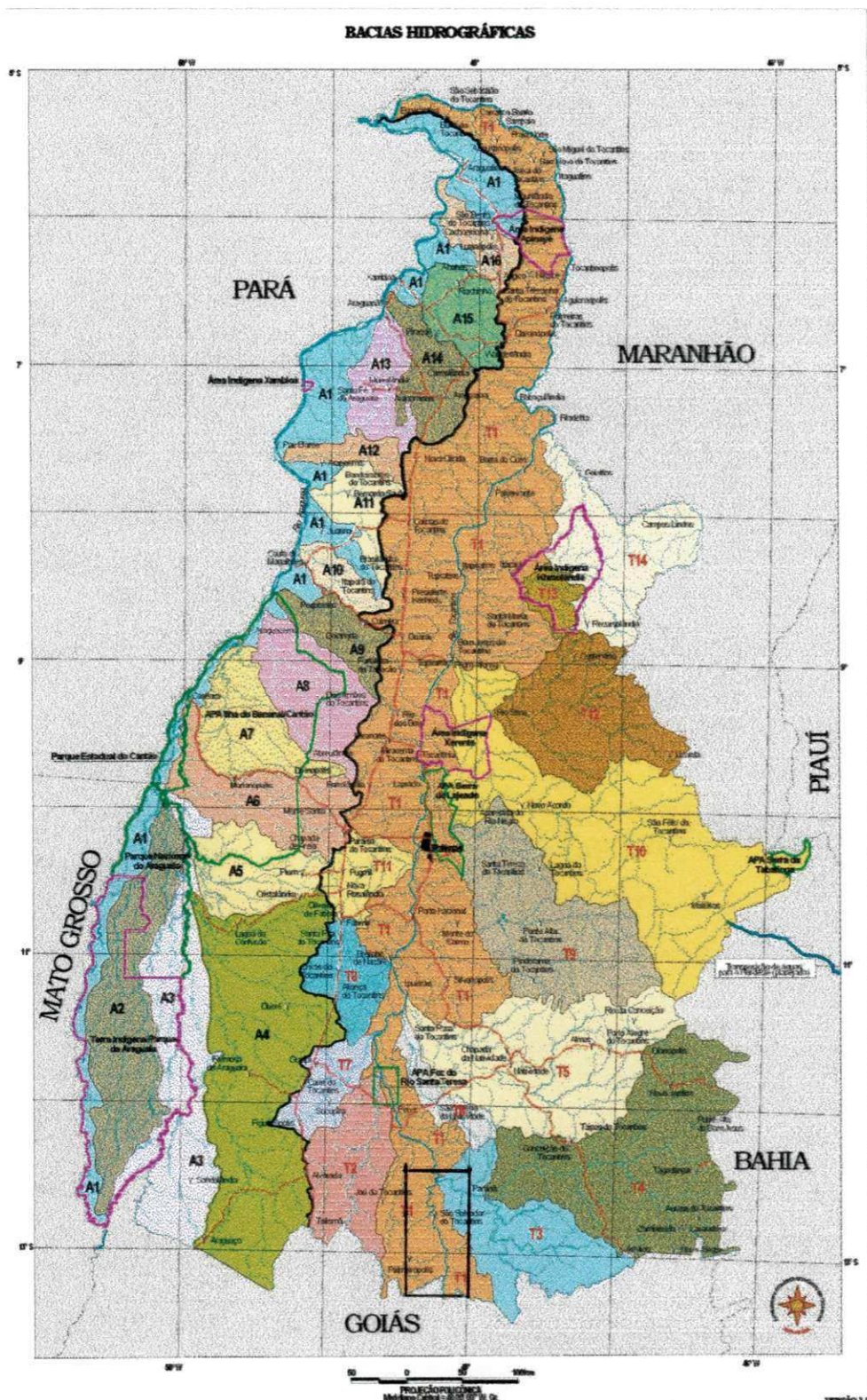
Neste trabalho foram considerados aspectos relacionados com as características sócio-econômicas, climáticas, hidrográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de vegetação.

A área estudada, de 13.849,7 km², aproximadamente (5%) do sistema hidrográfico do rio Tocantins, corresponde à região compreendida entre a divisa do Estado do Tocantins com o Estado de Goiás. No Estado do Tocantins a área fica entre o município de Palmeirópolis e o município de Paranã, no trecho compreendido entre a confluência do rio Cana-Brava até a confluência do rio Paranã. As atividades humanas na região datam do início do século XVIII, destacam-se, desde essa época, a mineração do ouro. Atualmente verifica-se nas margens do rio Tocantins cultivos de milho, arroz, mandioca, cana, feijão, hortaliças e pastagens. Com relação à rede hidrográfica, os principais tributários que drenam para a bacia do alto Tocantins na área sob estudo são os rios Cana-Brava, Mucambão e Paranã. A Figura 4.2 mostra a área de estudo em relação a bacia hidrográfica do rio Tocantins.



Fonte: SEPLAN (1999)
Sem escala

Figura 4.1 - Localização do Estado do Tocantins no Brasil e localização geográfica da área de estudo.



Fonte: SEPLAN (1999)

Legenda: T1 – Bacia hidrográfica do rio Tocantins
 T3 – Bacia hidrográfica do rio Paranã.
 □ – Área de estudo

Figura 4.2 – Área de estudo em relação à bacia hidrográfica do Tocantins (TO, Brasil).

Segundo o IBGE (1977), a bacia do Tocantins é uma das mais extensas do sistema hidrográfico brasileiro, ocupando uma área de 757.000 km². O rio nasce da junção dos rios Maranhão e Paranã, no Estado de Goiás (Serra do Paranã) numa altitude aproximada de 1.100m, a cerca de 60 km ao norte de Brasília (DF). Da confluência com o rio Paranã e até Belém do Pará, o rio Tocantins percorre cerca de 1.710 km com largura média de 400 metros. Todavia, como o rio Maranhão é considerado seu prolongamento natural, a extensão total do rio Tocantins é aumentada para 2.400 km (IBGE, 1977). Ao longo de sua extensão, apresenta características paisagísticas diversas, permitindo sua divisão em trechos. A divisão usualmente adotada é a seguinte (IBGE, 1977):

Alto Tocantins: desde as nascentes até a cachoeira Lajeado (município de Lajeado, a 60 km de Palmas), com 1.060 km de extensão.

Médio Tocantins: desde a cachoeira Lajeado, até a cachoeira Itaboca, com 980 km de extensão.

Baixo Tocantins: desde a cachoeira de Itaboca até a foz do rio no Estado do Pará, com uma extensão de 360 km.

O trecho correspondente ao Alto Tocantins será descrito mais detalhadamente por interessar diretamente ao presente estudo. Este trecho, desde seu início no rio Maranhão, até o seu limite final na cachoeira do Lajeado, caracteriza-se por uma série de seções com trechos navegáveis e outros com sucessão de degraus (IBGE, 1977). Após sua confluência com o rio Paranã, as características continuam iguais até a cidade de Peixe (TO). A navegação fluvial ocorre em alguns trechos, embora muitos não permitam a navegação no período de seca decorrente da constituição geológica e morfológica do seu leito. Na época de chuvas, o rio pode ser navegável em toda a sua extensão com barcos de pequeno calado. Atualmente há projetos e estudos de viabilidade para construções de várias represas ao longo do rio com a finalidade de geração de energia elétrica.

São encontrados na área em estudo duas tipologias climáticas, de acordo com a classificação de Köppen: o B1 w A' a' (clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno) e o C2 w A' a' (clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno). A temperatura média anual é aproximadamente de 27°C, com máximas em torno de 28°C e mínimas de 26°C. As chuvas variam de 1.300 a 1.500 mm anuais na região sob estudo (SEPLAN, 1999)

Os aspectos geológicos evidenciaram duas unidades distintas: o Complexo Goiano, representado por gnaisses e granitos; gnaisses e migmatitos e sedimentos de deposição recente (Quaternários) e o Grupo Serra da Mesa, que envolve as serras Dourada e Grande. A área situa-se em duas unidades geomorfológicas: a Depressão do rio Tocantins e o Planalto Serrano dissecado. A Depressão do Tocantins é representada por superfícies planas e onduladas, explorando altitudes entre 250 e 400 m, com boa densidade de drenagem. O Planalto Serrano dissecado é representado pelas Serras Dourada, Grande e Traira. Os Pés de Serra correspondentes exibem “talus” bastante espessos. O planalto chega em certos pontos, até altitudes superiores a 1.100 m. As encostas, quando estão presentes os aglomerados rochosos, apresentam-se com escarpas, destituídas de proteção arbórea (RADAMBRASIL, 1981).

A vegetação nativa é variada, apresentando predominância do cerrado, aparecendo ainda o cerradão na transição do cerrado para as formações de galeria (mata ciliar). As principais formações na área e as características encontradas são vegetação arbórea de porte mais elevado, que se encontra nas serras e, acompanhando os corpos d'água de alguns córregos, a floresta de galeria.

Na Depressão do Tocantins predomina o cerrado ou savana arbórea aberta, representada por espécies arbóreas de pequeno porte e um extrato rasteiro de gramíneas nativas e floresta de galeria (mata ciliar) margeando as estruturas de drenagem da bacia hidrográfica do Alto Tocantins e suas microbacias ao longo do trecho estudado.

O solo de maior extensão na área de estudo é o Latossolo Vermelho Amarelo textura média. Este tipo de solo provém de Sedimentos do Grupo Serra da Mesa-Complexo Goiano e Formação Arraias no Município de Paranã. O relevo é suave ondulado, irregular, de pequena extensão, exceto nas bacias dos rios Maranhão e Almas, onde é extenso e praticamente plano. São solos profundos, quimicamente pobres, ácidos, bastante susceptíveis à erosão, principalmente a forma laminar que, em geral é severa (RADAMBRASIL, 1981).

4.3 Definição dos pontos de amostragem e coleta de amostras

Para definir os pontos de amostragem e avaliar os usos dos solos nas propriedades lindeiras do rio Tocantins, este foi percorrido de barco, no trecho desde a confluência do rio Cana-Brava até a confluência do rio Paranã, no período de 05 a 30 de janeiro de 1998.

Durante o trajeto foram feitos o reconhecimento de área e a definição dos pontos de coleta. Foram observados aspectos sócio-econômicos e ambientais da região, nos municípios de Palmeirópolis, São Salvador, Retiro e Paranã do Estado do Tocantins. Durante o período de levantamento de dados foram entrevistados representantes das associações comunitárias e balseiros em distintos locais do rio Tocantins. Foram também contatadas as Prefeituras de Palmeirópolis e São Salvador do Tocantins.

A definição dos pontos de amostragem foi feita levando-se em consideração: 1) os principais rios afluentes da bacia do alto Tocantins, no trecho da UHE Serra da Mesa até o município de Paranã e 2) a existência de núcleos urbanos nas margens do rio neste mesmo trecho.

Em consequência, foram definidos 07 (sete) pontos para amostragem de água, os quais foram georeferenciados com auxílio de um GPS (marca Geoexplorer II). A Tabela 4.1 e a Figura 4.3. apresentam a denominação e a localização dos pontos de coleta.

Ponto 1 (PT1): localizado a montante do rio Cana-Brava a uma altitude de 265 m. O sistema de drenagem é composto pelo rio Maranhão e rio Cana-Brava. Os solos são Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa e Latossolo Vermelho Escuro, ambos argilosos e resistentes à erosão laminar. Nas imediações não foi observada influência antrópica e a mata ciliar é bem conservada (Figura 4.4).

Ponto 2 (PT2): localizado a jusante do rio Cana-Brava a uma altitude de 262 m. Este ponto tem características semelhantes ao PT1, e se caracteriza pelo aporte do rio Cana-Brava ao rio Tocantins. Este afluente, devido à erosão de suas margens, apresenta grande quantidade de material orgânico e inorgânico em suspensão (Figura 4.5).

Ponto 3 (PT3): localizado a jusante do rio Mucambão a uma altitude de 260 m. Recebe o aporte deste rio para o sistema hidrográfico do rio Tocantins. O sistema de drenagem é composto pelo próprio rio Mucambão e o Tocantins. Os solos presentes neste local são Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa e o Latossolo Vermelho Escuro, ambos argilosos e resistentes à erosão laminar. Nas imediações observam-se fazendas típicas da região com práticas de queimadas, para agricultura tradicional e pecuária extensiva (Figura 4.6).

Ponto 4 (PT4): localizado na travessia da balsa de Coronel Valente a uma altitude de 258 m. Este ponto caracteriza-se pelas proximidades com núcleos urbanos. No PT4 e na

cachocira do córrego Mutum, ocorrem solos Latossolo Vermelho Amarelo textura média, Concrecionário Laterítico e Latossolo Vermelho Escuro textura média; ambos são bastantes sensíveis a erosão laminar (Figura 4.7).

Ponto 5 (PT5): localizado na travessia de balsa de São Salvador a uma altitude de 254 m. A principal característica deste ponto é que atravessa a área de drenagem do município de São Salvador do Tocantins. Os solos vermelhos, aparentemente férteis, estão presentes no PT5 próximo ao ribeirão das Pedras. Estes solos sob pastagem plantada, resistem bem a erosão laminar (Figura 4.8).

Ponto 6 (PT6): localizado a jusante do Distrito de Retiro a uma altitude de 241 m. Apresenta solo Latossolo Vermelho Amarelo, de textura média e muito susceptível a erosão laminar (Figura 4.9)

Ponto 7 (PT7): localizado na confluência do rio Paranã a uma altitude de 234 m. Este rio atravessa o município de Paranã constituindo-se no principal sistema de drenagem desta área. No Ponto PT7 está presente também o Latossolo Vermelho Amarelo textura média, bastante susceptível a erosão laminar (Figura 4.10).

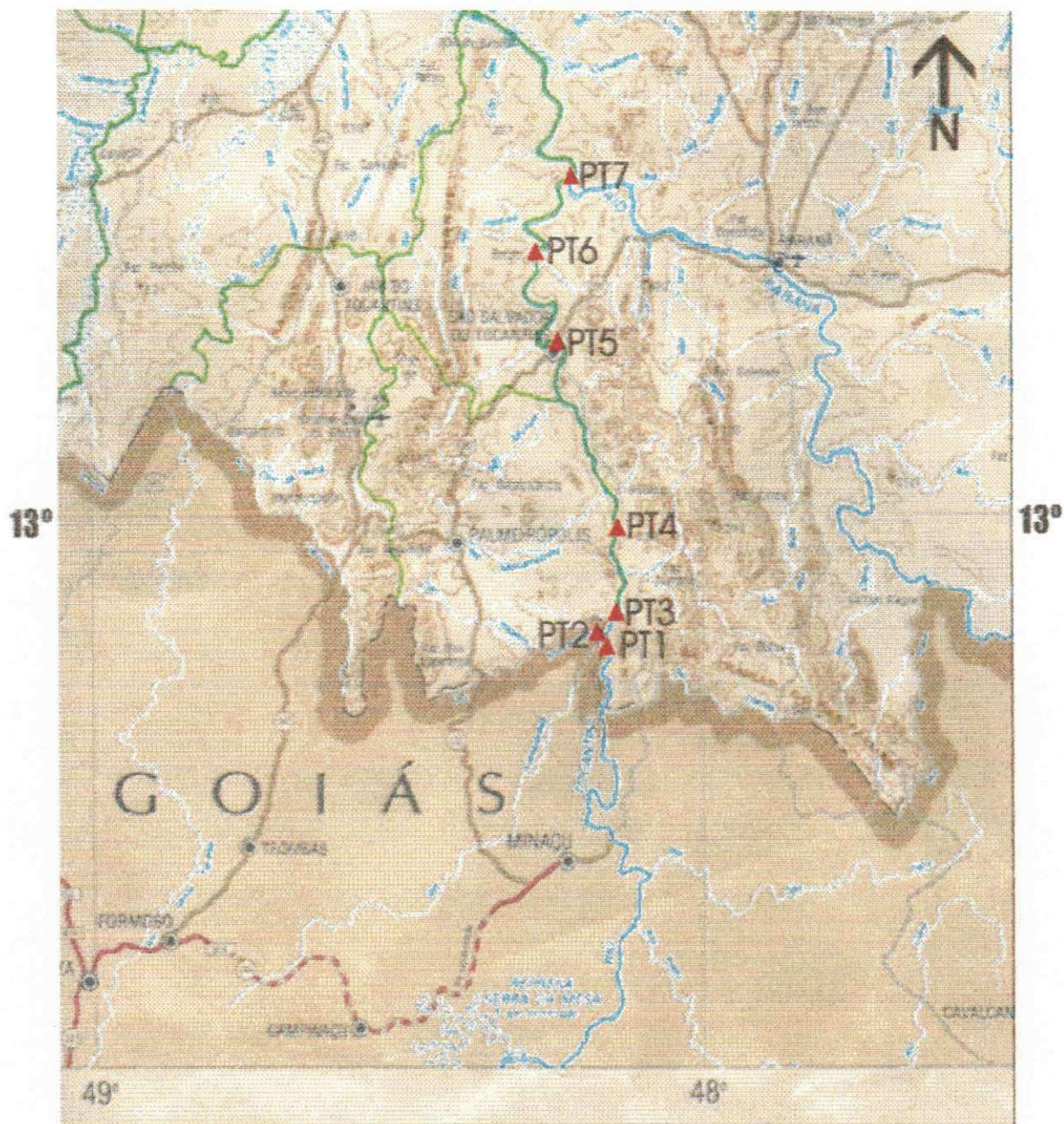
4.4 Definição de épocas climáticas homogêneas

Para definir as épocas climáticas homogêneas (secas e chuvosas), foram utilizadas séries históricas de dados de precipitação pluviométrica e de temperatura da estação meteorológica do município de Peixe (TO), correspondentes às médias climáticas dos últimos 30 anos. A estação meteorológica de Peixe ($12^{\circ} 03' 00''$ S e $48^{\circ} 32' 00''$ W) se situa a 100 km do município de Palmeirópolis (TO). Os dados de precipitação pluviométrica utilizados nesta pesquisa foram consequência dos estudos realizados por FURNAS S/A-Usina Hidrelétrica Serra da Mesa e estação meteorológica de Palmeirópolis referente às médias mensais de precipitação pluviométrica dos últimos 02 anos. A estação meteorológica do município de Palmeirópolis ($13^{\circ} 02' 25''$ S e $48^{\circ} 29' 29''$ W) localiza-se num raio de 20 a 83 km com relação aos pontos estudados e a 110 km aproximadamente da UHE Serra da Mesa.

Tabela 4.1 – Locais dos pontos de coleta do rio Tocantins (TO) a jusante da UHE Serra da Mesa.

Pontos	Posição		Localização	Distância dos pontos em relação a UHE - Serra da Mesa (km)	Distância entre os pontos (km)
	Latitude	Longitude			
PT1	13° 11' 51''	48° 09' 51''	montante do rio Cana-Brava	110	-
PT2	13° 11' 43''	48° 09' 55''	jusante do rio Cana-Brava	110,8	PT1 a PT2 0,8
PT3	13° 09' 08''	48° 08' 42''	confluência do rio Mucambão	115,1	PT2 a PT3 5,1
PT4	13° 01' 04''	48° 08' 46''	jusante do núcleo urbano coronel Valente "Balsa"	146,9	PT3 a PT4 14,9
PT5	12° 44' 37''	48° 13' 59''	jusante do núcleo urbano São Salvador "Balsa"	162	PT4 a PT5 31,8
PT6	12° 36' 38''	48° 16' 20''	jusante do núcleo urbano Retiro	177,2	PT5 a PT6 15,1
PT7	12° 29' 07''	48° 12' 50''	confluência do rio Paranã	192,4	PT6 a PT7 15,2
Extensão total					83,1 km

Escala: 1: 1.000.000



Fonte: IBGE. (1993)

Legenda:

- ▲ Pontos de Amostragem
- Limites Intermunicipais
- Rios
- Rodovias Não Pavimentadas

Figura 4.3 - Localização dos pontos de amostragem no rio Tocantins (TO, Brasil), durante o período de mai/98 a mar/00, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã.

Os registros fotográficos (Figuras 4.4 a 4.10) mostram detalhes dos pontos de coleta.

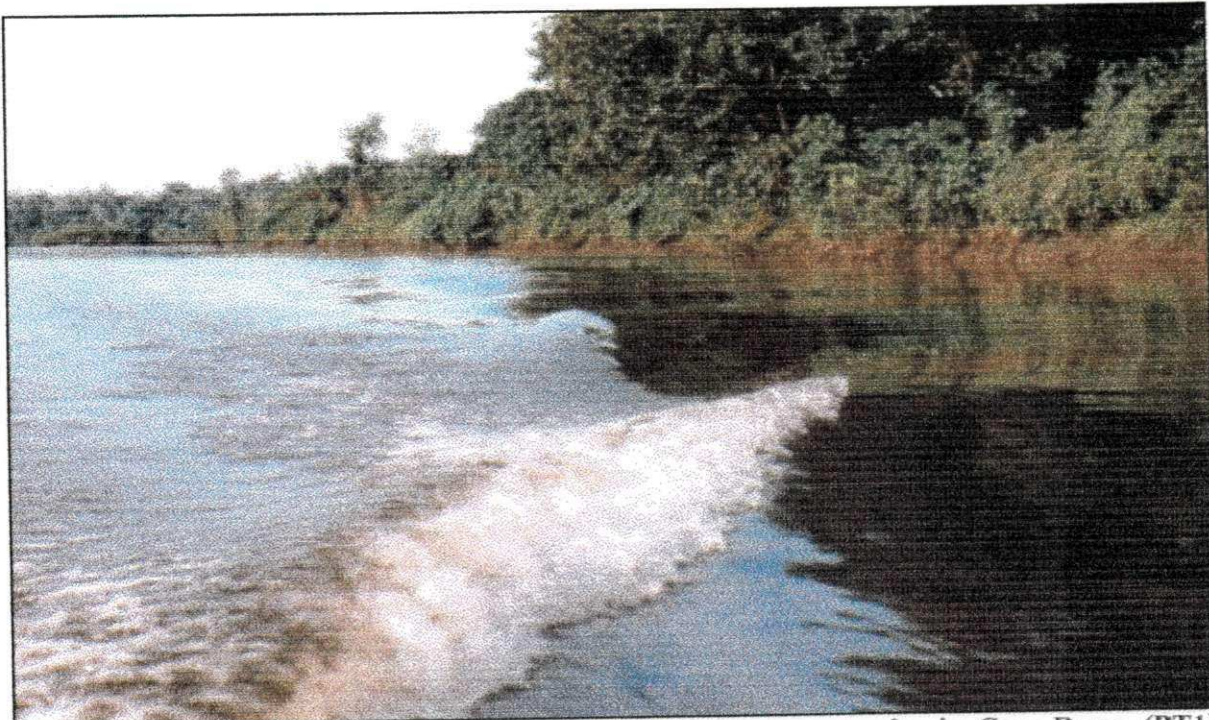


Figura 4.4 – Aspecto geral do rio Tocantins (TO) a montante do rio Cana-Brava (PT1). Podem ser observadas mata ciliar bastante conservada e nenhuma ação antrópica.



Figura 4.5 – Detalhes do PT2 no rio Tocantins (TO) a jusante da confluência do rio Cana-Brava, sendo observadas algumas modificações na mata ciliar.



Figura 4.6 – Rio Tocantins a jusante do rio Mucambão no PT3. Pode ser observado aspecto turvo da água devido ao aporte de material suspenso proveniente deste rio.



Figura 4.7 – Rio Tocantins nas proximidades do núcleo urbano Coronel Valente (PT4), sendo constatada a retirada da vegetação ciliar para abertura de áreas para pastagens.

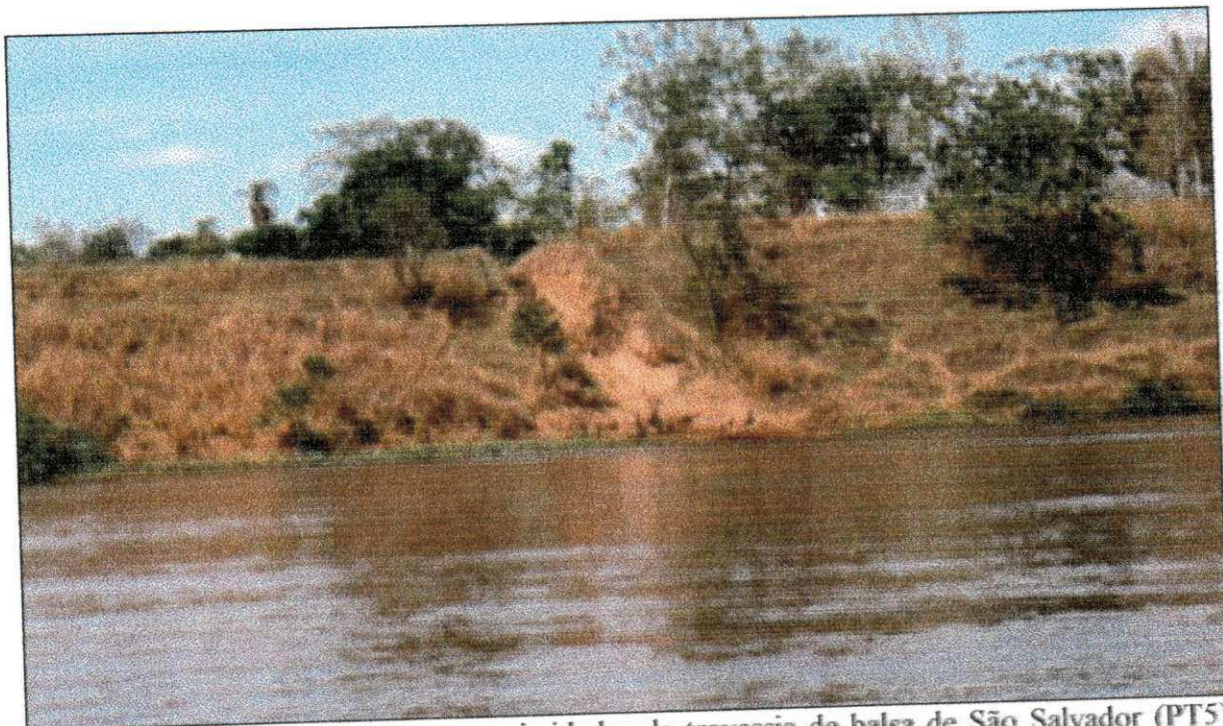


Figura 4.8 – Rio Tocantins nas proximidades da travessia de balsa de São Salvador (PT5). Pode ser observada a retirada de vegetação ciliar para o plantio de pastagem.



Figura 4.9 – Aspecto geral do rio Tocantins a jusante do Distrito de Retiro (PT6), sendo observada mata ciliar secundária.



Figura 4.10 – Vista geral da confluência do rio Paranã com o rio Tocantins (TO) (PT7). Ao lado esquerdo o rio Paranã e ao lado direito o rio Tocantins.

4.5. Procedimento de coleta e preservação das amostras

As amostras de água para análises físicas e químicas foram coletadas em cada uma das sete estações de amostragem em garrafas de plástico de polietileno. Estas garrafas foram previamente limpas e mergulhadas entre 20 e 30 cm de profundidade aproximadamente na água do rio (APHA, 1995). Todas as amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo.

Os parâmetros temperatura do ar e da água, pH, OD e turbidez, foram medidos em campo, em cada ponto de coleta com um equipamento Horiba U-10 (1991), imediatamente logo após a coleta das amostras.

4.6. Período de frequência de amostragem de água

Foram realizadas 12 (doze) campanhas de coletas amostrando-se em cada uma os 07 (sete) pontos, no período de março /1998 a março /2000, com frequência bimensal. Foram feitas coletas de amostras de água e visitas nas áreas das margens do rio Tocantins e nos municípios de Jaú, Palmeirópolis, São Salvador e Paranã fazendo-se observações da geologia, dos tipos de solos, da vegetação e do uso do solo.

4.7 - Variáveis analisadas e métodos analíticos utilizados

Foram analisados parâmetros físicos e químicos usando-se metodologia padrão. A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros, as metodologias e equipamentos utilizados bem como as correspondentes referências bibliográficas.

4.8 - Análises estatísticas

Foram feitas análises estatísticas descritivas para cada época climática (média, desvio padrão, medianas, máximos, mínimos e moda) e para cada parâmetro analisado. Estes foram efetuadas com auxílio da planilha eletrônica EXCEL 2000. Objetivando-se uma análise mais aprofundada dos dados, foram utilizadas ferramentas estatísticas adicionais tais como:

- análise gráfica de distribuição espaço-temporal;
- estudo de matrizes de correlação de todos os parâmetros. Os dados foram organizados em matrizes do tipo $K(I \times J)$ com nível de significância de 0,01% e 0,05%;
- estudo de variância (ANOVA: fator único), aplicada aos dados ao longo dos dois períodos de seca e de chuvas (S1 + C1 + S2 + C2), para verificar a existência de diferenças significativas nas concentrações médias dos parâmetros analisados entre os sete pontos de amostragem;
- análise dos conjuntos de dados pelo método GT2 (Sokal & Rohlf, 1981), determinando-se os limites de confiança de 95% (L_{inf} e L_{sup}) das médias dos pontos estudados.

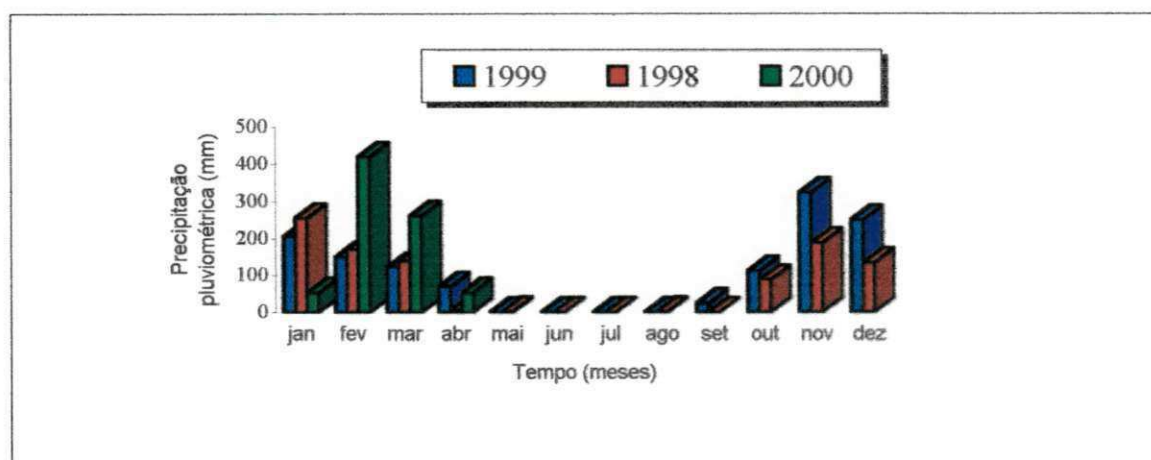
Tabela 4.2 - Parâmetros analisados, métodos e equipamentos utilizados nas amostras de água do rio Tocantins (TO), no período de mar / 98 – mar / 00.

Parâmetro (Unidade)	Método Analítico equipamento	Referência bibliográfica
Temperatura (°C)	Termômetro de filamento de mercúrio	APHA (1995)
Potencial Hidrogeniônico.	Potenciométrico Horiba U-10	APHA (1995)
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutivímetro Horiba U-10	APHA (1995)
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Potenciométrico Horiba U-10	APHA (1995)
Transparencia (m)	Disco de Secchi	Wetzel,(1993)
Cor (mg Pt/L)	Espectrofotométrico PtCo	APHA (1995)
Turbidez (NTU)	Turbidimétrico Horiba U-10	APHA (1995)
Cloretos (mg/L)	Titulométrico nitrato de prata	APHA (1995)
Sódio (mg/L)	Fotométrico de emissão de chama.	APHA (1995)
Potássio (mg/L)	Fotométrico de emissão de chama.	APHA (1995)
Alcalinidade total (mg CaCO_3/L)	Titulométrico HCl	APHA (1995)
Cálcio (mg CaCO_3/L)	Titulométrico EDTA - murexida	APHA (1995)
Dureza Total (mg CaCO_3/L)	Titulométrico EDTA padrão	APHA (1995)
N - amoniacal (mgN- NH_3/L)	Espectrofotométrico (reagente de nessler)	APHA (1995)
N - nítrico (mg N- NO_3^-/L)	Espectrofotométrico	APHA (1995)
Ortofosfato solúvel (mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$)	Espectrofotométrico (azul de molibdênio)	APHA (1995)
Silicato (mg SiO_2^-/L)	Espectrofotométrico molibdato	APHA (1995)
Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Espectrofotométrico (acetona à 90%)	APHA (1995)

5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 - Dados pluviométricos

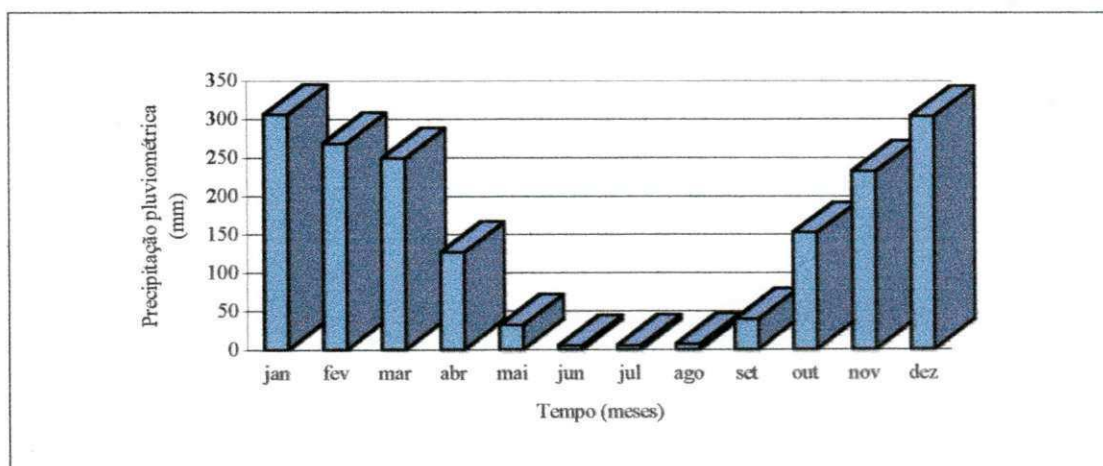
A Figura 5.1 mostra que a precipitação pluviométrica no período de coleta (mai / 98 a mar / 00) no posto meteorológico da UHE Serra da Mesa (GO) foi de 1.252,5 mm/ano em 1998 e 981,6 mm/ano em 1999 (Furnas, 2000). É importante salientar que esse posto dista 90 km do PT1, 140 km de PT7 e 260 km da estação meteorológica da cidade de Peixe (TO).



Fonte: Furnas, (2000).

Figura 5.1 – Distribuição dos valores médios das precipitações pluviométricas no posto meteorológico da UHE Serra da Mesa (GO) entre 1998 e 2000.

Segundo a SEPLAN-TO (1999) a região sul do Estado do Tocantins possui uma precipitação média anual entre 1.300 e 1.500 mm/ano. Entretanto, dados da estação meteorológica da cidade de Peixe (TO) registram médias climáticas de 30 anos de 1.722,5 mm anuais (Figura 5.2). O período de fortes chuvas é compreendido entre os meses de outubro a março, e o período de seca, entre maio e setembro. Já os meses abril e outubro são considerados de transição entre um regime e outro.

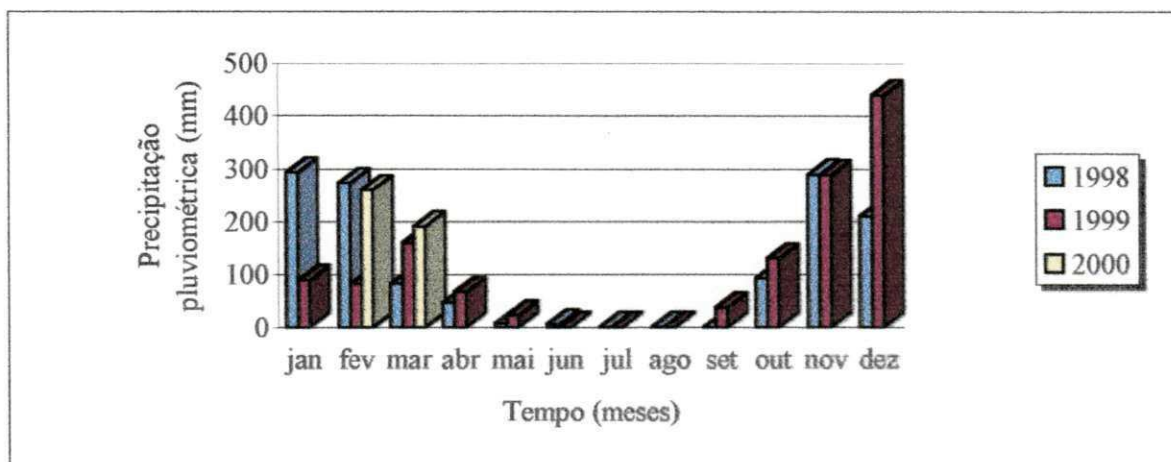


Fonte: Estação Meteorológica da cidade de Peixe (TO).

Figura 5.2 – Distribuição dos valores médios mensais da precipitação pluviométrica (mm) na estação meteorológica da cidade de Peixe (TO), no período 1961 a 1990.

Pode ser observado que a distribuição de chuva medida na estação meteorológica da cidade de Peixe (TO), no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro apresentou volumes decrescentes de janeiro a junho e crescentes de setembro a dezembro. A precipitação média anual foi relativamente alta (superior a 850 mm) (1961 a 1990) e no trimestre junho-julho-agosto foi de aproximadamente 15 mm, definindo claramente as estações seca e chuvosa.

Os dados da estação de Palmeirópolis (TO) foram escolhidos (Figura 5.3) como referência para o presente trabalho em vista da não disponibilidade de resultados diários e por não haver nenhuma outra estação mais próxima dos pontos amostrados. Com relação à interpretação dos dados da estação meteorológica de Palmeirópolis, pode ser observado que a precipitação pluviométrica anual foi semelhante à do posto meteorológico da UHE Serra da Mesa. A distribuição de chuva no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro evidenciou precipitação também alta e superior a 775 mm/ano (Figura 5.3).



Fonte: DNAEE (2000)

Figura 5.3 – Distribuição dos valores das precipitações pluviométricas na Estação Meteorológica de Palmeirópolis (TO).

A Figura 5.3 permite verificar que a precipitação pluviométrica anual na estação meteorológica de Palmeirópolis foi de 1.317,8 mm/ano (1998) e 1.299,1 mm/ano (1999). Os resultados mostram que as chuvas registradas nesta estação foram praticamente iguais aos valores das médias climáticas mínimas registradas na região sul, do Estado do Tocantins que segundo a SEPLAN, 1999 é de 1.300 mm/ano.

5.2 - Resultados do monitoramento da qualidade da água do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO).

5.2.1 Transparência.

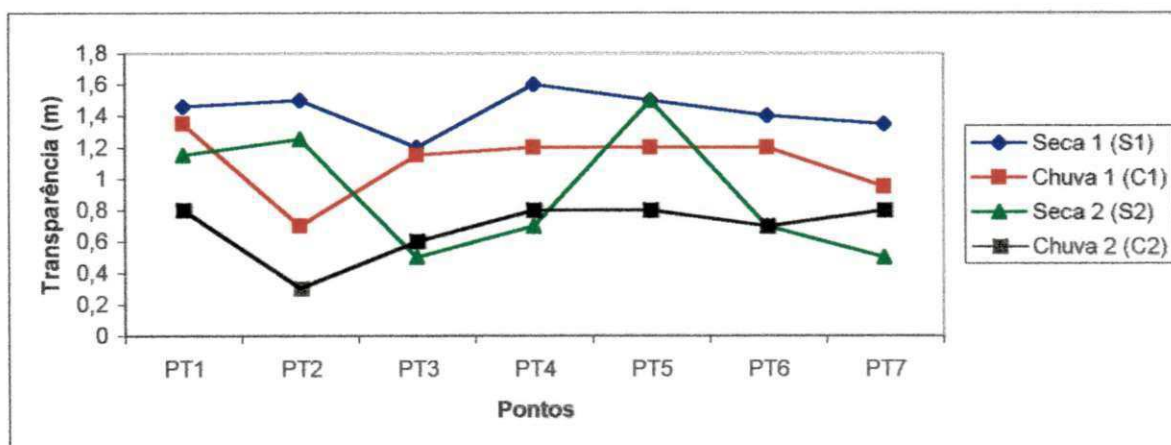


Figura 5.4 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de transparência do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana - Brava e Paranã (TO), durante o período de mai/98 a mar/00.

houve diferenças entre as médias das duas épocas chuvosas (1,3) e entre as secas e chuvas de um mesmo ciclo (S1- C1) e (S2 – C2).

O pH não apresentou muitas correlações significativas e isso pode ser explicado pelos valores quase constante desta variável ao longo dos pontos amostrados. As únicas correlações deste parâmetro ocorreram com clorofila a e amônia, sendo ambas negativas PT2 ($\alpha = 0,01$; $r = - 0,958$) e PT5 ($\alpha = 0,05$; $r = - 0,605$) respectivamente, indicando que no PT2 os menores valores de pH corresponderam aos maiores valores de clorofila a. Por outro lado, no PT5, os menores valores de pH corresponderam aos menores valores de amônia, como era de se esperar uma vez que quanto menor o pH maior é a concentração do íon amônio na sua forma dissolvida.

5.2.4 - Condutividade elétrica

A Figura 5.9 mostra a distribuição espaço-temporal dos valores médios da condutividade elétrica nos 4 períodos estudados. Estes se distribuíram entre um máximo de 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PT3) e um mínimo de 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PT4), ambos nos períodos secos (S1 e S2, respectivamente).

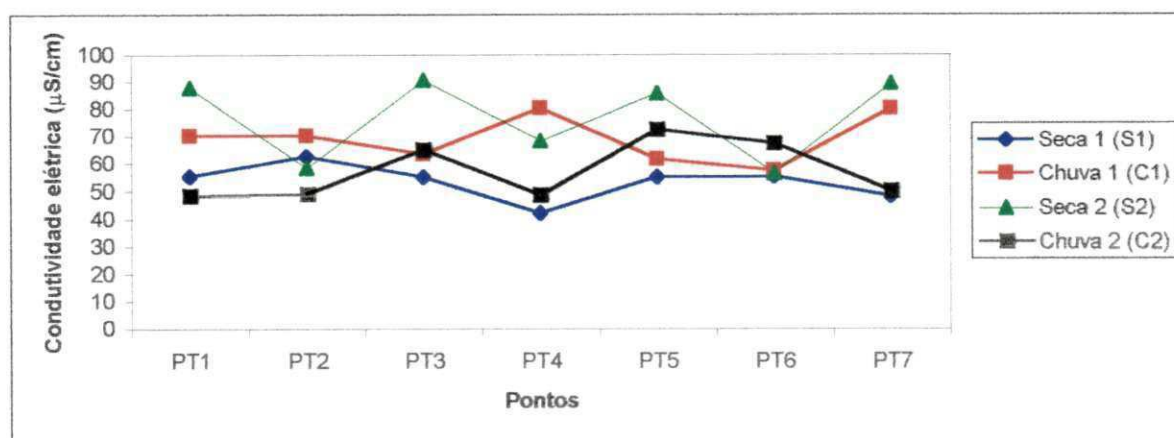


Figura 5.9 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios da condutividade elétrica do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

Foram observados flutuações entre os diferentes pontos num mesmo período, embora sempre com valores baixos. Entretanto, é interessante notar que os valores mais elevados para todos os pontos foram em seca 2 (S2). Os baixos valores de condutividade elétrica evidenciaram baixos teores de íons neste rio e portanto, pouco intemperismo das rochas e escassa ou nenhuma contribuição de esgotos.

Foram observados flutuações entre os diferentes pontos num mesmo período, embora sempre com valores baixos. Entretanto, é interessante notar que os valores mais elevados para todos os pontos foram em seca 2 (S2). Os baixos valores de condutividade elétrica evidenciaram baixos teores de íons neste rio e portanto, pouco intemperismo das rochas e escassa ou nenhuma contribuição de esgotos.

Os corpos d'água na Amazônia tendem a apresentar valores mais elevados de condutividade elétrica na estação seca devido aos processos de decomposição de matéria orgânica e ressuspensão dos sedimentos (Santos, 1980). Nogueira (1990), estudando a Represa de Monjolinho - SP, encontrou valores mais elevados de condutividade no período de chuvas e atribuiu este aumento ao aporte de material alóctone. No presente estudo foi observado também, no primeiro ano de coleta de dados, que os valores médios de condutividade foram mais elevados no período chuvoso, entretanto, no segundo ano, foi observado comportamento inverso, com os maiores valores médios no período seco. Ceballos (1995), observa que embora nas primeiras chuvas ocorra uma piora na qualidade da água, com o aumento da turbidez, DBO₅, sólidos suspensos etc., quando estas continuam, há uma tendência da massa líquida apresentar diluição e atenuar os efeitos do material trazido pelo escoamento superficial. É interessante observar o grande número de correlações positivas significativas em que participam condutividade e íons. Como as concentrações de íons dependem diretamente da quantidade de eletrólitos na solução, a condutividade pode dar indicações das concentrações de sais dissolvidos na água. A condutividade apresentou correlações positivas significativas com: dureza total PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,614$), temperatura PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,728$), turbidez PT6 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,673$), potássio PT6 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,812$), cloretos PT5 ($r = 0,612$; $\alpha = 0,05$) Quanto maior a concentração de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, maior é a redução na transmissão da luz e menores as medições de transparência. Este parâmetro está relacionado com a dispersão crescente de partículas suspensas o que dificulta a reflexão da luz para a superfície (Wetzel, 1993). A condutividade elétrica teve correlação negativa com a transparência no PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = - 0,619$) e PT6 ($\alpha = 0,05$ $r = - 0,661$), refletindo os fenômenos acima explicados.

5.2.5 Turbidez

A Figura 5.10 mostra que as variações dos valores de turbidez sob condições de chuva (C1 + C2) foram marcadamente diferentes daqueles observados nas épocas de seca (S1 + S2). O maior valor médio foi de 135,3 NTU, na chuva 2 (C2), no ponto PT2 e o mínimo foi de 6,2

NTU na seca 2 (S2), no ponto PT7. As maiores variações ocorreram nos pontos PT2 e PT3 possivelmente por se tratarem de braços de rios, onde a carga de material em suspensão é maior do que nos demais pontos.

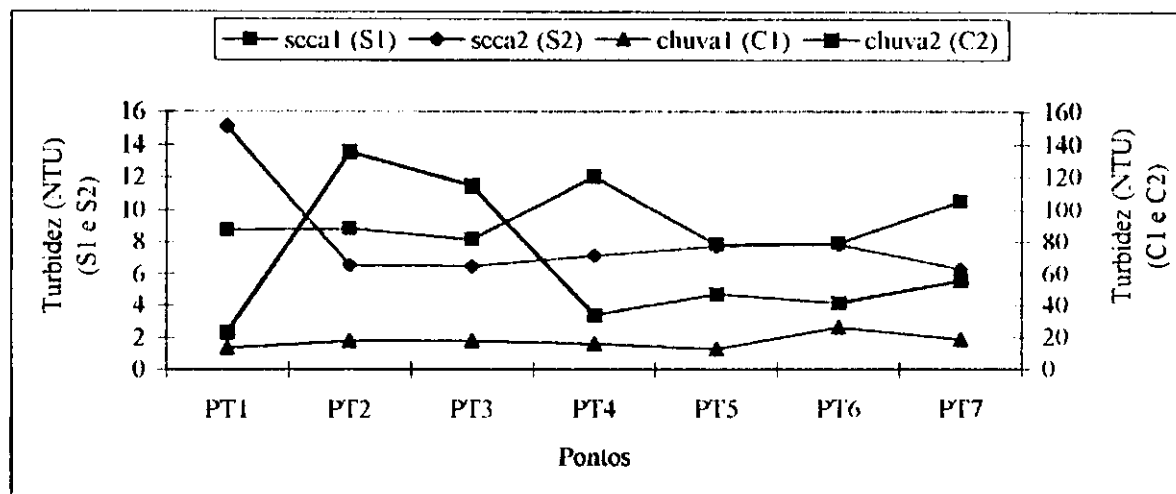


Figura 5.10 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de turbidez do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00 ,

Pode ser observado que os valores de turbidez foram muito baixos embora ocorressem flutuações ao longo do rio. Verifica-se que, sempre, os maiores valores de turbidez foram em épocas chuvosas. Essa distribuição se associa com a entrada de material em suspensão proveniente das águas de escoamento superficial, destacando-se a matéria orgânica e inorgânica e os microorganismos.

Destaca-se o grande número de correlações positivas em que participaram a turbidez e alguns ions. A análise de correlação múltipla permitiu constatar que a turbidez teve correlações positivas com a cor nos pontos; PT2 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,694$), PT3 ($\alpha = 0,01$ $r = 0,843$), PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,854$), PT5 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,838$) e PT7 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,580$), amônia nos pontos PT1 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,816$), PT2 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,800$), PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,632$), PT5 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,817$), PT6 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,867$), PT7 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,973$), cloretos PT3 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,741$), nitrato nos pontos PT5 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,897$) e PT6 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,836$). O aumento da turbidez teve correlação negativa com a transparência em todos os pontos amostrados (Tabelas III.1 a III.7, Anexo 3).

5.2.6 Cor

A Figura 5.11 ilustra a distribuição espaço-temporal para os valores médios de cor dos pontos de coleta do rio Tocantins (TO).

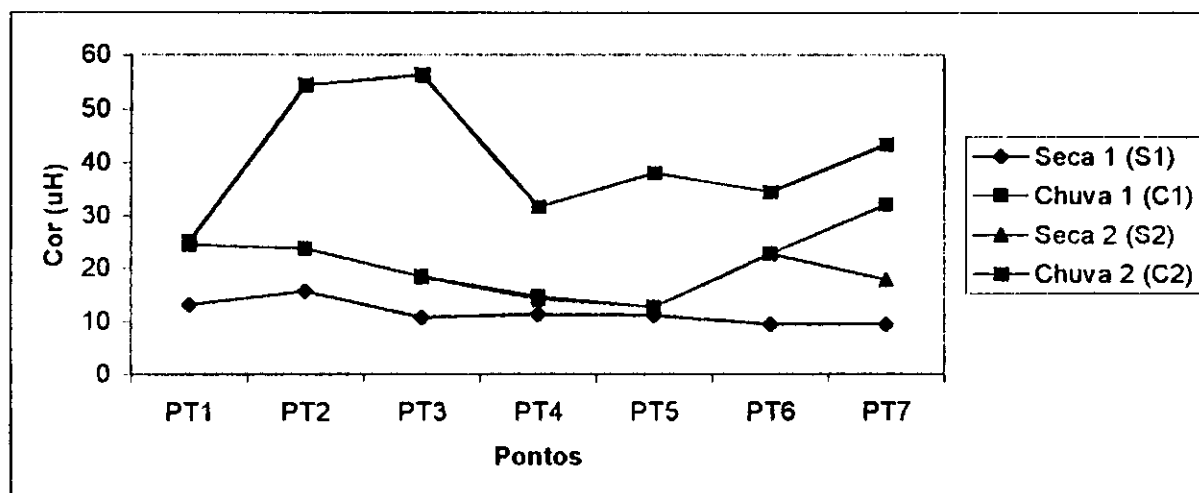


Figura 5.11 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios da cor do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

A variação média da cor foi entre 9,3 nos pontos PT6 e PT7 na seca 1 (S1) a 54 no PT7 na chuva 2 (C2). Pode ser observado que os valores de cor foram baixos, indicando que as concentrações de algas planctônicas são baixas e há pouca matéria orgânica dissolvida, predominando especialmente compostos húmicos. Os pontos PT2 e PT3 apresentaram os maiores valores de cor, na época de chuva 2 (C2) por se localizarem na confluência dos rios Cana-Brava e Mucambão.

A correlação significativa com transparência foi negativa nos pontos: PT2 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,699$), PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,620$), PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = -0,722$), PT5 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,625$), PT6 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,616$), expressando que quando ocorreu aumento da cor, houve diminuição da transparência. Cor e turbidez relacionaram-se positivamente nos pontos PT2 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,695$), PT3 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,843$), PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,854$), PT5 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,838$), PT7 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,580$), mostrando que quanto maior a turbidez da coluna líquida maior é a concentração de sólidos suspensos e dissolvidos na água.

5.2.7 Oxigênio dissolvido e porcentagens de saturação

A Figura 5.12, ilustra a distribuição espaço-temporal das concentrações médias de oxigênio nos sete pontos de coleta do rio Tocantins.

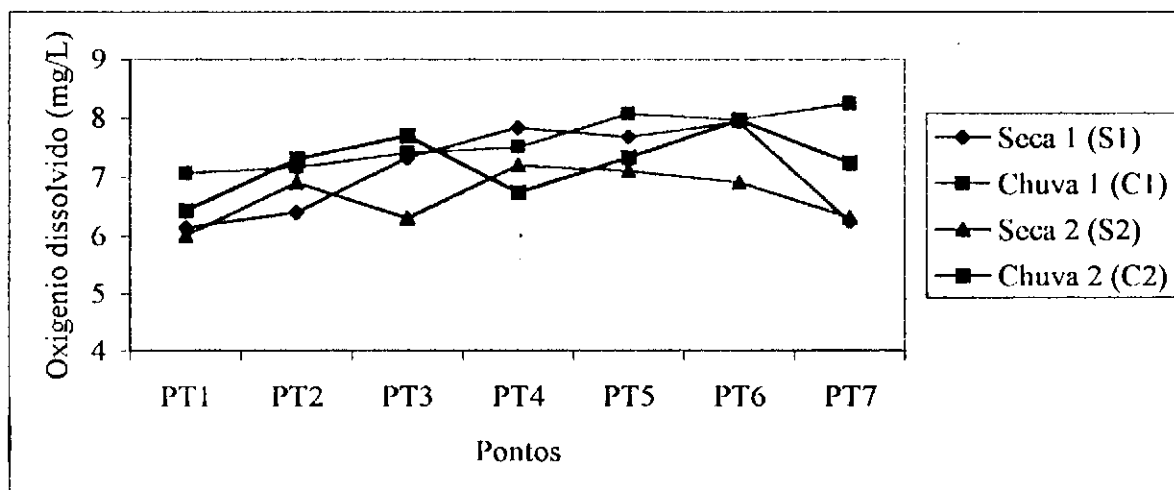


Figura 5.12 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de oxigênio dissolvido do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paraná (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

Houve aumentos da concentração em pontos específicos, que podem ser associados com aumentos na aeração natural do corpo d'água, em função de sucessivas corredeiras existentes no trecho estudado. Já os valores de supersaturação se relacionam com a produtividade fotossintética. Verifica-se pequena diferença entre os valores das diferentes estações de seca e chuva, sendo um pouco maiores durante o período de chuva.

De forma geral os valores médios de oxigênio dissolvido foram relativamente altos e variaram entre um mínimo de 6,0 mg/L na época seca 2 (S2) e 8,2 mg/L na época de chuva 1 (C1). Estes valores refletem oxigenação entre média e muito boa. Os menores valores observados de OD sempre foram no PT1 6,0 mg/L (S2) e 7,0 mg/L (C1) e associados ao horário de coleta haja visto ser o PT1 sempre o primeiro ponto a ser amostrado por volta das 7:00 h. Com relação às concentrações máximas os valores variaram entre 8,2 mg/L (PT7 – C1) e 7,4 mg/L (PT4 – S2). Houve sobresaturação apenas em 3 épocas e nos pontos: (PT6 – em S1), (PT5, PT6 e PT7 em C1), (PT6 – C2). Nos demais pontos houve predominância de valores médios altos embora não de sobresaturação. As Tabelas 5.2 a 5.5 apresentam os valores médios de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação calculado (ODsat) e as porcentagens de saturação (% de sat) para os pontos de coleta em todas as épocas.

Tabela 5.2 – Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no primeiro período de Seca (S1).

Pontos de coleta	ODobs (mg/L)	ODsat (mg/L)	% de sat
PT1	6,1	8,2	75%
PT2	6,4	8,0	80%
PT3	7,3	8,0	91%
PT4	7,8	8,1	96%
PT5	7,7	8,1	95%
PT6	7,9	7,8	102%
PT7	6,2	7,7	81%

Tabela 5.3 – Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de Seca (S2).

Pontos de coleta	ODobs(mg/L)	OD sat (mg/L)	% de sat
PT1	6,0	8,2	73%
PT2	6,9	8,1	85%
PT3	6,3	8,1	77%
PT4	7,2	8,0	90%
PT5	7,1	8,0	88%
PT6	6,9	8,0	87%
PT7	6,3	8,0	79%

Tabela 5.4 – Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta do rio Tocantins (TO), no primeiro período de Chuva (C1).

Pontos de coleta	ODobs (mg/L)	OD sat (mg/L)	% de sat
PT1	7,1	8,0	89
PT2	7,2	8,0	90%
PT3	7,4	8,0	92%
PT4	7,5	8,0	94%
PT5	8,1	7,7	105%
PT6	7,8	7,7	102%
PT7	8,2	7,6	108%

Tabela 5.5 – Valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio dissolvido de saturação (ODsat), e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de Chuva (C2).

Pontos de coleta	ODobs (mg/L)	OD sat (mg/L)	% de sat
PT1	6,4	8,1	79%
PT2	7,3	8,0	91%
PT3	7,7	8,0	96%
PT4	6,7	8,0	83%
PT5	7,3	8,0	91%
PT6	8,0	7,9	101%
PT7	7,2	7,8	92%

As Figuras 5.13 a 5.16 mostram a distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta.

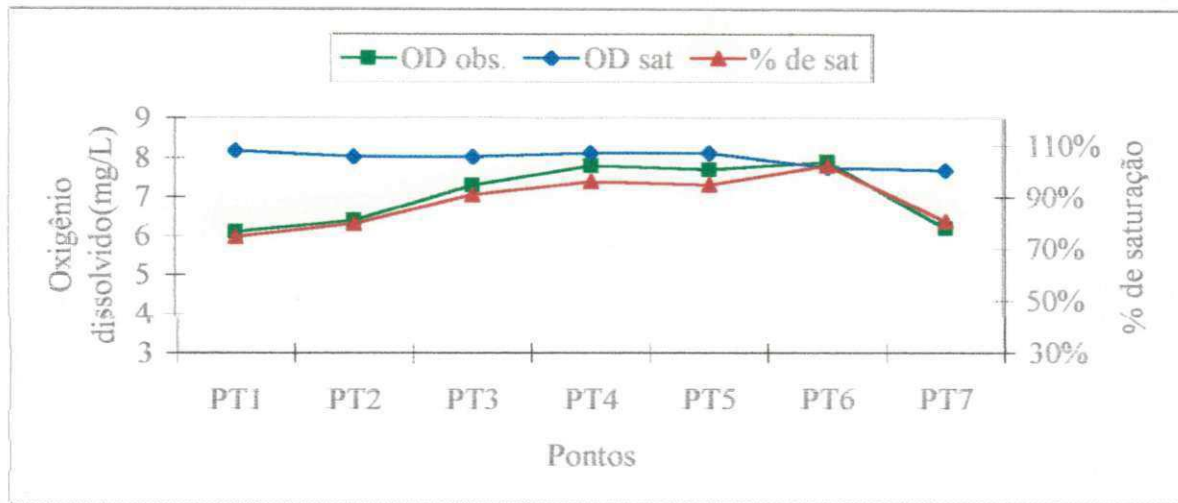


Figura 5.13 – Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no primeiro período de seca (S1) (mai - set/98).

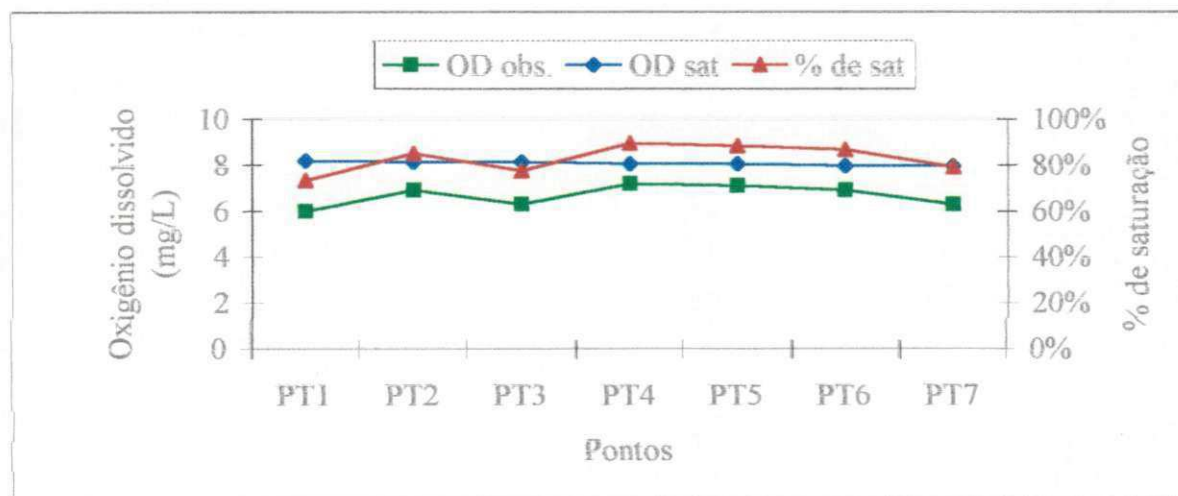


Figura 5.14 – Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de seca (S2) (mai - set/99).

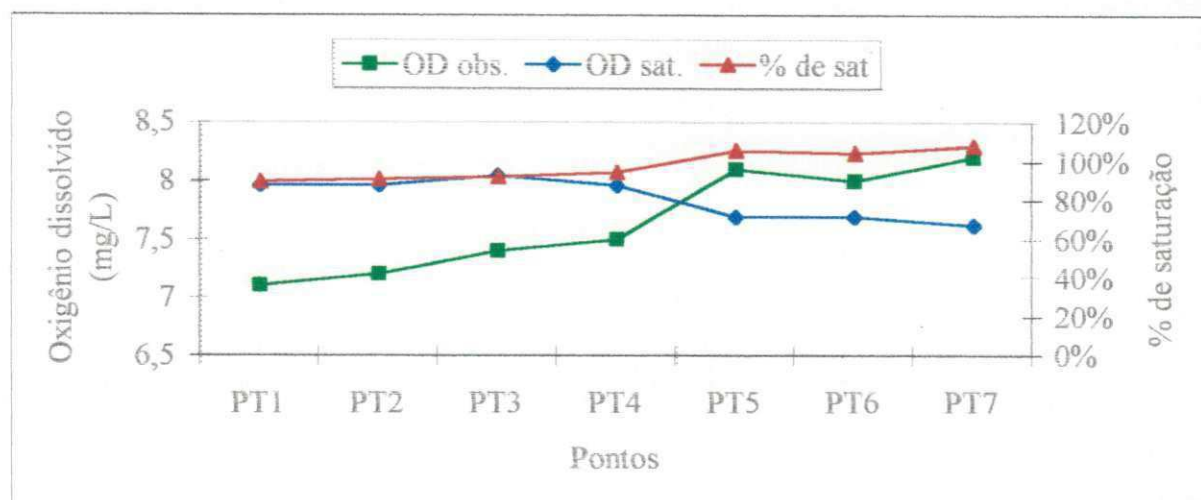


Figura 5.15 – Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no primeiro período de chuva (C1) (nov/98 a mar/99).

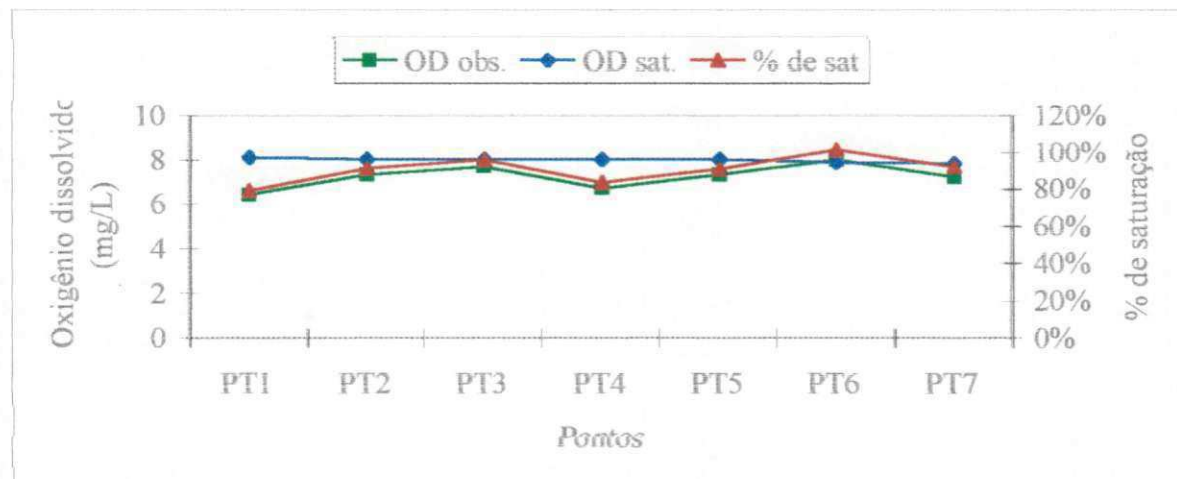


Figura 5.16 – Distribuição espacial dos valores de oxigênio dissolvido observados (ODobs), oxigênio de saturação (ODsat) e porcentagem de saturação (% de sat) para os pontos de coleta, no segundo período de chuva (C2) (nov/99 a mar/00).

A concentração de saturação na região é de 8,2 mg/L de O_2 . Portanto, o mínimo valor médio encontrado (6,0 mg/L) (PT1 – S2) correspondendo a 73% da saturação e o máximo (8,2 mg/L) (PT7 – C1) a 108%, evidenciando oxigenação sempre superior a 5 mg/L, valor preconizado pelo CONAMA (20/86) para águas de classe 2.

5.2.8 Clorofila *a*

A Figura 5.17 mostra os valores médios de clorofila *a*, com valores médios entre 8,7 e 11,2 $\mu\text{g/L}$ nas chuvas (C1 – C2) e 8,7 $\mu\text{g/L}$ na seca 2 (S2). Não houve determinação de clorofila *a* na seca 1 (S1). Todos estes valores são considerados bastante baixos.

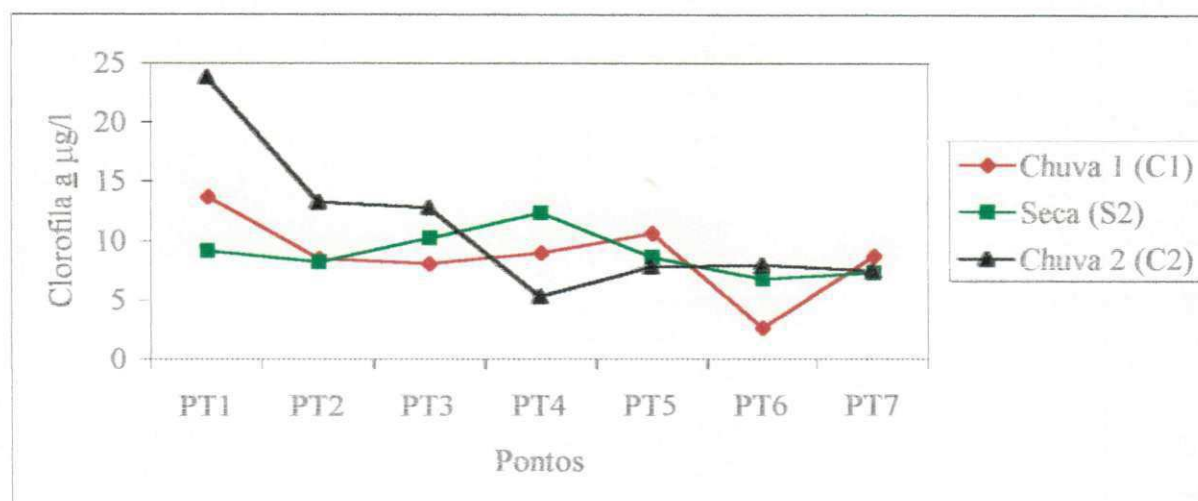


Figura 5.17 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de clorofila *a* do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

No decorrer do período de estudo, as concentrações pontuais estiveram na faixa de 1,4 $\mu\text{g/L}$ a 38,8 $\mu\text{g/L}$ (Tabela 2.8 anexo 2). As maiores concentrações pontuais de clorofila *a* ocorreram no PT1, no período chuvoso 24,2 $\mu\text{g/L}$ em C1 e 38,8 $\mu\text{g/L}$ em C2, e diminuíram ao longo do rio, provavelmente causado pela entrada de algas carregadas pelas chuvas.

As correlações significativas com clorofila *a* ocorreram com ortofosfato nos pontos PT1 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,765$) e PT6 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,650$), nitrato PT1 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,850$) e cloretos PT1 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,757$), PT6 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,775$). A clorofila *a* apresentou correlações negativas com: transparência nos pontos PT1 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,627$), PT2 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,639$), sílica PT5 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,628$), pH PT2 ($\alpha = 0,01$; $r = -0,958$) e potássio nos pontos PT6 ($\alpha = 0,05$; $r = -0,635$) e PT7 ($\alpha = 0,01$; $r = -0,738$). A primeira se explica pelo fato da biomassa de algas ser a causadora da turbidez biogênica e portanto provocar diminuição da transparência e a última evidencia a absorção de potássio pelas algas.

5.2.9 - N - amoniacal

A Figura 5.18 mostra os valores médios de N-amoniacoal. No ecossistema estudado, o maior valor médio nos períodos das secas foi de 0,15 mg N-NH₃/L e de 0,36 mgN-NH₃/L nas chuvas.

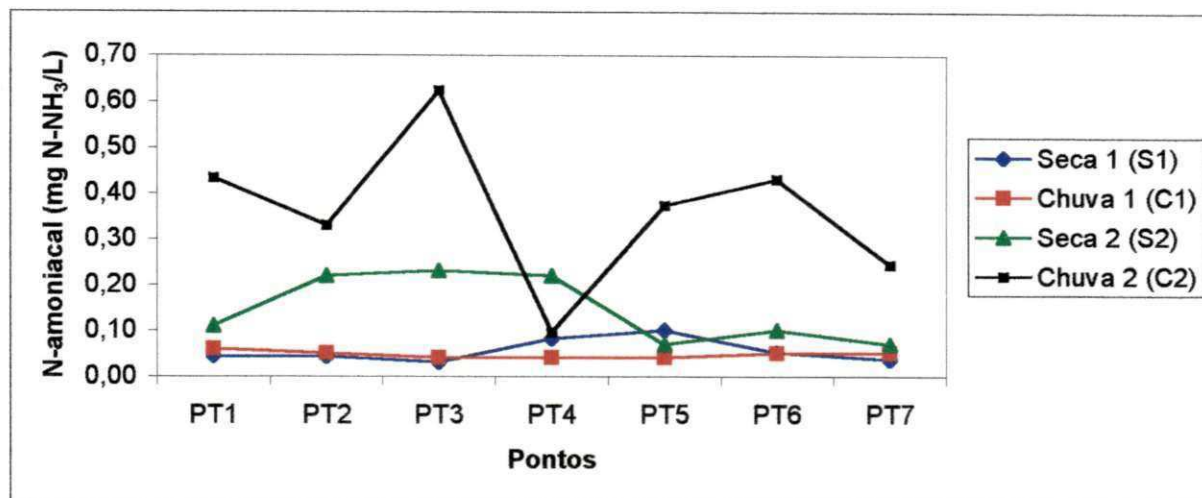


Figura 5.18 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de N-amoniacoal do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

O maior valor pontual de N - amoniacoal registrado foi de 0,97 mg N- NH₃/L em PT5 na chuva 2 (C2) e o menor, de 0,01 mg N-NH₃/L nos pontos PT1 a PT3, na seca 1 (S1). Foi verificada a existência de variações no decorrer do período, sem diferenças significativas enquanto foi observada uma ligeira tendência de aumento da concentração do primeiro ano de estudo para o segundo ano. Os maiores valores foram verificados na chuva 2 e em menor escala, na seca 1.

5.2.10 - N - nítrico

As concentrações de N-nítrico tiveram um comportamento semelhante ao N-amoniacoal, com valores pontuais fluando entre 0,0 (PT1 a PT4 – C2) e 0,27 mg N-NO₃⁻/L em PT2 (S2) (Tabela 2.10, anexo 3), com valores médios de 0,02 – 0,05 mg N-NO₃⁻/L nas secas e 0,01 – 0,07 mg N-NO₃⁻/L nas chuvas.

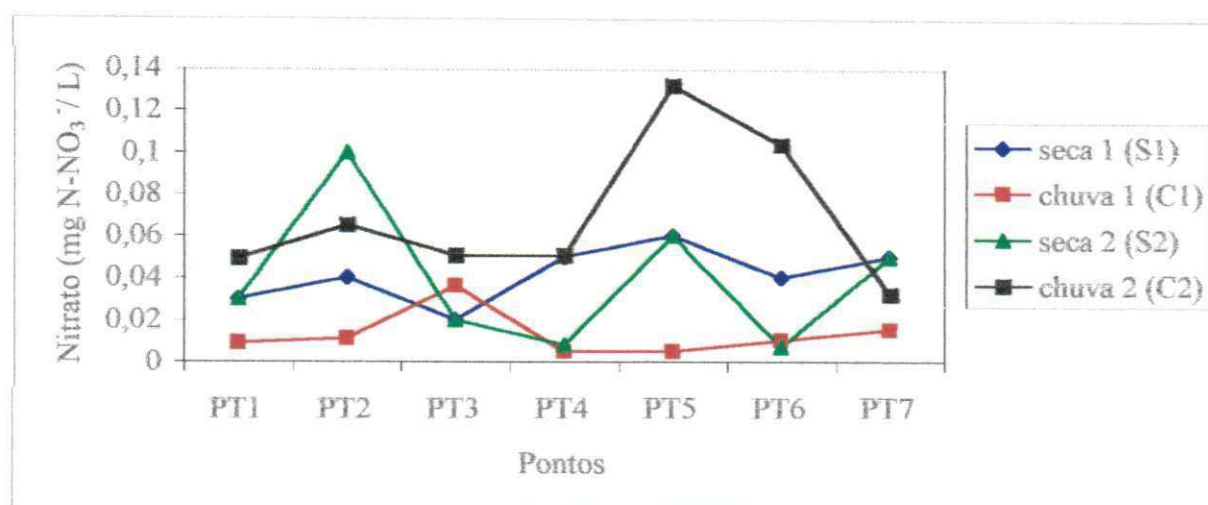


Figura 5.19 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de N-nítrico do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

Os pontos PT2 e PT5 foram os que apresentaram os maiores valores médios de nitrato (0,1 mg N - NO₃/L - S2) e (0,13 mg N - NO₃/L - C2).

5.2.11 - Ortofosfato solúvel

A Figura 5.20 mostra a distribuição espaço-temporal das concentrações médias de ortofosfato solúvel (mg PO₄³⁻/L).

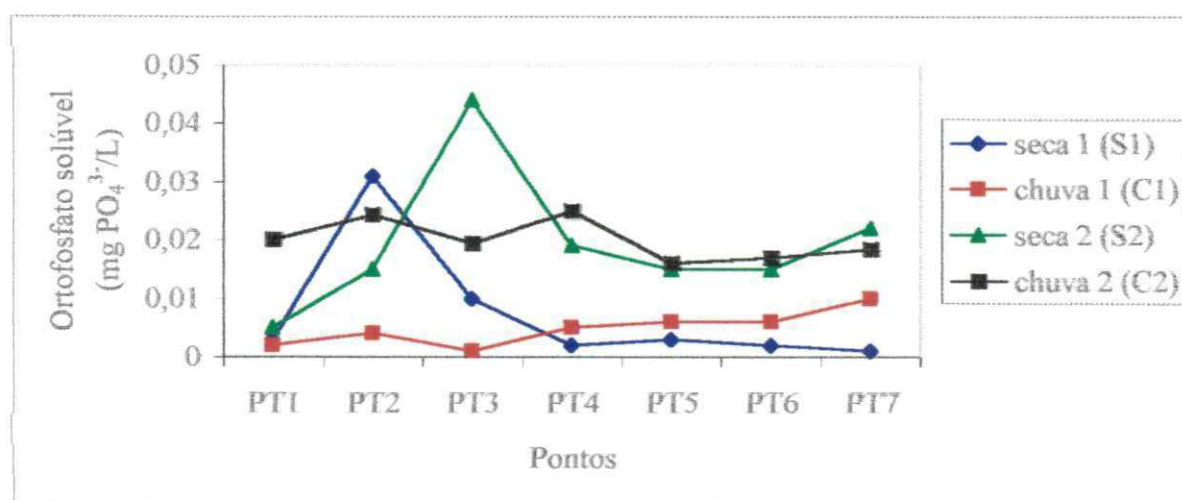


Figura 5.20 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de ortofosfato solúvel do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

Foi evidenciado que não houve uma variação acentuada desse parâmetro entre os pontos de coleta, exceto em PT2 na S1 e em PT3 na S2. O maior valor médio pontual ocorreu

em PT3 - 0,04 mg PO₄³⁻/L na seca 2 (S2) e o menor valor médio pontual de 0,001 mg PO₄³⁻/L em PT3 na chuva 1 (C1). Em todos os pontos ortofosfato apresentou concentrações baixas, com valor máximo medido para ortofosfato de 0,12 mg PO₄³⁻/L em PT3 - S2 e o mínimo de 0,0 mg PO₄³⁻/L em PT6 e PT7 (S1) (Tabela 2.11 - anexo 2).

Houve correlação significativa e positiva entre ortofosfato e cloretos em PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,710$) e PT7 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,628$), e negativa com a transparência no PT1 ($\alpha = 0,01$; $r = - 0,797$) e PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = - 0,927$). Estes pontos apresentaram os maiores valores de clorofila a e, provavelmente, os resultados citados expressam a incorporação do ortofosfato na biomassa dos organismos vivos.

De acordo com Vollenweider (1981), concentrações de fosfato de 0,02 mg/L não estimulam a floração de algas e concentrações menores que 0,03 mg/L indicam nichos ecológicos deficientes em fósforo e o tornam limitante. Segundo Sawyer *et al* (1994), o nível crítico para fósforo inorgânico em ambientes lênticos é em torno de 0,005 mg/L.

5.2.12 - Íons (Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, SiO₂⁻)

Os valores médios dos íons cloretos, sódio, potássio, cálcio e silicato encontram-se nas Tabelas 2.12 a 2.17 (Anexo 2). A Figura 5.21 mostra a distribuição espaço-temporal das concentrações médias de (a) cloretos; (b) sódio e (c) potássio.

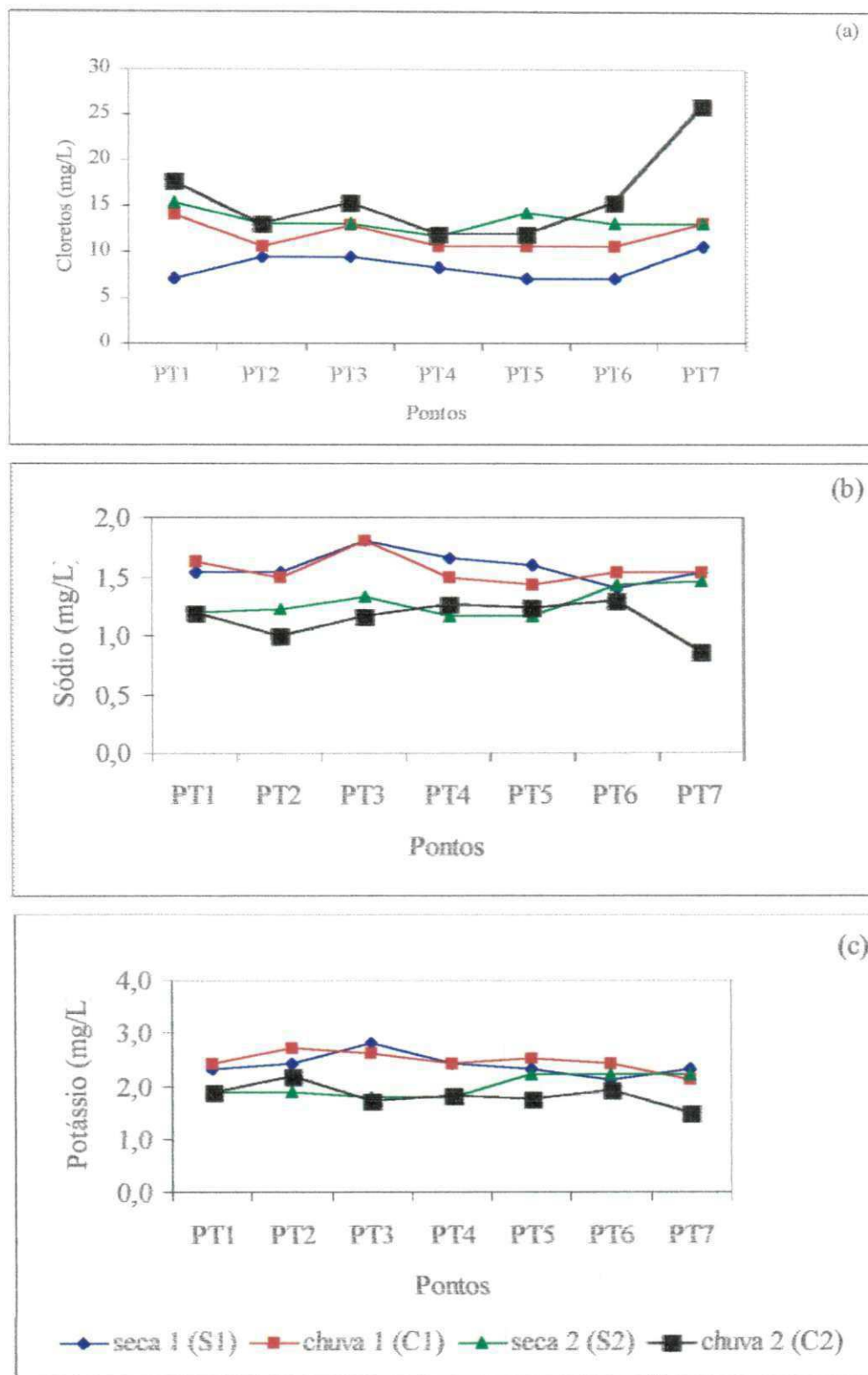


Figura 5.21 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de: (a) cloreto; (b) sódio e (c) potássio do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

A avaliação dos resultados de cloretos mostrou que suas maiores concentrações ocorreram no período de chuva (C2) e de sódio e potássio nas S1 e C1. O maior valor médio pontual de cloretos foi de 26,0 mg/L em PT7 na estação chuvosa (C2) (Tabela 5.13), enquanto que o menor foi de 7,1 mg/L, nos pontos: PT1, PT5 e PT6, na primeira estação seca (S1). Observa-se que os valores de cloretos foram maiores no ciclo (S2 + C2) quando comparados com o ciclo (S1 + C1).

Os valores de sódio e potássio não expressaram qualquer associação com precipitação pluviométrica, não havendo diferenças consideráveis entre os valores das estações secas e chuvosas. A concentração média de sódio nos pontos amostrados durante a estação seca (S1) foi igual a de C1 sendo pouco maior do que aquela medida durante a estação (S2) e (C2), porém, tal diferença foi pouco significativa. O maior valor médio foi 1,8 mg/L no PT3, nas estações (S1) e (C1) e o menor foi de 0,9 mg/L no PT7, estação chuvosa (C2). O potássio teve o maior valor médio de 2,8 mg/L no PT3, na estação S1 e o menor 1,5 mg/L em PT7, na estação C2. Em todos os pontos nas duas estações secas e chuvosas (S1 + C1 + S2 + C2) Foram observados correlações positivas entre sódio e potássio ao nível de significância de 0,01 (Tabelas 3.1 a 3.6, Anexo 3). Destaca-se o grande número de correlações positivas em que participam os ions cloreto, sódio e potássio com a turbidez.

A Figura 5.22 mostra as concentrações médias de: (a) cálcio e (b) silicato, para todas as épocas. Os valores pontuais de cálcio variaram entre um máximo de 26,0 mgCaCO₃/L (PT2 – C1), e um mínimo de 4,0 mgCaCO₃/L (PT1 – S1) (Tabela 2.15), com valores médios durante o estudo de 13,1 mg CaCO₃/L e 13,0 mg CaCO₃/L nas secas (S1 + S2) e 17,3 mg CaCO₃/L e 11,6 mg CaCO₃/L nas chuvas (C1 + C2).

A sílica, por sua vez apresentou valores próximos aos valores médios dos rios brasileiros. O maior foi de 7,7 mg SiO₂⁻/L (PT7), na estação chuvosa (C2) e o menor foi de 2,4 mgSiO₂⁻/L (PT1), na estação seca (S1). Sabe-se que existem modificações diárias rápidas no conteúdo de sílica das águas dos rios que se associam ao crescimento das diatomáceas (Wetzel, 1993).

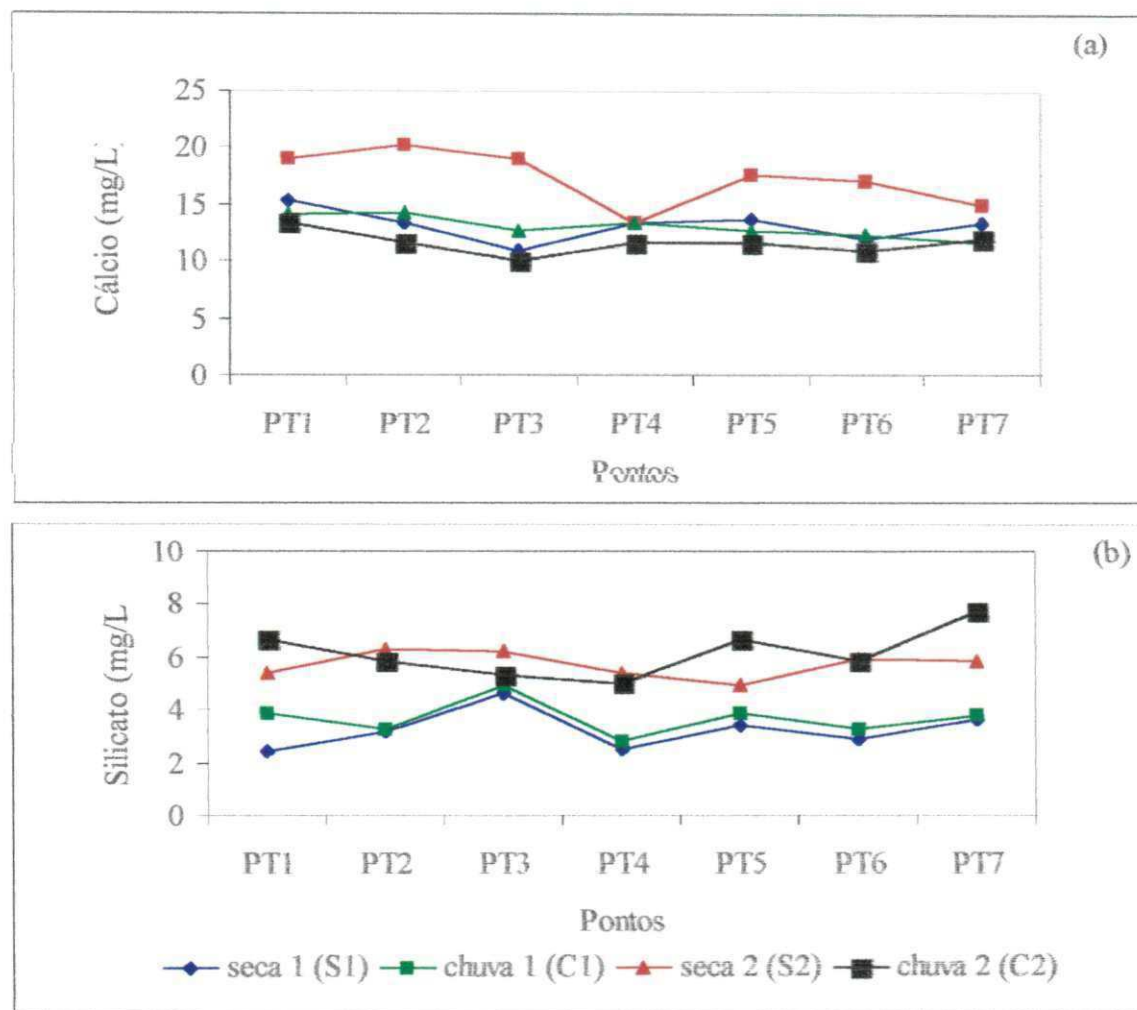


Figura 5.22 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de: (a) cálcio e (b) silicato do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paraná (TO), durante o período de mai/98 a mar/00.

5.2.13 - Alcalinidade total e dureza total

A Figura 5.23 mostra a distribuição espaço-temporal dos valores médios de alcalinidade total, durante o período estudado. O maior valor médio pontual da alcalinidade no rio Tocantins foi 48,7 mg/L (PT5), na estação de seca (S1) e o menor de 8,3 mg/L (PT6) na estação de chuva (C2). A alcalinidade foi, em geral, maior nas estações secas 38,2 e 35,1 mg/l para S1 e S2) respectivamente, do que nas estações chuvosas 33,7 e 12,0 mg/L para C1 e C2. Os valores de alcalinidade evidenciaram a pequena capacidade que as águas do rio Tocantins tem de tamponar variações do pH.

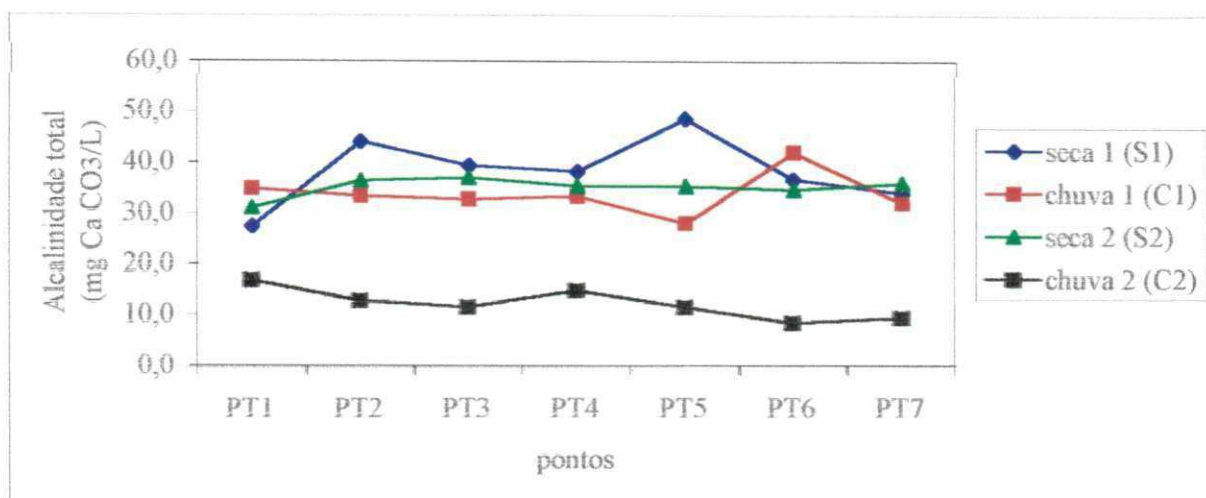


Figura 5.23 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de alcalinidade total no rio Tocantins no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

A alcalinidade apresentou correlação positiva com transparência e sódio no PT2 ($\alpha = 0,01$; $r = 0,710$) e ($\alpha = 0,01$; $r = 0,790$), temperatura e sódio no PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,655$) e ($\alpha = 0,05$; $r = 0,640$), clorofila *a*, sódio e potássio no PT4 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,588$), ($\alpha = 0,05$; $r = 0,625$), ($\alpha = 0,05$; $r = 0,611$). Isto pode ser explicado em função das localizações dos pontos de coleta que, como já observado, alguns se encontram a jusante de confluência de rios menores que aportam suas águas para o rio Tocantins.

A Figura 5.24 mostra a distribuição espaço-temporal dos valores médios de dureza total os quais foram relativamente baixos.

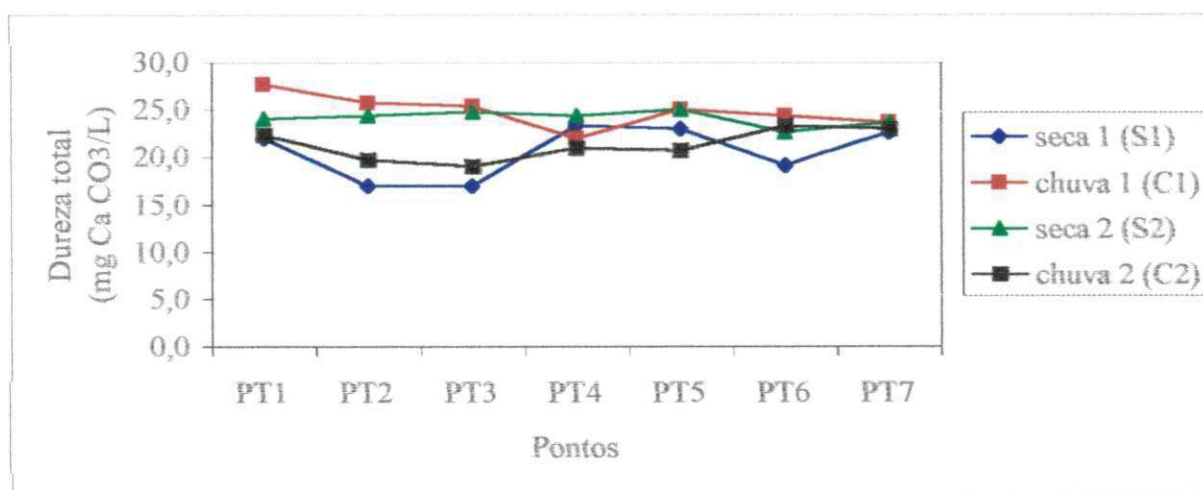


Figura 5.24 – Distribuição espaço-temporal dos valores médios de dureza total do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), durante o período de mai /98 a mar /00.

O maior valor médio foi 27,7 mg CaCO₃/L (PT1) na estação chuvosa (C1) e o menor 17,0 mg CaCO₃/L (PT2 e PT3) na estação seca (S1) (Tabela 5.19). O valor da dureza se manteve praticamente homogêneo, embora tenha sido verificado ausência de variações sazonais com valores médios para todo o rio de 20,6 e 24,1 mg CaCO₃/L nas secas (S1 e S2) e de 24,8 e 21,3 mg CaCO₃/L nas chuvas (C1 e C2). No primeiro ano de estudo foi observado que os maiores valores de dureza ocorreram na estação de chuvas, enquanto no segundo ano os maiores valores obtidos foram na estação seca.

A dureza total apresentou correlações significativas e positivas com sódio PT1 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,641$) e condutividade elétrica PT3 ($\alpha = 0,05$; $r = 0,614$). Também apresentou correlação significativa e negativa com a transparência nos pontos PT4 ($\alpha = 0,01$; $r = - 0,946$) e PT6 ($\alpha = 0,05$; $r = - 0,653$).

5.3. - Análise comparativa da qualidade da água nos pontos de amostragem no rio Tocantins (TO).

A análise comparativa dos valores médios das diferentes concentrações dos parâmetros analisados (temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, transparência, cor, OD, clorofila *a*, amônia, nitrato, ortofosfato, cloretos, sódio, potássio, cálcio, sílica, alcalinidade total e dureza total) em cada um dos pontos amostrados revelou que existiram diferenças significativas entre os pontos apenas para temperatura. Para os demais parâmetros a análise de variância mostrou que não houve diferenças significativas no comportamento de uma mesma variável ao longo dos quatro períodos (2 de seca e 2 de chuvas - S1 + C1 + S2 + C2). As Tabelas (4.1 a 4.17, Anexo 4) apresentam os resumos das análises de variância (ANOVA - fator único) onde verificou-se que o valor **F** obtido, com relação ao valor **F Tabela** ($F < F_c$), permite aceitar a hipótese nula, ou seja, que não existiram diferenças significativas entre os pontos em relação ao comportamento das concentrações médias dos parâmetros, exceto para temperatura, com um nível de confiança de 95 e 99%.

Tabela 5.6 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das médias dos valores de temperatura em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuva (mai /98 – mar /00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	42,580	6	7,097	5,414	0,00011	2,224
Dentro dos grupos	96,999	74	1,3108			
Total	139,579	80				

5.4.-Análise de comparação gráfica entre os pontos para temperatura.

A Tabela 5.7 contem, os valores das médias, variância e números de dados amostrais, relativos ao parâmetro temperatura estudado, para ANOVA de fator único. Apresenta também, os elementos S_{yi} e W úteis à determinação dos limites de confiança de 95% (L_{inf} e L_{sup}) das médias pelo método GT2, os quais indicarão se os diversos conjuntos serão iguais (ocorre intercessão de limites) ou significativamente diferentes. O resultado final da análise está ilustrado na Figura 5.21 e, nesta, observa-se que os valores médios deste parâmetro e dos seus respectivos intervalos de confiança são mapeados dando uma visualização rápida e bastante completa das comparações possíveis para a descrição do comportamento desse parâmetro nos diferentes pontos durante o conjunto das duas épocas de seca e as duas de chuva ($S1 + C1 + S2 + C2$).

Tabela 5.7- Elementos de análise de variância de fator único para os valores médios de temperatura dos pontos estudados no período de mai/98 a mar/00.

Pontos	n	Soma	Média	Variância	S_{yi}	W	L_{inf}	L_{sup}
PT1	11	287,8	26,2	0,709	0,34	0,731	25,4	26,9
PT2	12	315,6	26,3	0,842	0,33	0,709	25,6	27,0
PT3	12	314,4	26,2	0,747	0,33	0,709	25,5	26,9
PT4	11	292,1	26,6	0,605	0,34	0,731	25,8	27,3
PT5	11	295,4	26,9	0,709	0,34	0,731	26,1	27,6
PT6	12	333,9	27,8	2,813	0,33	0,709	27,1	28,5
PT7	12	336,2	28,0	2,578	0,33	0,709	27,3	28,7

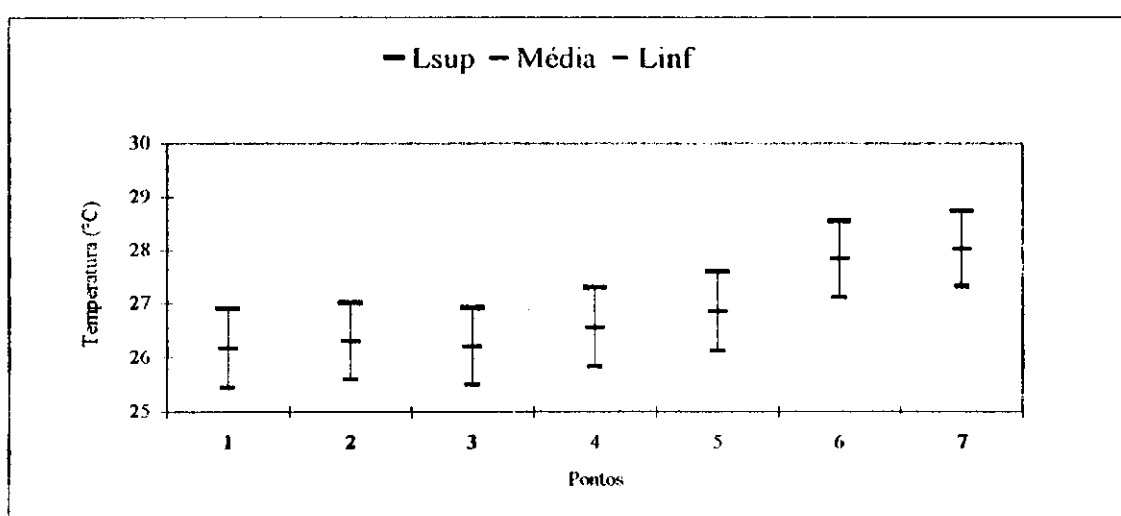


Figura 5.21 – Médias e limites de confiança de 95% (método GT2) de temperatura dos pontos estudados do rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), em 2 períodos de seca e 2 de chuva (mai /98 – mar /00).

A Figura 5.21, mostra a evolução das médias de temperatura nos diversos pontos da amostragem ao longo do trecho estudado no Rio Tocantins. As médias dos últimos pontos não apresentaram diferenças entre si, nem com relação às médias dos pontos PT4 e PT5, mas foram significativamente diferentes das médias dos dois primeiros pontos.

6 - DISCUSSÃO

Os dados de precipitação pluviométrica evidenciaram duas estações climáticas bem distintas durante o período de estudo para a região sul do Estado do Tocantins. Uma época, de chuvas, compreendida entre os meses de novembro e março e a outra, de seca, abrangendo o período de maio a setembro e típica pela precipitação baixa (Figura 5.2). Marengo *et al.*, (1993) usaram dados pluviométricos da Amazônia fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, com maior resolução espacial, para mapear início, fim e extensão da estação chuvosa. De acordo com os resultados, no Leste da Amazônia o início da estação chuvosa ocorre entre meados de setembro e início de outubro. Em geral, estas datas concordam com os dados das séries históricas da estação meteorológica localizada no município de Peixe (TO), que fica a aproximadamente 100 - 150 km dos pontos estudados.

Segundo Payne (1986) a abordagem chuva x seca representa o principal fator associado a sazonalidade em ecossistemas aquáticos em especial nas regiões tropicais onde há situações extremas de muita chuva e de muita seca. Margalef (1976), verificou que o fluxo d'água desempenha papel decisivo no transporte de organismos e no aporte ou retorno de nutrientes.

Dentre as características físicas e químicas da água, a temperatura foi um parâmetro que apresentou variabilidade significativa ao longo do período amostrado (mai /98 a mar /2000). Os demais parâmetros não apresentaram estas diferenças conforme pode ser observado pelos resultados dos testes estatísticos aplicados ($F < F_c$). O pH médio do rio Tocantins, mostrou-se levemente básico (7,2). Estes valores são típicos de corpos d'água naturais nos

nos quais não ocorre lançamento de efluentes industriais ou domésticos (von Sperling, 1998), e se encontra na faixa da maioria dos rios continentais. Carvalho, (1997) estudando a sub-bacia do Ribeirão Lajeado, tributário do rio Tocantins, no médio Tocantins, observou que o pH variou entre 6,4 e 7,8 e que o pH mais elevado foi no período de seca. Frota *et al.* (2000) avaliaram qualitativamente o rio Guaribas (PI) e obtiveram valores de pH entre 6,8 e 8,3. A variação dos valores obtidos em cada estação de amostragem e durante o período do estudo permitiu verificar que as flutuações dos valores medidos foram relativamente pequenas entre as estações de chuvas e secas. Os valores de pH no rio Tocantins apresentaram-se discretamente mais baixos durante a estação das chuvas. Segundo Cole (1979), as chuvas aumentam a concentração de gás carbônico livre na água graças ao carreamento desse gás livre da atmosfera e dos solos com alto componente orgânico para os corpos d'água naturais. Com a diminuição das chuvas era de se esperar um aumento do pH por conta da diminuição do gás carbônico livre cuja principal fonte é a chuva. Por outro lado o aumento do processo fotossintético em função do aumento da temperatura refletiu no aumento do pH. De fato os maiores valores de pH foram (PT6 e PT7) que registraram as temperaturas mais elevadas nas épocas de secas e de chuvas.

De uma maneira geral, os valores de condutividade elétrica foram relativamente baixos em todos os pontos apresentando um valor médio de 64,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas épocas de seca e 63,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas chuvas. Frota *et al.* (2000), no seu estudo na bacia do rio Guariba (PI) observaram diminuição da condutividade com a chegada das chuvas com valores de 130 a 875 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$. No rio Tocantins os maiores valores foram encontrados em época de chuvas. Almeida (1999), estudando as variações nictemerais em períodos de estiagem em dois trechos da microbacia do Ribeirão Taquarussú Grande na região do entorno de Palmas (TO) encontrou valores de condutividade variando entre 27,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 32,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores mais elevados no rio Tocantins podem estar associados a maior turbulência das águas onde há muita corredeira no trecho sob estudo que aumenta o poder de erosão e dissolução das rochas. Maier (1987), registrou fato semelhante e atribuiu o aumento da condutividade em um trecho do Rio Jacaré Pepira (SP) às inúmeras cachoeiras existentes próximas e a montante do ponto de coleta. Uma referência de condutividade para água "limpa" foi estudado por Costa *et al.* (1995) no rio Gravataí (RS), tendo sido obtido valores entre 70 e 105 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na área em estudo no presente trabalho todos os pontos medidos aproximam-se a esses valores. A

os rios da Amazônia. Em função deste parâmetro e segundo classificação deste pesquisador o rio Tocantins é de águas brancas no trecho (PT1 a PT4) e de águas claras no trecho (PT5 a PT7).

Sperling (1997) comenta que águas tropicais brasileiras apresentam valores baixos de transparência, particularmente nos ambientes lênticos, onde esta pode atingir valores entre 0,2 e 2,0 m e que geralmente são superiores à dos ambientes lóticos. Ressalta também que transparências superiores a 2,0 m raramente são encontradas no Brasil e mesmo assim, estas somente ocorrem nos períodos de estiagem em bacias hidrográficas de solos poucos erosíveis. Em função dos resultados obtidos no rio Tocantins (transparência média de 1,2 m nas secas e 0,9 m nas chuvas) pode-se dizer que os valores se aproximam do referencial citado por Sperling (1977). Os menores valores de transparência no rio Tocantins foram (PT2 e PT3), possivelmente por estarem próximos das confluências dos rios Cana-Brava e Mucambão respectivamente, onde a carga de material em suspensão, tanto orgânica como inorgânica, é maior do que nos demais pontos (Figura 4.5 e 4.6). No rio Tocantins os valores encontrados para turbidez foram sempre crescente no sentido do Ponto PT1 ao PT7. A produção de sedimentos numa bacia hidrográfica tende a diminuir de montante para jusante devido ao fato de que os rios nascem e se escoam no seu alto curso em regiões montanhosas, de mais fortes declives e de maiores precipitações, produzindo maior quantidade de sedimentos por área da bacia (Carvalho e Cunha, 1998). Por outro lado, quando o curso médio ou baixo curso do rio está desprotegido, a erosão aumenta e com isso são observados valores mais elevados de turbidez (Carvalho e Cunha, 1998). Algumas estações de coleta, no rio Tocantins (TO) apresentaram flutuações possivelmente por se tratarem de braços de rios, indicando que a carga de material em suspensão, tanto orgânica como inorgânica nesses pontos foi maior do que nos demais pontos. A constituição da bacia de drenagem associado à retirada da vegetação ciliar ao longo do trecho estudado podem ter influenciado nos processos erosivos (Figuras 4.8 e 4.9), aumentando o fluxo de substâncias orgânicas e inorgânicas para o interior do rio, reduzindo a transparência devido ao assoreamento e degradação da qualidade da água. Isto ficou refletido no aumento de turbidez ao longo do rio.

A distribuição dos nutrientes nitrogenados e ortofosfato solúvel variou muito pouco no corpo d'água. As concentrações desses nutrientes foram baixas, Esteves (1998), afirma que os ecossistemas aquáticos de regiões tropicais possuem, de modo geral, baixas concentrações de nutrientes dissolvidos devido à rápida assimilação associada com as temperaturas elevadas, a

menos que estejam localizados em áreas muito férteis ou sejam ambientes sujeitos a fortes processos de eutrofização artificial. Tanto os nutrientes nitrogenados como o ortofosfato apresentaram associação baixa com o ciclo hidrológico (Figuras 2.13, 2.14 e 2.15). De fato as concentrações destes nutrientes se aproximam dos lagos oligotróficos. Segundo Vollenweider (1981), valores de até 40 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total são limitantes para condição de lago oligotrófico. O conceito de nutriente limitante está associado com o metabolismo de plantas aquáticas, algas e cianobactérias ou seja o nutriente que controlará a quantidade máxima de biomassa é aquele que se esgota em primeiro lugar ou atinge um valor mínimo antes dos outros elementos envolvidos no processo. O papel das macrófitas em decomposição e a ciclagem de nutrientes aquáticos tropicais vem sendo estudados por vários autores. Salas e Martino (1991) concluíram que ambientes tropicais suportam maiores cargas de fósforo devido à rápida reciclagem de nutrientes associada principalmente às temperaturas. A relação N/P proposta por Vollenweider (1981) para o fitoplâncton é 9:1. Assim, os lagos ou bacias com relação de N e P superiores a 9 são considerados como potencialmente limitados por fósforo, enquanto aqueles cuja relação é inferior a 9, são limitados por nitrogênio. No rio Tocantins, a relação média entre estes nutrientes foi de 9,2 no primeiro ano de coleta e de 12,7 no segundo ano, caracterizando o fósforo como elemento limitante da atividade biológica.

O padrão de variação do ortofosfato solúvel foi similar nas duas épocas de secas e de chuvas. O valor pontual médio mais elevado de ortofosfato ocorreu (PT3) (0,04 mg P/L) na seca 2 (S2), provavelmente devido à elevação da biomassa fitoplancônica, levando a uma maior decomposição e liberação deste nutriente para o meio e o menor valor ocorreu no ponto PT7 (0,001 mg P/L) na seca 1 (S1).

Quanto às formas de nitrogênio, (PT3) foi o que apresentou o maior valor médio de N-amoniacal em estação chuvosa (C2) (0,62 mg N-NH₃/L) e (PT5) o maior de nitrato no período de chuva (C2) (0,13 mg N-NO₃/L). Os maiores valores na época de chuvas podem ser atribuídos às águas de escoamento superficial das áreas agrícolas fertilizadas com adubos orgânicos e a presença de gado, na bacia hidrográfica. Chamam a atenção o aumento das concentrações médias de amônia e nitrato crescentes ao longo dos dois anos de estudo no rio Tocantins: 0,06 mg N-NH₃/L primeiro período de seca (S1: mai 98 a set 98) e 0,15 mg N-NH₃/L no segundo período de seca (S2: mai 99 a set 99). No primeiro período de chuva (C1: nov 98 a mar 99) foi de 0,05 mg N-NH₃/L enquanto no segundo período de chuva (C2: nov 99 a mar 00) foi 0,36 mg N-NH₃/L. Araújo, (2000) encontrou nas margens do açude Jereissate

(CE) valores de 0,15 mg N-NH₃/L e 0,9 mg N-NO₃⁻/L e afirmou que a principal causa é atribuída a presença de gado na bacia hidrográfica do reservatório, sendo fonte de fósforo, nitrogênio e de microrganismos patogênicos. Embora os valores no rio Tocantins tenham aumentado ao longo dos anos, as concentrações destes nutrientes não indicam a ocorrência do processo de eutrofização do corpo aquático na época deste estudo.

O teor de oxigênio dissolvido varia de um curso d'água a outro e ao longo do próprio rio devido às alterações em suas características e, como consequência das condições climáticas. O ambiente mostrou-se relativamente bem oxigenado, com uma concentração de oxigênio dissolvido variando entre 6,0 mg/L no (PT1 - S2) (73% da saturação) e 8,2 mg/L no (PT7 - C1) (108% da saturação). Estas concentrações além de evidenciarem boa oxigenação, refletem escassa poluição orgânica, visto que a oxidação da matéria orgânica consome oxigênio. Foi observada pequena diferença entre os valores medidos durante as estações de seca e de chuvas sendo pouco maiores nas chuvas.

Outro fator a ser considerado é que os conteúdos de clorofila *a* aumentaram no período de chuvas (valor médio de 9,9 µg/l) sugerindo maior disponibilidade de nutrientes, apesar dos valores mais baixos de transparência e maior concentração de material suspenso nesta época. Isto talvez possa ser explicado pelo aumento da concentração de sílica que estaria presente nas diatomáceas. Também, ao contrário do que se observou no rio Tocantins, Espíndola (1990), estudando a comunidade fitoplanctônica da Lagoa Albuquerque (Pantanal Matogrossense), associou o aumento da biomassa fitoplanctônica principalmente ao aumento da densidade de diatomáceas encontrando maiores conteúdos de clorofila *a* na seca. Carvalho (1983), estudando um lago de várzea da Amazônia constatou que na época de seca havia um aumento na disponibilidade alimentar em decorrência do aporte de material alóctone proveniente das áreas inundadas, o qual era incorporado e enriquecia o sistema, favorecendo o aumento da biomassa fitoplanctônica, atribuindo a diminuição no período de cheia ao fator diluição que ocorre no sistema. A distribuição espaço – temporal de clorofila *a* no rio Tocantins não foi homogênea. Os pontos PT4 e PT6 foram os que apresentaram as menores concentrações (2,2 µg/l e 1,4 µg/l respectivamente), o que pode ser associado provavelmente pelos fatores interferentes no processo de transição do rio de áreas de remanso para corredeira. Os maiores valores foram no PT1 (38,8 µg/l) na chuva (C2). De fato neste ponto foram evidenciados baixos valores de nutrientes, principalmente N e P, indicando uma maior

assimilação pelo possível desenvolvimento e crescimento de macrófitas que teriam incorporado fosfato e nitrato.

A alcalinidade total e a dureza total foram baixas, expressando baixas concentrações de bicarbonatos e carbonatos, assim como dos principais cátions responsáveis pela formação dos sais de cálcio e magnésio. Para alcalinidade total foi observado um padrão sazonal de flutuação nas estações de seca e chuvas. A alcalinidade, durante a estação seca, foi maior do que aquela medida durante a estação das chuvas, indicando que a elevada evaporação aumentou a concentração de carbonatos. Entretanto, a dureza total não teve o mesmo comportamento, não apresentando qualquer variação entre época seca e chuvosa, provavelmente devido às baixas concentrações de cálcio e magnésio. O valor da concentração de cálcio encontrado no rio Tocantins foi baixa (13,0 mg/L), quase 50% dos valores médios de rios sul-americanos, de 21,0 mg/L. No entanto, se aproxima um pouco da concentração dos corpos d'água da região amazônica de 7,7 mg/L (Esteves, 1998). Carvalho (1997), estudando o Ribeirão Lajeado (TO) encontrou valores de dureza entre 0,2 a 13,0 mg/L.

Efetivamente, as concentrações de cálcio, sódio, potássio e cloretos, confirmaram os baixos teores destes íons, que já eram previsíveis pela baixa condutividade elétrica. Lima e Lima (2000), estudando os açudes Pacajus, Pacoti-Riachão e Gavião, no Ceará, concluíram que, a concentrações de sais nas águas tem relação com a precipitação. Isto se pode associar ao fato que com as chuvas, há grande aporte de sais para dentro dos mananciais, provenientes da erosão e lixiviação do solo. Oliveira *et al.* (2000), constataram no rio Mossoró (RN), que a qualidade da água é fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas e formações geológicas nos diferentes trechos. Comparando-se as médias dos principais cátions e ânions dos rios amazônicos, observa-se semelhança dos valores para os íons de sódio, potássio e cloretos (Tabela 3.1). Carvalho (1997), também encontrou valores semelhantes de cloretos no Ribeirão Lajeado (TO). Segundo Esteves (1998), as águas da região amazônica apresentam diferenças nas concentrações dos principais cátions e ânions, resultantes das peculiaridades da geologia regional. Assim, os rios que drenam a região periférica ocidental e os lagos localizados na sua várzea, apresentam as maiores concentrações de cátions e ânions. As fontes de íons destes corpos d'água residem no intemperismo da cordilheira dos Andes que, por ser ainda jovem (terciária), pode fornecer grandes quantidades de cátions e ânions. Em relação a sílica, esta foi praticamente uniforme. Os valores encontrados foram equivalentes aos valores médios dos rios brasileiros. Os resultados obtidos não alteram suas características de classe 2.

Com relação aos outros parâmetros de qualidade da água (Tabela 4.2), são citados na Resolução do CONAMA (20/86), apenas temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, OD, N-amoniaco, N-nítrico, ortofosfato solúvel e cloretos. No trecho do rio Tocantins os valores observados destes parâmetros foram inferiores aos limites máximos permissíveis, não constituindo risco de saúde pública para a população que utiliza dessas águas. O trecho estudado enquadra-se na Classe 2 da citada Resolução. Portanto, é uma água que pode ser destinada ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, a recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas, irrigação e cultivo de peixes, hortaliças e frutas rentes ao solo.

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste trabalho permitiram concluir que:

- as águas do rio Tocantins, no trecho de 83 km entre as confluências dos rios Cana – Brava e Paranã apresentou excelente qualidade física, química e microbiológica¹ enquadrando-se dentro dos padrões estabelecidos para águas de Classe 2 (CONAMA n°20/86).
- o trecho do rio Tocantins, avaliado neste estudo não apresenta níveis críticos de eutrofização, visto que os teores médios de ortofosfato (0,01mg/l), nitrogênio amoniacal (0,15mg/l) e clorofila *a* (9,6µg/l) não se enquadram no nível “eutrófico” usando-se a classificação dos lagos, embora se observasse tendência do aumento das concentrações de nutrientes (amônia e nitratos) ao longo dos dois anos estudados. Essa tendência seria decorrente das atividades agrícolas implantadas na bacia e de alguns lançamentos de esgotos domésticos provenientes de seus três principais afluentes neste trecho: os rios Cana-Brava, Mucambão, e Paranã, que atravessam áreas sob influência antrópica;
- os pontos PT2, PT3 e PT7, por estarem em braços de rios apresentaram maior carga de material em suspensão, tanto orgânica como inorgânica em relação aos demais pontos, apresentando variabilidade espacial principalmente de turbidez, transparência, cor entre outros parâmetros;

¹Informação pessoal da Profa. Dr^a Paula Benevides
Curso Engenharia Ambiental
Universidade do Tocantins

- houve relação direta entre ciclo hidrológico da bacia e a variação da concentração de cloretos nas águas do rio Tocantins. As flutuações maiores ocorreram no segundo período de chuvas (C2: nov/99 a mar/00)
- a análise de variância (ANOVA - fator único), em conjunto com o método GT2 mostraram que apenas a temperatura teve diferenças significativas entre os pontos amostrados durante os quatro períodos de seca e de chuvas;
- dada a falta de dados prévios à construção da UHE Serra da Mesa, não é possível avaliar neste trabalho a influência da mesma sobre a qualidade da água do rio Tocantins a jusante.

Visto a importância do rio Tocantins no contexto da política e gestão dos recursos hídricos nacionais recomenda-se:

- redirecionar e dar continuidade no programa de monitoramento deste trecho do rio, a fim de avaliar o efeito da UHE Serra da Mesa na qualidade dessas águas;
- estender o presente estudo para outros trechos do rio Tocantins;
- gerar um banco de dados da qualidade das águas dos rios da região Norte, que contemple também dados de vazão e precipitação pluviométrica;
- com base nos resultados anteriores, estabelecer políticas de uso e ocupação do solo na bacia do rio Tocantins, para fins de geração de energia elétrica e usos múltiplos, criando limitações para usuários já estabelecidos;
- implementar ações conjuntas entre os setores de saneamento, recursos hídricos e meio ambiente do Estado, visando a recuperação das matas ciliares e adoção de outras medidas de proteção ao longo do trecho estudado.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. D. G. (1999). **Variações nictemerais em período de estiagem em dois trechos da micro-bacia do Ribeirão Taquarussú Grande – Região do entorno de Palmas (TO).** (Monografia de graduação em Ciências Biológicas. Universidade do Tocantins). Porto Nacional. (TO). 57p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) (1995). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition.** Washington, D. C., 1155 p.

ARAÚJO, J. C. (2000). Riscos de eutrofização de pequenos açudes no semi-árido. In: **V Simpósio Nacional de Recursos Hídricos.** ABRH. Natal RN Anais. P.214 – 221.

ARRUDA, P. R. R. (1977). **Uma contribuição ao estudo ambiental da bacia do Ribeirão São Bartolomeu.** (Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa). Viçosa – Minas Gerais. 108 p.

BRANCO, S. M. (1991). A água e o homem. In: **Hidrologia Ambiental.** (Org) Rubem la Laina Porto. EDUSP.v.3 1^a ed. São Paulo. p. 4 -22.

BRANCO, S. M., ROCHA, A. A (1977). **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas.** Edgard Blücher Ltda. CETESB, São Paulo, 185 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria Geral, Projeto RADAMBRASIL. Carta SC 22 – Tocantins. Rio de Janeiro, 1981 524 p.

_____. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria Geral, Projeto RADAMBRASIL. Carta SD 22 – Goiás. Rio de Janeiro, 1981 640 p.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – Mapa do Tocantins, 1993.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Geografia do Brasil** – Região Centro – Oeste, 1977.

CEBALLOS, B. S. O. (1995). **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. (Tese de Doutorado – Instituto de Ciências Biomédicas II da Universidade de São Paulo). São Paulo, SP, 192p.

CARLSON, R. E (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-80.

CARVALHO, M. L. (1983). Efeitos da flutuação do nível da água sobre a densidade e composição do zooplâncton em um lago de várzea da Amazônia, Brasil, **Acta Amazônica**, 13 (5/6): 715-724.

CARVALHO, A. de Paula (1997). **Diagnóstico da influência dos diferentes usos do (solo e água) sobre a qualidade da água do Ribeirão Lageado**. (Monografia de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental – Universidade do Tocantins). Palmas, (TO). 101p.

CARVALHO, N. O. & CUNHA, S. B. (1998). Estimativa da carga sólida do Rio Amazonas e seus principais tributários In: **Água em Revista**. CPRH Ano VI N. 10 P.47.

CHRISTÓFIDIS, D. (1999). Situação das áreas irrigadas. Métodos e equipamentos de irrigação – Brasil. In: **Anais do ciclo de palestras da Secretaria de Recursos Hídricos 1997 - 1999**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília DF. , p. 31

COLE, G. A. (1979). **Textbook of limnology**. St.Louis: The G. V. Mosby Company. (2ª ed.) 426 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do CONAMA, 1984/91**. 4ª ed. Brasília, IBAMA, 1992. 245 p.

COSTA, A U; NORBERTO, L. D; LUIZ. F. Z, ODILON C. (1995). Metodologia geofísica para detecção de contaminação de águas subterrâneas: Caso do lixão da estrada da palha. In: **Água em Revista**. Ano III Número 6 – nov, p. 29.

DACACH, N. G. (1975). **Sistemas urbanos de água** Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 389p.

Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).(1985). **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Ministério das Minas e Energia. Brasília. DF.**

DUSSART, G.B.J. (1966). The ecology of the fresh water molluscs in North England in relation to water chemistry. **Journal of Molluscan Studies**, 42(2). p.181-198.

ELETROBRÁS, (1995). **Plano Decenal de Expansão (1995 – 2004)**. Grupo coordenador de planejamento dos sistemas elétricos. Rio de Janeiro, RJ. 230p.

ESTEVES, F. A (1998). **Fundamentos de limnologia**. Interciência, FINEP, Rio de Janeiro, RJ. 575 p.

ESTEVES, F. A; BARBOSA, F. A R. (1986). Eutrofização artificial: a doença dos lagos. **Ciência Hoje**, 27:57-61.

ESTEVES, F. A (1988). Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. **Acta Limnol. Brasil.**, 2: 3-28.

ESPÍNDOLA, E. G. (1990). **Efeito da dinâmica hidrológica do sistema Pantanal Matogrossense sobre as características límnicas da Lagoa Albuquerque (Pantanal do Paraguai, Mato Grosso do Sul)**. (Dissertação de Mestrado. EESC/USP).São Paulo -SP 183p.

FILIZOLA Jr., N. P. (1999). **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia amazônica brasileira**. Brasília, DF: ANEEL.

- FROTA, D. M; GIL, M. M. L; RAMALHO, A, C; VIEIRA, V. C. B. (2000). Qualidade da água superficial da bacia do rio Guaribas. In: **V Simpósio Nacional de Recursos Hídricos**. ABRH. Natal RN. Anais. 642p.
- GIBBS, R. J. (1967). The geochemistry of the Amazon River system: part I. The factors that control the salinity and the composition of the suspended solids. **Geological Society of America Bulletin**, V. 78. n 10 p. 1203 – 1232.
- GOLTERMANN, H. L.; CLYMO, R. S., OHNSTAD, M. A. M (1978). **Methods for physical and chemical analysis of fresh waters**. Oxford, Blackwell Science, Publications. International Biological Program handbook. (2ª edição). N.8 213 p.
- GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS.(1999). **Atlas Geográfico do Estado do Tocantins**. SEPLAN. 49p.
- HAMMAD, H. Y. (1972). **Riverbed degradation after closure**. J. Hydraul Div. Am. Soc. Civ Engs. N. York, 4:20 – 3
- HORIBA. (1991). **Water Quality Checker**. HORIBA . Miyano Higashi, Kisshoin, Minami-Ku, Kyoto. Japan
- JONES, J. G. (1979). A guide to methods for estimating microbial number and biomass in fresh waters. London, **Fresh waters Biological Association**, N.39, 112 p.
- LIMA, L. C. T. & LIMA, H. V. C. (2000). A sazonalidade da qualidade hídrica e a relação entre pluviometria e concentrações de sais. In: **V Simpósio Nacional de Recursos Hídricos**. ABRH. Natal RN. Anais. 642p.
- LOPES, U. B., SANTOS, U. B. & RIBEIRO, M. N. G. (1983). Limnologia química do Lago do Arroz ilha do Carreiro, nas flutuações em função do meio hídrico do Rio Amazonas. **Acta Amazônica**, 13 (2): 227-253.
- MAIA NETO, R. F. (1997). Água para o desenvolvimento sustentável In: **Água em Revista**. CPRM ano V n. 9 p.21-31

- MAIER, M. H. (1987). **Ecologia da bacia do rio Jacaré – Pepira** (47°55' – 48°55'w; 22°30' – 21°55' – Brasil). Qualidade da água do rio principal. *Ciência e Cultura* 39(2) : 164 – 185.
- MAIER, M. H. (1978). Estudo limnológico de um trecho do rio Mogi-Guaçu I. Características físicas. *Boletim Instituto de Pesca*, 5(2): 91 – 107; Dez.
- MARENGO, J. DRUYAN, L.; HASTENRATH, S. (1993) **Observational and modelling studies of Amazonian internal climate variability** In: *Clim. Change*, 23, p. 267 – 286.
- MARGALEF, R. (1976). **Limnologia de los embalses espanholes**. Direccion General de Obras Hidráulicas. Dep. de Ecologia de la Universidade de Barcelona, 423 p.
- MARGALEF, R. (1981). Características de las aguas de represas como indicadores del estado de los ecossistemas terrestres de las respectivas cuencas. In: **Reunião sobre ecologia e proteção de águas continentais**. São Carlos, São Paulo, OEA/UNESCO/MAB/USP, 1981, Anais, p. 39 – 109.
- MEADE, R. H. (1985). Suspended sediment in the Amazon river and its tributaries in Brazil during 1982 – 84. V. S. **Geological Survey Open – File Report**, p. 85 – 492. Denver, Colorado.
- MEYBECK, M. (1990). Global fresh water quality: A first assessment. In: **MEYBECK, M.; CHAPMAN, D. V.; HELMER, R.**, Eds. Cambridge, Massachusetts, Blackwell, 306p.
- MOLINIER, M. (1994). Hidrologia da Bacia do Amazonas. In: **Água em Revista**. CPRM. Ano II. n.3 p.31 – 35.
- NOBRE, C. A.; Selles, P. J.; SHUKLA, J. (1989). Impactos climáticos do desmatamento da Amazônia. **Climanálise – Boletim de monitoramento e análise Climática**, 4 (9), 44 – 55.
- NOGUEIRA, E. M. B. (1989). **Importância das macrófitas aquáticas *Eichhornia azurea* kunth e *Scirpus cubensis* Poepp. e Kunth na ciclagem de nutrientes e nas características limnológicas da Lagoa do Infernã (SP)**. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos). São Carlos, São Paulo. 147p.

- NOGUEIRA, M. G. (1990). **Dinâmica das populações planctônicas e fatores físico-químicos de um pequeno sistema artificial raso (Represa do Monjolinho, São Carlos, São Paulo)**. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos). São Carlos SP, 244p.
- ODUM, E. P. (1971). **Fundamentos de ecologia**. Fundação Calouste Gulbenkian, 4ª ed. 927p.
- OLIVEIRA, M; SILVA, F. N; MAIA, C. E. (2000). Variação nas características físico-químicas da água do rio Mossoró em diferentes épocas do ano. In: **V Simpósio Nacional de Recursos Hídricos**. ABRH. Natal RN. 2000 Anais. 642p.
- PAYNE, A. I. (1986). **The ecology of tropical lakes and rivers**. Chi Chester, John Wiley & Sons, 301 p.
- PORTO, M. F. A. (1991). Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição In: **Hidrologia Ambiental**. (Org) Rubém La Laina Porto. EDUSP v.3. 1ª ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH. São Paulo, SP. p. 375 – 387.
- PORTO, M. F. A; BRANCO, S. M; LUCA, S. J. (1991). Caracterização da qualidade da água In: **Hidrologia Ambiental**. (Org) Rubém La Laina Porto EDUSP. V.3. 1ª ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. São Paulo, SP. p. 27 –66.
- RAMIRO, F. M. N. (1997). Água para o desenvolvimento sustentável. In: **Água em Revista**. CPRM ano V, N.9 p. 21 – 32
- REBOUÇAS, A. C. (1997). **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Instituto de Estudos Avançados. 11 (29), p 127 –154.
- REBOUÇAS, A. C. (1999). Água doce no Mundo e no Brasil In: **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Org. e Coordenação Científica Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi. Escrituras editora, São Paulo. p. 198 – 220.
- SALAS, H. J; & MARTINO, P. A. (1991). Simplified phosphorus trophic state model for warm– water tropical lakes. **Water Research**. V.25. N.3 p. 341 – 350.

- SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. (1999). Água e o desenvolvimento sustentável In: **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Org. e Coordenação Científica Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi. Escrituras Editora, São Paulo. p. 39 – 47.
- SANTOS, U. M. (1980). Aspectos limnológicos do Lago Grande do Jutai (Amazônia Central), face as alterações químicas do meio hídrico da região. *Acta Amazônica*, 10(4): 797-822.
- SAWYER, C. N.; Mc CARTY, P. L.; PARKIN, G. F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering** 4th edition. New York. McGraw-Hill Book Company, 658p.
- SIOLI, H. (1984) The Amazon and its main affluents: hydrograph, morphology of the river courses, and river types. In: **H Sioli, (ed) The Amazon – Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**: Monographiae Biologicae. Junk, Dordrecht, p. 127 – 165.
- SOKAL, R. R.; ROHF, F. J. (1981). **Biometry: The Principles and Practice of statistics In: Biological Research**. 2nd edition. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- SPERLING, E.von. (1999). **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (DESA)/Universidade Federal de Minas Gerais, 138p.
- SPERLING, E.von. (1997). O real significado da transparência na avaliação da qualidade da água de lagos e represas, In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 19, Foz do Iguaçu – PR, ABES. 1997. Anais.
- TAVARES, J. L., CEBALLOS, B. S. O., KÖNIG, A., ALBUQUERQUE, F., Góis, R. S. S. (1988). Interferência de fatores hidrológicos na qualidade da água de uma represa do trópico semi-árido (Sapé – PB – Brasil). In: **CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**. 26, Lima – Peru. 1998. Anais: AIDIS
- TUCCI, C. E. M. (1993) **Hidrologia ciência e aplicação**. Editora da Universidade: ABRH/EDUSP. Porto Alegre, 943p.

- TUNDISI, J. G. (1988). Impactos ecológicos da construção de represas: **Série Monografias em Limnologia**. Academia de ciência, v1 . USP, São Carlos, SP.
- TUNDISI, J. G. (1999). Limnologia no século XXI: Perspectivas de desafios. São Carlos. 7º **Congresso Brasileiro de Limnologia – SBL**, Florianópolis, SC. 1999. 24p.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. (1999). Limnologia de águas interiores In: **Águas Doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Org. e Coordenação Científica Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi. São Paulo: Escrituras Editora, p. 65 a 68.
- VIEIRA, J. F. & MORAIS, L. A. (1976). Qualidade das águas – Eutrofização. Rio de Janeiro: saneamento – **Revista Técnica e Informativa do DNOS**, anos 30, 5 (02) p. 94-103.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1968). **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. Paris: Rep. Org. for Economic Cooperation and Development. 61p.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1981). Eutrophication – A global problem. **Water Quality Bulletin** 6: 59-62.
- Von SPERLING, M. (1998). Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos In: **Água em Revista**. CPRH. Vol. 3. n.1 p.111 –151.
- WETZEL, R. G. (1993). **Limnologia**. Ed. da Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa 645 p.

ANEXO 1

- Tabela I.1 - Aspectos gerais dos pontos demarcados no rio Tocantins (TO, Brasil), no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paraná, durante o período de mai / 98 a mar / 00.
- Tabela I.2 - Aspectos meteorológicos observados durante o período de jan / 99 a mar / 00 no trecho do rio Tocantins (TO, Brasil), entre as confluências dos rios Cana-Brava e Parana nos dias de coleta.
- Tabela I.3 - Precipitação pluviométrica (mm) diária e totais mensais, no período de mai / 98 a mar 00, na estação meteorológica de Palmeirópolis (TO).
- Tabela I.4 - Valores médios dos parâmetros estudados nos pontos de amostragem do rio Tocantins (TO), período mai / 98 a mar / 00.

ANEXO 1

Tabela I.1 - Aspectos gerais dos pontos demarcados no rio Tocantins (TO, Brasil), no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã, durante o período de mai / 98 a mar/ 00.

MARGEM ESQUERDA	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7
Erosão visível	A	A	A	A	A	A	A
Remanso	A	A	A	A	A	A	P
Resíduos sólidos	A	A	A	A	A	A	A
Tipo de solo	Arg	Arg	Are	Are	Are	Ar	Ar
Uso do solo	VN	VN	p	p	p	p	VN
MARGEM DIREITA							
Erosão visível	A	A	A	A	A	A	A
Remanso	A	A	A	A	A	A	P
Resíduos sólidos	A	A	A	A	A	A	A
Tipo de solo	Arg	Are	Are	R	Are	Are	Are
Uso do solo	p	p	VN	VN	p	p	VN
ESPELHO D'ÁGUA							
Algas	P	P	P	P	P	P	P
Corredeira	P	P	P	P	P	P	A
Efluente	A	A	A	A	A	A	A
Espuma	P	P	P	P	P	A	P
Macrófitas	A	A	A	A	A	A	A
Material orgânico	P	P	P	P	P	P	P
Óleo	A	A	A	A	A	A	A
Resíduos sólidos	A	A	A	A	A	A	A

Legenda: Vegetação Natural (VN); Pasto (p); agricultura de subsistência (AS); pecuária extensiva (Pe); Tipo de solo: arenoso (Are), argiloso (Arg); rochoso (R); outros aspectos: presente (P); ausente (A).

Tabela I.2 - Aspectos meteorológicos observados durante o período de jan / 99 a mar / 00 no trecho do rio Tocantins (TO, Brasil), entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã nos dias de coleta.

Meses	Observações	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7
jan/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos	A	A	A	A	A	A	A
	Nebulosidade	A	A	P	P	A	A	A
mar/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos	A	A	A	A	A	A	A
	Nebulosidade	A	A	A	P	A	P	A
mai/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos	A	A	A	A	Fr	Fr	Fr
	Nebulosidade	A	A	A	A	A	A	P
jul/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos	A	A	A	F	A	F	A
	Nebulosidade	A	A	A	A	A	A	A
set/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos:	F	A	A	F	A	F	F
	Nebulosidade	A	A	A	A	A	P	P
nov/99	Chuva de véspera	N	N	N	N	N	N	N
	Ventos	A	A	A	A	A	A	A
	Nebulosidade	A	A	A	A	A	A	A
jan/00	Chuva de véspera	S	S	S	S	S	S	S
	Ventos	A	A	A	A	A	A	A
	Nebulosidade	M	M	P	P	P	A	P
mar/00	Chuva de véspera	S	S	S	S	S	S	S
	Ventos	A	A	A	A	A	A	A
	Nebulosidade	M	M	P	P	P	A	P

Legenda: Chuvas na véspera: sim (S); não (N).

Ventos: forte (F); fraco (Fr); ausente (A).

Nebulosidade: muita (M); pouca (P); ausente (A)

Tabela 1.3 – Precipitação pluviométrica (mm) diária e totais mensais, no período de mai / 98 a mar / 00), na estação meteorológica de Palmeirópolis (TO).

Dia	mai 98	jul 98	set 98	nov 98	jan 99	mar 99	mai 99	jul 99	set 99	nov 99	jan 00	mar 00
01	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	-	5,1
02	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
03	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	4,4
04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-	6,9
05	0,0	0,0	0,0	12,8	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	13,9
06	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,2	-	0,0
07	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	47,1	-	0,0
08	0,8	0,0	0,0	0,0	24	31,2	17,3	0,0	0,0	0,0	-	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	-	33,2
11	0,0	0,0	0,0	45,5	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	4,2
12	0,0	0,0	0,0	1,2	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	-	11,5
13	0,0	0,0	0,0	65,8	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-	38,5
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	-	10,7
15	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	-	50,3
16	0,0	0,0	0,0	35,6	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	-	3,3
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	2,5
18	0,0	0,0	0,0	5,2	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	10,5	-	2,3
20	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	32,8	0,0	0,0	0,0	41,6	-	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	35,9	-	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	3,9	24,2	-	1,4
23	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	-	0,0
24	0,0	0,0	0,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	-	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4	4,3	-	0,0
26	0,0	0,0	0,0	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	-	1,2
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	-	0,0
30	0,0	0,0	0,0	21,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	50,7	-	0,0
31	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
Totais	6,6	0,0	0,0	289,0	89,9	160,3	22,2	0,0	37,4	130,3	*	190,0

Fonte: DNAEE. (2000).

* Não foram feitas observações no mês de janeiro/2000.

Tabela I.4 – Valores médios percentuais dos parâmetros estudados nos pontos de amostragem do rio Tocantins (TO), período mai/98 a mar/00.

Parâmetros	S1	C1	Dif.	%	S2	C2	Dif.	%	S1	S2	Dif.	%	C1	C2	Dif.	%
T (°C)	27	27,4	0,4	1,5	26,3	26,5	-0,2	-0,8	27,0	26,3	+0,7	+6	27,4	26,5	+0,9	+3,3
pH	7,1	7,2	0,1	1,4	7,4	5,9	+1,5	+20,3	7,1	7,4	-0,3	-4,2	7,2	5,9	+1,3	+18,1
CE μS/cm	53,3	68,9	-15,6	-29,3	76,6	57,2	+19,4	+25,3	53,3	76,6	-23,3	-43,7	68,9	57,2	+11,7	+17,0
Tur (NTU)	9,1	17,0	-7,9	-86,8	8,1	64,2	-56,1	-692,6	9,1	8,1	+1,0	+11,0	17	64,2	-47,2	-277,6
Clorof. a μg/l	ND	8,7	ND	0,0	8,9	11,2	-2,3	-25,8	ND	8,9	ND	ND	8,7	11,2	-2,5	-28,7
OD (mg/L)	7,1	7,6	-0,5	-7,0	6,7	7,2	-0,5	-7,5	7,1	6,7	+0,4	+5,6	7,6	7,2	+0,4	+5,3
Cor mgPt/L	11,5	20,8	-9,3	-80,9	19,0	40,4	-21,4	-112,6	11,5	19	-7,5	-65,2	27,4	26,5	+0,9	+3,3

Continuação da Tabela I.4

Parâmetros	S1	C1	Dif.	%	S2	C2	Dif.	%	S1	S2	Dif.	%	C1	C2	Dif.	%
Transp. (m)	1,4	1,1	+ 0,3	+ 21,4	0,9	0,7	+ 0,2	+ 22,2	1,4	0,9	+ 0,5	+ 35,7	1,1	0,7	+ 0,4	+ 36,4
Nitrog. Amon. (mgN NH ₃ /L)	0,06	0,05	+0,01	+ 16,7	0,15	0,36	- 0,21	- 140,0	0,06	0,15	- 0,09	- 50,0	0,05	0,36	- 0,31	- 620,0
Nitrato (mgN NO ₃ /L)	0,05	0,01	+ 0,04	+ 80,0	0,02	0,07	- 0,05	- 250,0	0,05	0,02	- 0,03	- 50,0	0,01	0,07	- 0,06	- 600,0
Ortofosfato (mg PO ₄ ³⁻ /L)	0,01	0,01	0,0	0,0	0,02	0,02	0,0	0,0	0,01	0,02	- 0,01	- 100,0	0,005	0,02	- 0,015	- 300,0
Cloretos (mg/L)	8,4	11,8	- 3,4	- 40,5	13,3	15,9	- 2,6	- 19,5	8,4	13,3	- 4,9	- 58,3	11,8	15,9	- 4,1	- 34,7
Sódio (mg/L)	1,6	1,6	0,0	0,0	1,3	1,1	+ 0,2	+ 15,4	1,6	1,3	+ 0,3	+ 18,8	1,6	1,1	+ 0,5	+ 31,3%
Potássio (mg/L)	2,4	2,4	0,0	0,0	2,0	1,8	+ 0,2	+ 10,0	2,4	2,0	+ 0,4	+ 16,7	2,4	1,8	+ 0,6	+ 25,0%
Cálcio (mgCaCO ₃ /L)	13,1	17,3	- 4,2	- 32,1	13,0	11,6	+ 1,4	+ 10,8	13,1	13,0	+ 0,1	+ 0,8	17,3	11,6	+ 5,7	+ 51,1
Silica (mgSiO ₂)	3,2	3,7	- 0,5	- 15,6	3,7	6,1	- 2,4	- 64,9	3,2	3,7	- 0,5	- 15,6	3,7	6,1	- 2,4	- 64,9
Alc T (mgCaCO ₃ /L)	38,2	33,7	+ 4,5	+ 11,8	35,1	12,0	+ 23,1	+ 65,8	38,2	35,1	+ 3,1	+ 8,1	33,7	12,0	+ 21,7	+ 59,0

ANEXO 2

(Tabelas II.1 a II.18) - Valores médios, desvio padrão, medianas, máximos, mínimos e moda de temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, transparência, cor, oxigênio dissolvido, clorofila a, N – amoniacal, N - nítrico, ortofosfato solúvel, cloretos, sódio, potássio, cálcio, sílica, alcalinidade total e dureza total

Tabela II.8 - Valores médios, desvio padrão, medianas, máximos, mínimos e moda de **clorofila a** ($\mu\text{g/L}$), do trecho do rio Tocantins entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), no: (a) primeiro período de seca (S1: mai 98 a set 98); (b) primeiro período de chuva (C1: nov 98 a mar 99); (c) segundo período de seca (S2: mai 99 a set 99); (d) segundo período de chuva (C2: nov 99 a mar 00).

Época/Pontos	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	médias
média	13,7	8,5	8	9,0	10,6	2,6	8,7	8,7
desvpad	14,92	1,63	3,11	0,92	4,95	1,70	8,13	5,1
(b) (C1)								
medn	13,7	8,5	8	9,0	10,6	2,6	8,7	8,7
max	24,2	9,6	10,2	9,6	14,1	3,8	14,4	12,3
min	3,1	7,3	5,8	8,3	7,1	1,4	2,9	5,1
moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
n	2	2	2	2	2	2	2	2

Época/Pontos	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	médias
média	9,1	8,2	10,2	12,3	8,6	6,7	7,3	8,9
desvpad	6,0	7,3	7,7	10,6	7,8	7,7	8,2	7,9
(c) (S2)								
medn	6,3	9,3	10,3	14,4	6,1	8,1	4,3	8,4
max	16,1	9,1	13,1	20,4	13,2	8,1	15,5	13,6
min	5,0	5,4	7,2	2,2	6,1	1,7	2,0	4,2
moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
n	3	3	3	3	3	3	3	3

Época/Pontos	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	médias
média	23,8	13,2	12,8	5,2	7,8	7,9	7,4	11,2
desvpad	21,21	1,94	12,20	4,05	5,41	7,03	3,79	7,9
(d) (C2)								
medn	23,8	13,2	12,8	5,2	7,8	7,9	7,4	11,2
max	38,8	14,6	21,4	8,1	11,6	12,9	10,1	16,8
min	8,8	11,9	4,1	2,3	4,0	3,0	4,7	5,5
moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
n	2	2	2	2	2	2	2	2

OBS: não houve coleta de material nesta época, para clorofila a

ANEXO 3

(Tabelas III.1 a III.7) - Matrizes de correlações entre parâmetros físicos e químicos nos pontos de coleta no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em 2 períodos de seca (mai – set/98) (S1) (mai – set/99) (S2) e 2 de chuva (nov/98 a mar/99) (C1) (nov/99 a mar/00) (C2).

Tabela III.1 – Matriz de correlação entre parâmetros físicos e químicos no PT1, rio Tocantins, trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em dois períodos de seca e dois de chuva (S1 + S2 + C1 + C2).

	pH	C.E	Temp.	Tur	Transp	Cor	PO ₄ ³⁻	OD	Clorof. μ	NO ₃ ⁻	NH ₄	Na ⁺	Si	Cl ⁻	K ⁺	Alc. T	Dur T	Dur ca ²⁺	
pH	1																		
C.E	-0,015	1																	
Temp.	-0,117	0,512	1																
Tur	0,050	-0,421	0,167	1															
Transp.	0,403	0,265	-0,162	** -0,594	1														
Cor	0,095	-0,161	-0,536	0,266	-0,347	1													
PO ₄ ³⁻	-0,476	0,173	0,261	0,119	** -0,797	0,046	1												
OD	-0,174	0,107	0,341	-0,211	0,094	-0,321	0,275	1											
Clorof. μ	-0,003	-0,176	-0,364	0,077	** -0,627	0,386	* 0,765	0,369	1										
NO ₃ ⁻	-0,313	0,059	0,149	-0,061	** -0,667	-0,135	* 0,903	0,323	** 0,850	1									
NH ₄	-0,260	-0,528	0,184	* 0,816	-0,482	0,001	0,009	-0,214	-0,259	-0,141	1								
Na ⁺	0,467	-0,052	-0,290	0,292	0,137	0,004	-0,285	-0,545	-0,196	-0,200	0,170	1							
Si	-0,134	0,202	0,528	0,549	-0,383	0,041	0,567	0,027	0,313	0,306	0,363	-0,044	1						
Cloretos	-0,017	0,274	0,081	0,353	* -0,805	0,495	0,651	-0,163	** 0,757	0,508	0,026	0,276	* 0,586	1					
K ⁺	0,401	-0,054	-0,294	0,323	-0,020	0,096	-0,270	* -0,633	-0,264	-0,229	0,228	* 0,977	-0,063	0,304	1				
Alc. T	-0,009	0,298	0,297	0,260	-0,208	-0,200	0,245	-0,021	0,134	0,317	0,135	0,557	0,178	0,510	0,526	1			
Dur T	0,272	0,188	0,059	0,152	0,452	-0,171	-0,155	-0,161	-0,303	-0,152	0,040	** 0,641	0,394	0,285	0,542	0,418	1		
Dur ca ²⁺	-0,038	0,007	0,152	-0,279	** 0,606	-0,426	-0,221	0,434	-0,176	-0,006	-0,131	-0,002	-0,118	0,226	-0,141	0,273	0,465	1	

Nota: * significância ao nível = 0,01

** significância ao nível = 0,05

Tabela III.2 – Matriz de correlação entre parâmetros físicos e químicos no PT2, rio Tocantins, trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em dois períodos de seca e dois de chuva (S1 + S2 + C1 + C2).

	pH	C.E	Temp.	Tur	Transp.	Cor	PO ₄ ⁻	OD	Clorof. a	NO ₃ ⁻	NH ₄	Na ⁺	Si	Cl ⁻	K ⁺	Alc. T	Dur T	Dur ca ⁺⁺	
pH	1																		
C.E	-0,033	1																	
Temp.	0,137	0,556	1																
Tur	-0,242	**0,625	-0,410	1															
Transp.	0,514	**0,699	*0,897	**0,576	1														
Cor	-0,402	-0,534	**0,645	**0,694	**0,699	1													
PO ₄ ⁻	-0,174	0,011	-0,152	-0,165	-0,226	0,026	1												
OD	-0,268	0,111	0,015	0,152	-0,292	-0,170	-0,081	1											
Clorof. a	*0,958	-0,049	-0,187	0,363	**0,639	0,344	0,443	0,081	1										
NO ₃ ⁻	-0,135	-0,298	0,113	0,025	-0,198	0,031	0,161	-0,496	0,427	1									
NH ₄	-0,192	-0,482	-0,245	*0,800	**0,590	**0,623	-0,235	0,034	0,251	-0,064	1								
Na ⁺	0,476	0,209	0,206	-0,035	*0,817	-0,214	-0,131	-0,256	-0,295	0,106	-0,388	1							
Si	-0,395	0,097	0,176	0,128	-0,282	0,159	-0,118	0,397	0,290	-0,093	0,421	-0,383	1						
Cloretos	-0,372	0,144	-0,195	-0,087	-0,428	0,356	0,185	-0,377	0,527	0,356	0,217	-0,290	0,444	1					
K ⁺	0,286	0,147	-0,159	0,159	0,459	0,220	-0,132	-0,383	-0,181	-0,039	-0,151	*0,846	-0,400	-0,035	1				
Alc. T	0,078	0,194	0,516	0,081	*0,710	-0,191	-0,234	-0,176	0,193	0,409	-0,247	*0,790	-0,169	-0,238	0,560	1			
Dur T	0,289	0,082	0,158	0,183	0,151	-0,134	-0,509	-0,111	0,022	0,352	0,153	0,334	-0,089	0,116	0,264	0,413	1		
Dur ca ⁺⁺	0,190	0,393	0,254	-0,251	0,330	-0,562	-0,438	0,087	0,075	0,202	-0,390	0,381	-0,287	-0,115	0,190	0,422	*0,751	1	

Nota: * significância ao nível = 0,01

** significância ao nível = 0,05

Tabela III.3 – Matriz de correlação entre parâmetros físicos e químicos no PT3, rio Tocantins, trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em dois períodos de seca e dois de chuva (S1 + S2 + C1 + C2)

	pH	C.E	Temp.	Tur	Transp.	Cor	PO ₄ ³⁻	OD	Clorof. _a	NO ₃	NH ₄	Na ⁺	Si	Cl ⁻	K ⁺	Alc. T	Dur T	Dur ca ⁺⁺	
pH	1																		
C.E	0,314	1																	
Temp.	0,095	0,257	1																
Tur	-0,255	0,131	-0,417	1															
Transp.	-0,070	**0,819	0,219	*-0,725	1														
Cor	-0,426	0,059	-0,477	*0,843	**0,820	1													
PO ₄ ³⁻	0,247	0,276	0,446	-0,158	-0,365	-0,054	1												
OD	-0,243	-0,437	-0,026	0,109	-0,155	-0,037	0,288	1											
Clorof. a	-0,378	-0,009	0,365	-0,445	-0,012	-0,198	0,368	0,187	1										
NO ₃	-0,273	-0,566	-0,155	-0,061	-0,001	0,084	0,154	**0,825	0,554	1									
NH ₄	-0,534	0,189	-0,410	**0,832	-0,289	*0,738	-0,217	-0,163	-0,532	0,296	1								
Na ⁺	0,403	-0,070	0,389	-0,087	-0,255	-0,168	0,460	0,207	0,210	0,086	**0,638	1							
Si	-0,290	0,066	0,052	-0,084	-0,328	-0,055	0,281	0,454	0,315	0,379	0,112	-0,226	1						
Cl ⁻	0,046	0,375	-0,377	*0,741	*-0,909	*0,794	0,081	-0,176	-0,124	0,017	0,370	0,151	-0,045	1					
K ⁺	0,346	-0,004	0,200	-0,013	-0,288	-0,039	0,146	-0,144	-0,042	0,227	-0,416	*0,846	-0,399	0,225	1				
Alc. T	0,032	0,282	**0,855	0,151	-0,351	0,049	0,419	0,087	0,349	0,012	-0,293	**0,640	-0,277	0,211	0,409	1			
Dur T	0,466	**0,814	0,067	-0,001	-0,489	-0,053	0,021	-0,382	0,215	0,201	-0,220	0,248	-0,012	0,488	0,215	0,269	1		
Dur ca ⁺⁺	0,392	-0,029	-0,007	-0,401	0,361	-0,492	-0,114	0,130	0,185	0,162	-0,532	0,233	0,042	-0,136	0,017	0,019	**0,814	1	

Nota: * significância ao nível = 0,01

**significância ao nível = 0,05

Tabela III.4 – Matriz de correlação entre parâmetros físicos e químicos no PT4, rio Tocantins, trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em dois períodos de seca e dois de chuva (S1 + S2 + C1 + C2).

	pH	C.E	Temp.	Tur	Transp.	Cor	PO ₄ ³⁻	OD	Clorof. a	NO ₃	NH ₄	Na ⁺	Si	Cl ⁻	K ⁺	Alc. T	Dur T	Dur C	ca ⁺⁺	
pH	1																			
C.E	0,041	1																		
Temp.	0,008	*0,728	1																	
Tur	-0,357	** -0,608	-0,522	1																
Transp.	-0,291	0,117	0,095	-0,599	1															
Cor	-0,200	-0,393	-0,433	*0,854	* -0,722	1														
PO ₄ ³⁻	0,210	-0,364	-0,103	**0,563	* -0,927	*0,711	1													
OD	0,177	-0,069	-0,059	-0,252	0,535	-0,600	-0,383	1												
Clorof. a	0,507	0,299	0,350	-0,480	0,306	-0,140	0,251	-0,341	1											
NO ₃	0,273	-0,342	-0,056	0,008	-0,078	0,015	0,192	0,334	-0,050	1										
NH ₄	0,157	0,026	0,229	-0,184	-0,476	-0,276	-0,165	-0,128	-0,457	-0,185	1									
Na ⁺	0,024	-0,056	-0,063	0,225	-0,528	0,264	0,164	0,028	0,373	0,182	* -0,715	1								
Si	0,210	0,173	0,358	0,014	-0,492	0,097	0,192	-0,117	-0,480	0,238	**0,585	-0,380	1							
Cloratos	-0,020	-0,051	-0,034	0,468	* -0,787	**0,672	*0,710	* -0,714	0,208	-0,307	0,087	-0,191	0,083	1						
K ⁺	-0,181	-0,091	-0,064	0,324	-0,385	0,296	0,114	-0,044	0,301	-0,081	** -0,652	*0,940	-0,442	-0,137	1					
Alc. T	0,027	-0,322	0,187	0,206	-0,209	0,111	0,468	0,210	**0,588	0,300	-0,543	**0,625	-0,360	-0,007	**0,611	1				
Dur T	0,300	-0,132	-0,200	0,028	* -0,946	0,155	0,138	-0,476	0,300	-0,057	0,207	0,222	0,064	0,113	0,217	-0,039	1			
Dur ca ⁺⁺	0,445	-0,457	-0,314	0,050	0,237	-0,027	0,153	0,309	0,284	0,125	-0,168	0,023	-0,206	-0,069	0,046	0,331	0,076	1		

Nota: * significância ao nível de 0,01

** significância ao nível de 0,05

Tabela III.5 – Matriz de correlação entre parâmetros físicos e químicos no PT5, rio Tocantins, trecho compreendido entre as confluências dos rios Cana-Brava e Paranã (TO), em dois períodos de seca e dois de chuva (S1 + S2 + C1 + C2).

	pH	C.E	Temp.	Tur	Transp.	Cor	PO ₄ ³⁻	OD	Clorof. a	NO ₃ ⁻	NH ₄	Na ⁺	Si	Cl ⁻	K ⁺	Alc. T	Dur T	Dur ca ^{**}	
pH	1																		
C.E	-0,023	1																	
Temp.	0,516	**0,694	1																
Tur	-0,237	0,107	-0,128	1															
Transp.	-0,151	-0,227	-0,150	*-0,817	1														
Cor	-0,391	0,116	-0,136	*0,838	** -0,626	1													
PO ₄ ³⁻	0,535	0,047	0,451	0,112	-0,271	0,249	1												
OD	0,012	-0,407	-0,416	0,105	-0,167	-0,319	-0,292	1											
Clorof. a	0,506	-0,006	0,316	-0,413	-0,128	-0,230	0,382	-0,139	1										
NO ₃ ⁻	-0,250	-0,056	-0,206	*0,897	*-0,739	*0,778	0,131	0,129	-0,357	1									
NH ₄	** -0,605	0,266	-0,204	*0,817	-0,443	*0,834	-0,196	-0,104	-0,545	*0,772	1								
Na ⁺	0,335	-0,022	0,039	0,169	-0,138	0,026	0,193	0,140	0,039	0,229	0,012	1							
Si	-0,053	0,150	-0,053	0,452	-0,482	0,391	0,282	-0,026	** -0,628	0,375	0,304	-0,262	1						
Cloratos	0,086	**0,612	0,617	0,339	-0,355	0,311	0,297	-0,407	-0,471	0,037	0,279	-0,243	0,350	1					
K ⁺	0,326	0,338	0,199	0,176	-0,211	-0,147	-0,168	0,199	-0,253	0,061	0,054	*0,787	-0,126	0,056	1				
Alc. T	0,110	-0,027	0,331	0,054	0,081	-0,032	0,117	-0,013	0,255	0,203	-0,029	0,704	-0,527	-0,150	0,429	1			
Dur T	0,057	0,058	0,125	-0,096	-0,009	-0,167	0,094	-0,172	0,175	-0,137	-0,310	0,270	-0,021	0,066	0,273	0,500	1		
Dur ca ^{**}	0,220	** -0,664	-0,330	-0,286	0,195	-0,315	0,063	0,219	0,479	-0,357	** -0,564	0,055	-0,410	-0,235	-0,138	0,158	0,373	1	

Nota: *significância ao nível de 0,01

** significância ao nível de 0,05

Tabela IV.1 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das médias dos valores de **pH** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2,455	6	0,409	0,483	0,819	2,219
Dentro dos grupos	65,20	77	0,847			
Total	67,66	83				

Tabela IV.2 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias de **condutividade elétrica** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1301,619	6	216,937	0,390	0,883	2,219
Dentro dos grupos	42791,08	77	555,728			
Total	44092,7	83				

Tabela IV.3 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **turbidez** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	7812,53	6	1302,08	0,461	0,835	2,219
Dentro dos grupos	217450,	77	2824,02			
Total	225262,	83				

Tabela IV.4 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **transparência** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,916	6	0,153	0,777	0,593	2,324
Dentro dos grupos	8,257	42	0,197			
Total	9,173	48				

Tabela IV.5 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **cor** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1160,786	6	193,4643	0,692	0,657	2,219
Dentro dos grupos	21523,92	77	279,5314			
Total	22684,7	83				

Tabela IV.6 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **oxigênio dissolvido** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	10,1997	6	1,6999	1,318	0,259419	2,219
Dentro dos grupos	99,3283	77	1,2899			
Total	109,5281	83				

Tabela IV.7 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **clorofila a** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	303,3406	6	50,5567	1,108	0,374082	2,324
Dentro dos grupos	1916,816	42	45,6388			
Total	2220,157	48				

OBS: não houve coleta de material na época S1, para clorofila a

Tabela IV.8 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **amônia** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,1354	6	0,0225	0,395	0,8803	2,219
Dentro dos grupos	4,4037	77	0,0571			
Total	4,5391	83				

Tabela IV.9 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **nitrato** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0105	6	0,0017	0,661	0,6809	2,218
Dentro dos grupos	0,2056	77	0,0026			
Total	0,2162	83				

Tabela IV.10 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **ortofosfato solúvel** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0013	6	0,000218	0,559	0,760945	2,219
Dentro dos grupos	0,0300	77	0,00039			
Total	0,0313	83				

Tabela IV.11 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **cloretos** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	226,998	6	37,833	1,197	0,317	2,219
Dentro dos grupos	2434,309	77	31,614			
Total	2661,307	83				

Tabela IV.12 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **sódio** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,332	6	0,055	0,198	0,976	2,219
Dentro dos grupos	21,503	77	0,279			
Total	21,836	83				

Tabela IV.13 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **potássio** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,538	6	0,0897	0,1425	0,9900	2,2188
Dentro dos grupos	48,457	77	0,6293			
Total	48,996	83				

Tabela IV.14 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **cálcio** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0274	6	0,005	0,685	0,662	2,219
Dentro dos grupos	0,513	77	0,007			
Total	0,5406	83				

Tabela IV.15 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **silica** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	16,166	6	2,694	0,453	0,841	2,219
Dentro dos grupos	458,038	77	5,949			
Total	474,203	83				

Tabela IV.16 - Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **alcalinidade total** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0839	6	0,0140	0,0562	0,9992	2,2188
Dentro dos grupos	19,1549	77	0,2488			
Total	19,2389	83				

Tabela IV.17- Resumo da análise de variância (ANOVA – fator único) aplicada à comparação das concentrações médias dos valores de **dureza total** em 07 pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho compreendido entre as confluências com os rios Cana-Brava e Paranã (TO), ao longo de 2 períodos de seca e 2 de chuvas (mai/98 - mar/00).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0243	6	0,004	0,411	0,869	2,219
Dentro dos grupos	0,7595	77	0,010			
Total	0,7839	83				