



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

Davis Castro dos Santos

**Estudo sobre a influência da sazonalidade e da altura da coluna d'água na
distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no reservatório
de Tucuruí- Rio Tocantins-PA**

Belém-Pará

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Davis Castro dos Santos

**Estudo sobre a influência da sazonalidade e da altura da coluna d'água
na distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no
reservatório de Tucuruí- Rio Tocantins-PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Área de Concentração: Química Analítica.

Orientadora: Prof^a. Dra. Simone de Fátima Pinheiro Pereira.

Belém-Pará

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UFPA, Belém-PA

Santos, Davis Castro dos, 1979-

Estudos sobre a influência da sazonalidade e da altura da coluna d'água na distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no reservatório de Tucuruí - Rio Tocantins - PA / Davis Castro dos Santos ; orientadora, Simone de Fátima Pinheiro Pereira. — 2010

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Química, Belém, 2010.

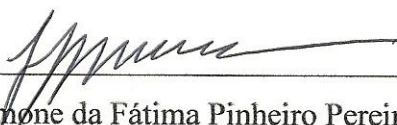
1. Metais pesados - Tucuruí (PA). 2. Águas – Represamento - Tucuruí (PA). 3. Tocantins, Rio (PA). I. Título.

CDD - 22. ed. 546.3

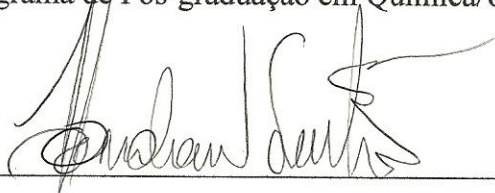
Davis Castro dos Santos

**Estudo sobre a influência da sazonalidade e da altura da coluna d'água
na distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no
reservatório de Tucuruí- Rio Tocantins-PA**

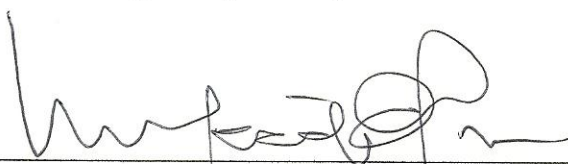
BANCA EXAMINADORA



Prof.^ª Dra. Simone da Fátima Pinheiro Pereira
Programa de Pós-graduação em Química/UFPA - Orientadora



Prof. Dr. Alberdan Silva Santos
Programa de Pós-graduação em Química/UFPA - Membro



Prof. Dr. Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves
Programa de Pós Graduação em Eng. Civil/UFPA - Membro

Data da apresentação: 14 de Outubro de 2010 às 10h.

Resultado: Aprovado

Ao professor Dr. Waterloo Napoleão de Lima (in memoriam), que teve um papel muito importante em minha vida pessoal e profissional, devido suas inestimáveis sugestões tanto em momentos de vitórias quando nos de derrota, não poupando esforços para direcionar dezenas ou talvez centenas de alunos ao árduo caminho da pesquisa, demonstrando grande sabedoria em seus ensinamentos.

Dedico

Aos meus pais Davino Vilhena Santos, Julia Costa de Castro e ao meu amado filho Daniel Henrique Nascimento dos Santos, pelo apoio e amor.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

- A DEUS, por cada dia e a cada raio de luz doado a todos nós. Agradeço pela oportunidade que Ele nos deu de concluir mais uma etapa de trabalho.
- A ANEEL pelo financiamento da pesquisa.
- A professora Dra. Simone de Fátima Pinheiro Pereira, pela orientação e oportunidade no desenvolvimento deste trabalho.
- Aos meus familiares, principalmente meu pai, Davino Vilhena Santos por ter sido a primeira pessoa que me incentivou a prestar vestibular, e a minha mãe Julia Costa de Castro, por me apoiar em busca desta conquista.
- Ao meu amado filho, Daniel Henrique Nascimento dos Santos, pelo qual não medirei esforços para ver sempre gozando de saúde e felicidade.
- A Dayse do Socorro Melo Nascimento, pela compreensão e respeito que sempre demonstrou por mim e por meu trabalho.
- Aos amigos de curso, Luis, Patrícia, Anderson, Silvana, Renata, que mesmo após a formatura não deixaram a chama de nossa amizade apagar.
- Em especial a Selma Solange Monteiro dos Santos que apesar estar longe de mim, sempre esteve perto, a ponto de influenciar positivamente em minhas decisões.
- Ao grande amigo, Geiso Rafael, por ter me apresentado a professora Simone e família LAQUANAM (Cleber, Wagner, Rafaela, Lindete, Thiago, João), além do meu amigo Pedro que colaborou para a realização dos tratamentos de dados, os quais culminaram na realização deste trabalho, ação esta, que foi um divisor de águas em minha vida.
- E não menos importante, o meu querido, Reginaldo da Silva Sales, o qual me fez redescobrir o verdadeiro e inestimável sentido da amizade, sempre se disponibilizado a ajudar-me nos momentos de dificuldades dentro e fora da vida acadêmica.
- Gostaríamos de agradecer a ELETRONORTE de Brasília e de Belém pela oportunidade e confiança depositada neste trabalho.
- A UFPA em especial ao Programa de Pós-graduação em Química pelo apoio e ao Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM), pela disponibilização de equipamentos e recursos humanos, possibilitando a realização deste estudo.
- Um agradecimento ao gerente de projeto Msc. Augusto C. Fonseca Saraiva, pelo empenho, dedicação e esforço para que este trabalho fosse concluído. Sua presença nas coletas e realização das análises foi decisiva para o bom andamento das pesquisas.

- Agradeço imensamente ao Senhor Baia da ELETRONORTE, pessoa humana e dedicada que com sua experiência e conhecimento da área de estudo nos deu a segurança para realizar um bom trabalho.
- Aos mestres Cleide Samara Mescouto, Valquíria C. Rosa, André Anunciação, Pedro Moreira (LAQUANAM) e Clauber dos Santos Bezerra (ELETRONORTE), cuja ajuda preciosa e inestimável nas coletas, nunca será esquecida.
- Aos alunos membros das equipes participantes do trabalho de campo e análises (Alberto (UNAMA), Ana (UNAMA), Aline (LAQUANAM), Érica (LACEN), Júlio (LAQUANAM), Jefferson (LAQUANAM), Keila (UNAMA), Rodrigo Leitão (LAQUANAM) e Rodrigo Pereira (LAQUANAM)) pelo profissionalismo, amizade e apoio indispensável nas horas em que mais precisei, sempre estiveram presentes.
- As alunas do curso de especialização em Química Ambiental Maria Antonieta Rodrigues e Mariana Queiroz pela ajuda nas coletas e análises *in situ*. Muito obrigado, de coração.
- A todos os técnicos do laboratório da ELETRONORTE de Tucuruí que me auxiliou nas análises e ao pessoal de apoio (barqueiros, pessoal do transporte, motoristas), muito obrigado.
- Ao técnico do LACEN Maurício Araújo de Lima pelo empenho na realização das análises de laboratório e ao pessoal da Base 4 da ELETRONORTE, que recebeu a equipe do projeto de braços abertos, dando o apoio necessário para a realização deste trabalho.
- Finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí está inserida em um importante reservatório hídrico na Amazônia, sendo uma das maiores hidrelétricas do mundo. Este trabalho teve como objetivo estudar a influência da sazonalidade e da profundidade da coluna d'água na distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no reservatório de Tucuruí - rio Tocantins - PA. Além dos metais foram estudadas as variáveis: temperatura pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. No total foram analisadas 84 amostras em 14 estações amostrais, dois períodos sazonais (maio e setembro) e três profundidades (superficial, intermediária e fundo). As variáveis físico-químicas foram analisados "in situ", através de analisadores de campo e os metais foram analisados por ICP-AES (espectrômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado). Os resultados foram comparados com os valores de referência da resolução n° 357/2005 do CONAMA e pela estatística descritiva e multivariada. As variáveis temperatura, pH, OD, condutividade, Al e Fe, apresentaram valores em não conformidade com a legislação em pelo menos um dos períodos sazonais ou apresentaram valores acima dos mencionados na literatura para a área de estudo. O Fe e o Al apresentaram diminuição em seus teores médios durante a estiagem, no entanto algumas variáveis (turbidez, Ba, Zn e Cd), apesar de terem aumentado suas concentrações durante o período de menor precipitação, mantiveram-se abaixo dos valores estabelecidos pela legislação nos dois períodos sazonais, para as três profundidades. A partir dos resultados, comprovou-se a influência da sazonalidade e profundidade sobre as características físicas e químicas da coluna d'água e nos teores dos metais Al, Fe, Ba, Mn, Zn e Cd resultante principalmente, de fatores climáticos, particularmente da precipitação pluviométrica.

Palavras chave: Rio Tocantins, qualidade da água, metais pesados

ABSTRACT

The hydroelectric Tucuruí dam is inserted into an important water reservoir in the Amazon, being one of the largest hydroelectric power stations in the world. Nevertheless, there are few studies about the Lake Tucuruí dam compared to reservoir studies South-Southeast region. This way, this work had as main objective to study the influence of seasonality and the depth of the water column in the distribution of metals Al, Fe, Ba, Cd, Zn and Mn and physic-chemical parameters present in the reservoir of Tucuruí-river Tocantins-PA. Yonder the metals were studied the variables temperature pH, electrical conductivity, dissolved oxygen (DO) and turbidity. In general 84 samples were parsed in 14 sample stations, two seasons (May and September) and three depths (superficial, middle, and bottom). The physical and chemical parameters were analyzed "in situ", through field analyzers and metals were analyzed by ICP-AES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) in central laboratory Eletronorte. The results were compared with the reference values recommended by federal resolution n ° 357/2005 of the National Council for the Environment (CONAMA) and multivariate descriptive statistics. The variables temperature, pH, OD, electrical conductivity, aluminum and iron were recorded values in non-compliance with the law in at least one of the seasonal periods or submitted values above those mentioned in the literature for the study area. The metals (Fe and Al) showed decrease in its average levels during drought, however some variables (turbidity, Ba, Zn, Mn and Cd), despite having increased their concentrations during the period of lowest rainfall, remained below the values established by legislation in two seasons, for all three depths. From the results proposed, it was found that there is influence of seasonality and depth on the physical and chemical characteristics of the water column with regard to the values of metals Al, Fe, Ba, Mn, Zn and Cd in different resulting monitoring stations, mainly, of different factors that influence climate, particularly of rainfalls.

Keywords: Tocantins River, water quality, heavy metals

SUMARIO

	Pg.
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
APRESENTAÇÃO	xvii
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVO GERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 HIDRELÉTRICAS E O MEIO AMBIENTE	21
2.2 A USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ	22
2.2.1 Considerações gerais sobre a formação do lago de Tucuruí	22
2.2.2 Área de estudo	24
2.2.2.1 Localização geográfica e acesso rodoviário para área de estudo	24
2.2.2.2 Clima	25
2.2.2.3 Cobertura vegetal e unidades de conservação	26
2.2.2.4 Fauna	30
2.2.2.5 Cobertura geológica	31
2.2.2.6 Aspectos hidrogeológicos	32
2.2.2.7 Morfometria	33
2.2.2.8 Compartimentação e hidrodinâmica do reservatório	34
2.2.3 Os impactos no meio sócio-econômico causados pela criação da represa da hidrelétrica de Tucuruí	35
2.2.4 As modificações do meio físico natural em decorrência da instalação da usina hidrelétrica de Tucuruí	37
2.2.5 Comportamento ambiental e características geoquímicas dos metais pesados	38
2.2.5.1 Mobilidades dos metais nos ciclos geoquímicos	38

2.2.5.2 Funções biológicas dos elementos essenciais e não essenciais no organismo humano	39
2.3 ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-AES)	41
2.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	45
2.4.1 Boxplots	45
2.4.2 Teste de Dixon (teste Q)	46
2.4.3 Análise de correlação	46
2.4.4 Análise multivariada	47
2.4.4.1 Análise de agrupamento hierárquico (HCA)	47
2.4.4.2 Análise de componentes principais (PCA)	48
3 METODOLOGIA	49
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1.1 Estações de monitoramento e preparação das amostras	49
3.2 METODOS DE ANÁLISE DAS VARIÁVEIS	52
3.2.1 Reagentes utilizados	53
3.2.2 Padrões utilizados	53
3.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS POR ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-AES)	53
3.4 CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICO	55
3.4.1 Exatidão	56
3.4.2 Limite de detecção e limite de quantificação	57
3.4.3 Tratamento estatístico dos resultados	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1- AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE E PROFUNDIDADE EM RELAÇÃO AS VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICO- QUÍMICAS	59
4.1.1 Validação dos resultados químicos e físico-químicos a partir do teste de Dixon ...	59
4.1.2 Temperatura no reservatório da UHE de Tucuruí	60
4.1.3 Oxigênio dissolvido no reservatório da UHE de Tucuruí	64
4.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH) no reservatório da UHE de Tucuruí	68
4.1.5 Turbidez no reservatório da UHE de Tucuruí	73
4.1.6 Condutividade elétrica no reservatório da UHE de Tucuruí	76

4.2 AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE E PROFUNDIDADE EM RELAÇÃO A VARIACÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS Al, Ba, Fe, Zn, Mn e Cd.....	80
4.2.1 Relação entre sazonalidade e a concentração dos metais	81
4.2.2 Validação dos elementos maiores, menores e traço a partir do teste de Dixon	81
4.2.3 Distribuição do Al no reservatório da UHE de Tucuruí.....	82
4.2.4 Distribuição do Ba no reservatório da UHE de Tucuruí	85
4.2.5 Distribuição do Fe no reservatório da UHE de Tucuruí.....	89
4.2.6 Distribuição do Zn no reservatório da UHE de Tucuruí.....	94
4.2.7 Distribuição do Mn no reservatório da UHE de Tucuruí.....	98
4.2.8 Distribuição do Cd no reservatório da UHE de Tucuruí.....	102
4.3 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS EM RELAÇÃO AOS VALORES ENCONTRADOS NA LITERATURA	103
4.3.1 Comparação entre as variáveis químicas e físico-químicas.....	103
4.3.2 Avaliação dos elementos Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd em relação aos valores encontrados na literatura.....	105
4.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS EM DOIS SAZONAIS PARA TRÊS PROFUNDIDADES	108
4.4.1 Análise descritiva das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades	108
4.4.2 Análise da correlação bivariada das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades	109
4.4.3 Análise de variância (ANOVA) das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades	110
4.4.4 Estatística multivariada das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades para dois períodos sazonais	111
4.4.4.1 Análise das componentes principais (PCA)	111
4.4.4.2 Análise de agrupamento hierárquico (HCA).....	114
5. CONCLUSÕES.....	117
6. REFERÊNCIAS	118
APÊNDICE 1 Histogramas para validação das variáveis físicas e físico-químicas.....	134
APÊNDICE 2 Histogramas para validação dos elementos maiores, menores e traço.....	135
APÊNDICE 3 Correlação bivariada para dois períodos sazonais em três profundidades no lago da UHE de Tucuruí.....	136

APÊNDICE 4 Dendrograma representando a similaridade entre as variáveis Al, Fe, Ba e temperatura e as estações de monitoramento	137
--	-----

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1. Usina hidrelétrica de Tucuruí.....	23
Figura 2. Área de influência do reservatório da UHE de Tucuruí.....	24
Figura 3. Trecho do rio Tocantins durante o verão.....	26
Figura 4. Mosaico de unidades de conservação do lago de Tucuruí.....	29
Figura 5. Região hidrográfica do rio Tocantins.....	32
Figura 6. Imagem Landsat do trecho do rio Tocantins onde foi implantada a barragem de Tucuruí.....	34
Figura 7. Resposta biológica à dependência na concentração de um nutriente essencial (curva sólida) e de uma substância tóxica (curva tracejada).....	40
Figura 8. Tocha ICP-AES axial.....	42
Figura 9. “Tocha” de argônio no estado de plasma induzido.....	43
Figura 10. Temperaturas alcançadas num plasma induzido.....	44
Figura 11. Detector de estado sólido do ICP-AES.....	45
Figura 12. Estações localizadas no Lago de Tucuruí.....	50
Figura 13. Laboratório montado na base 4 no Lago de Tucuruí.....	51
Figura 14. Espectrômetro simultâneo modelo Vista-Pro.....	54
Figura 15. Variação da temperatura no período chuvoso.....	62
Figura 16. Variação da temperatura no período de estiagem.....	63
Figura 17. Variabilidade da temperatura no reservatório da UHE Tucuruí.....	64
Figura 18. Variação do OD (mg/L) no período chuvoso.....	66
Figura 19. Variabilidade do OD (mg/L) no reservatório da UHE Tucuruí.....	67
Figura 20. Validação da matriz para a variável pH.....	70
Figura 21. Validação da matriz para a variável pH, sem o valor anômalo.....	70
Figura 22. Variação do pH no período chuvoso.....	71
Figura 23. Variação do pH no período de estiagem.....	71
Figura 24. Variabilidade do pH no reservatório da UHE de Tucuruí.....	72
Figura 25. Variação da turbidez (UNT) no período chuvoso.....	75
Figura 26. Variação da turbidez (UNT) no período de estiagem.....	75
Figura 27. Variabilidade da turbidez (UNT) no reservatório da UHE Tucuruí.....	76
Figura 28. Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no período chuvoso.....	79

Figura 29. Variação da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no período de estiagem.....	79
Figura 30. Variabilidade da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	80
Figura 31. Variação do Al ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período chuvoso.....	84
Figura 32. Variação do Al ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período de estiagem.....	84
Figura 33. Variabilidade do Al ($\mu\text{g}/\text{L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	85
Figura 34. Variação do Ba ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período chuvoso.....	88
Figura 35. Variação do Ba ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período de estiagem.....	88
Figura 36. Variabilidade do Ba ($\mu\text{g}/\text{L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	89
Figura 37. Validação da matriz para o Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$).....	91
Figura 38. Validação da matriz para o Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$) sem o valor anômalo.....	92
Figura 39. Variação do Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período chuvoso.....	92
Figura 40. Variação do Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período de estiagem.....	93
Figura 41. Variabilidade do Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	94
Figura 42. Variação do Zn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período chuvoso.....	96
Figura 43. Variação do Zn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período de estiagem.....	97
Figura 44. Variabilidade do Zn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	98
Figura 45. Variação do Mn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período chuvoso.....	100
Figura 46. Variação do Mn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no período de estiagem.....	101
Figura 47. Variabilidade do Mn ($\mu\text{g}/\text{L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	101
Figura 48. Gráfico das componentes principais no reservatório da UHE Tucuruí.....	113
Figura 49. Gráfico das componentes PC1 e PC2 no reservatório da UHE Tucuruí.....	114
Figura 50. Dendrograma representando a similaridade entre as variáveis Al, Fe, Ba e temperatura.....	115

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 1. Caracterização das unidades de conservação propostas pela Eletronorte.....	28
Tabela 2. Distribuição dos níveis e correlações.....	47
Tabela 3. Estações de amostragem e coordenadas geográficas.....	49
Tabela 4. Relação das variáveis e metodologia analítica para análise de água.....	52
Tabela 5. Equipamentos utilizados.....	53
Tabela 6. Padrões utilizados.....	54
Tabela 7. Características do ICP-AES.....	55
Tabela 8. Parâmetros operacionais usados no ICP-AES.....	56
Tabela 9. Resultados da recuperação dos elementos no padrão de referência de água de rio SRM 1640 NIST ($\mu\text{g/L}$).....	57
Tabela 10. Comprimento de onda (λ), limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), coeficiente angular (a) e linear (b) e coeficiente de correlação (r).....	58
Tabela 11. Validação das amostras para as variáveis físico-químicas a partir dos valores críticos do teste de Dixon, em um intervalo de confiança de 95%.....	59
Tabela 12. Distribuição dos valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no reservatório da UHE Tucuruí..	61
Tabela 13. Distribuição de oxigênio dissolvido (mg/L) no período chuvoso.....	65
Tabela 14. Distribuição dos valores de pH no reservatório da UHE Tucuruí.....	69
Tabela 15. Distribuição dos valores de turbidez (UNT) no reservatório da UHE Tucuruí....	74
Tabela 16. Distribuição dos valores de condutividade ($\mu\text{S/cm}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	78
Tabela 17. Validação das amostras para os metais, a partir dos valores críticos do teste de Dixon para um intervalo de confiança de 95 %	81
Tabela 18. Resultados dos teores de Al ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	83
Tabela 19. Resultados dos teores de Ba ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	87
Tabela 20. Resultados dos teores de Fe ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	90
Tabela 21. Resultados dos teores de Zn ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	95
Tabela 22. Resultados dos teores de Mn ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.....	99
Tabela 23. Comparação das variáveis físico-químicas no reservatório da UHE de Tucuruí	103
Tabela 24. Evolução das principais variáveis de qualidade da água no reservatório da	

UHE de Tucuruí.	104
Tabela 25. Níveis médios de metais em água de consumo humano ($\mu\text{g/L}$).....	106
Tabela 26. Comparação entre as concentração dos metais no reservatório da UHE de Tucuruí ($\mu\text{g/L}$).....	106
Tabela 27. Concentração dos elementos químicos em outros rios amazônicos ($\mu\text{g/L}$).....	107
Tabela 28. Relação entre as variáveis em termos de valores da média, máximo, mínimo e desvio padrão.....	108
Tabela 29. Análise de variância (ANOVA) em função da temperatura.....	111
Tabela 30. Variância das componentes selecionadas pela análise multivariada.....	112
Tabela 31. Pesos das variáveis para as componentes selecionadas pela análise multivariada.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPA - Centro de Proteção Ambiental
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM - Departamento Nacional de Recursos Minerais
EPA - Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental
ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
ICP-AES - Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
LACEN - Laboratório Central da Eletronorte
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
NIST - National Institute of Standards and Technology
UNT - Unidade Nefelométrica de turbidez
CV- Coeficiente de variação
WHO - World Health Organization

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação está inserida no projeto “Estudo hídrico da represa de Tucuruí com ênfase aos aspectos químicos, biológicos, sócio-ambientais e estatísticos”, com financiamento da ANEEL e em parceria com o Grupo de Química Analítica e Ambiental da UFPA (LAQUANAM), ELETRONORTE (LACEN), Grupo de Estudos Hídricos da Amazônia (GEHA) da UNAMA e Grupo de Pesquisa em Biologia Aquática (GPBA) do INPA. Teve como objetivo geral estudar a variabilidade da qualidade da água e suas intercorrelações com ênfase aos aspectos químicos, biológicos, sócio-ambientais e estatísticos no reservatório de Tucuruí - rio Tocantins-PA. Como objetivos específicos foram estudadas as interações sazonais e espaciais relacionadas à qualidade da água, do solo, da biota (pescado) e das populações residentes no reservatório. Também foram avaliados os prováveis impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas no ecossistema da represa de acordo com as normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA- nº357/2005, que aponta diretrizes ambientais para a classificação e o enquadramento dos corpos d’água, noções de preservação ambiental e atendimento de comunidades carentes. A execução do projeto contou com a participação dos Laboratórios de Química Analítica e Ambiental da UFPA (LAQUANAM) e Laboratório Central da Eletronorte (LACEN) onde foram realizadas as análises dos metais. O Grupo de Estudos Hídricos da Amazônia (GEHA) da UNAMA ficou encarregado da pesquisa das condições sócio-econômicas das populações e o Grupo de Pesquisa em Biologia Aquática (GPBA) do INPA auxiliou nas pesquisas de espécies de peixes coletadas no reservatório.

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade do homem por fontes de energia e água faz com que o mesmo utilize cada vez mais o potencial hídrico existente na natureza através da construção de grandes reservatórios (SETTI et al., 2001). No Brasil, é cada vez maior o número de reservatórios construídos pelo homem. Desta maneira, as represas na Amazônia constituem hoje um dos ecossistemas lacustres mais representativos do Brasil. Diferentemente do nordeste, onde os reservatórios são geralmente de pequeno e médio porte, na região Norte os represamentos são de maior porte e têm a finalidade básica de produzir energia elétrica, com destaque para a usina hidrelétrica de Tucuruí (DIONNE & THERILEN, 1997; ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG, 1989a; INPA, 1987a).

A Amazônia, em razão do grande potencial representado pela maior rede hidrográfica do Planeta, detém 2/3 do potencial hidráulico brasileiro, inúmeros reservatórios foram projetados, mas apenas cinco estão em operação, sendo um de grande porte (Tucuruí) e os demais de média e pequena capacidade geradora (Curuá-Una, Coaraci Nunes, Samuel e Balbina) (ELETROBRÁS, 1986).

Segundo Aguiar (2000) a geração centralizada de grandes blocos de energia aumentou as desigualdades sociais e econômicas na região, pois a oferta de energia elétrica não seguiu o mesmo modelo da distribuição da renda, o qual foi direcionado apenas para uma parte da sociedade, contribuindo dessa maneira com o impacto sócio-ambiental causado pela implantação dos grandes projetos na Amazônia.

Para Fearnside (2001) os estudos dos reservatórios, demonstram que no atual estado da tecnologia seu uso é indispensável, entretanto, os problemas ambientais são grandes, principalmente devido ao mau gerenciamento dos recursos hídricos nacionais (SETTI et al., 2001).

Segundo Angher (2004), a resposta do meio ambiente a uma intervenção de origem antrópica se manifesta sob a forma de reações complexas, cujas interferências se manifestam sobre os processos físicos e físico-químicos. Cada um desses processos pode permitir efetuar a previsão a partir do conhecimento do valor inicial e das variações dos parâmetros ambientais envolvidos (FEARNSIDE, 2001; SIQUEIRA, 2001a).

Pesquisas recentes constataram a emissão de gás metano em alguns reservatórios, cuja principal causa é a decomposição da biomassa inundada. Este problema poderia ser resolvido desmatando a área a ser inundada antes do fechamento da barragem, gerando um

aproveitamento econômico do que vai ficar submerso, reduzindo a emissão de gases. Além disso, foi comprovado que as usinas têm ainda impacto sobre a reprodução de peixes e a qualidade da água (FEARNSIDE, 1997; DIONNE & THERILEN, 1997).

Em várias represas, especialmente onde as massas de água apresentam longo tempo de residência, a produção primária do fitoplâncton pode ser consideravelmente reduzida, levando a uma hipoxia, sobretudo nas águas de fundo. Pesquisadores discutem que o afundamento do material em suspensão auxilia vários processos ambientais como: bioacumulação, biomagnificação, aumento de organismos patogênicos, distúrbio físico do sistema aquático e a ressuspensão do material sólido, que causa uma inaceitável turbidez, eutrofização localizada, enriquecimento em nutrientes e declínio do teor de oxigênio dissolvido, além do possível aumento da disponibilidade de alguns metais pesados na coluna d'água (BUNYARD, 1987; BRAGA, 1995; PEREIRA et al., 2000a).

Os metais pesados entram no ambiente aquático de forma natural (deposição atmosférica, erosão e os processos intempérics que atingem a matriz geológica), ou a partir de fontes antropogênicas (efluentes industriais, mineração e eliminação de resíduos diversos). A intoxicação de seres humanos por poluentes orgânicos e inorgânicos, associados a sistemas aquáticos, ocorre principalmente devido ao consumo de água e pescado contaminado; este último é capaz de concentrar os metais pesados em até 105 vezes as concentrações observadas no meio ambiente (MACKAY & CLARK, 1991; OLIVEIRA, 2008).

Os metais pesados, dependendo da forma química e de sua concentração podem assumir características bastante nocivas ao ambiente aquático, pois se localizam no grupo das substâncias não biodegradáveis e bioacumulativas, o que tem motivado o interesse em acompanhar a evolução da concentração destes poluentes nos ambientes e conhecer melhor suas formas realmente biodisponíveis e especiações que oferecem risco ao sistema ecológico (SIQUEIRA et al., 2001b; AGUIAR, 2000; BLASCO et al., 2000; CLARKE et al., 2000; HOLT, 2000; PESTANA et al., 2000; BABBIE, 1988; KARTHIKEYAN et al., 1999; CETESB, 1998).

Para Ellis et al. (2003), quando há contaminantes dissolvidos nas águas superficiais, o transporte destes pode ser governado pela rápida mudança das características físicas e químicas que ocorrem no meio ambiente. Dessa forma, a avaliação e controle da poluição ambiental tornam-se um problema, ao passo que a liberação de elementos tóxicos em grandes quantidades nos rios pode ser causada tanto por meio natural quanto através de processos de industrialização. Na área de Tucuruí, o enriquecimento dos elementos Al, Fe, Ba, Zn, Mn e

Cd pode estar relacionado principalmente com a interação dos processos de intemperismo que acometem o ambiente geoquímico e posterior transporte desses elementos para toda a biota (SIQUEIRA, 2001b).

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar através do monitoramento das variáveis físicas (temperatura), físico-químicas (pH, condutividade e turbidez) e químicas (Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd) a influência da profundidade e da sazonalidade sobre os parâmetros avaliados e investigar os prováveis impactos ambientais no ecossistema da represa causados devido a presença de elementos danosos a saúde humana.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A) Avaliar o comportamento das variáveis físicas e químicas em catorze estações de amostragem dentro do reservatório, incluindo montante, jusante e compartimento Caraipé.
- B) Observar o comportamento vertical e horizontal dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd na água do reservatório em três profundidades (superficial, intermediária e de fundo).
- C) Efetuar o tratamento estatístico das variáveis por análises multivariadas, (PCA e HCA) e correlações, a fim de demonstrar as complexas inter-relações entre as variáveis ambientais.
- D) Contribuir na formação de uma base de dados, que auxilie no monitoramento ambiental dos metais pesados em locais onde se instalem futuros empreendimentos hidrelétricos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HIDRELÉTRICAS E O MEIO AMBIENTE

A crescente demanda dos bens de consumo que necessitam de energia elétrica fez com que em 2001 ocorresse uma crise energética, obrigando o governo brasileiro a tomar uma série de providências, iniciando-se assim, as discussões em torno do assunto e do fortalecimento da idéia de que o homem, por necessidade própria de desenvolvimento, deve ter cada vez mais a atenção direcionada para as fontes de energia (SANTOS, 2003).

No Brasil, a energia hidrelétrica tem um papel preponderante, haja vista, o grande potencial hidráulico que o país dispõe. Hoje, somente na Amazônia brasileira, existem seis usinas hidrelétricas em operação cujos reservatórios formados situam-se em diferentes áreas e apresentam características ambientais peculiares. Uma quantidade considerável de represas apresenta dimensões grandiosas, sendo que, nas últimas décadas, a formação de reservatórios artificiais foi voltada basicamente à geração de energia elétrica (ELETROBRAS, 1986).

Para Tundisi, (1990) a presença de reservatórios na região amazônica, reconhecida como a maior reserva de florestas tropicais do planeta, tem gerado muita polêmica, pois há questionamento quanto ao planejamento dessas obras, principalmente pelo fato dos reservatórios terem encoberto vastas áreas florestais, desperdiçando muita madeira e ocasionando possíveis perdas de patrimônio genético, além dos prejuízos à qualidade da água.

O estudo ecológico desses ecossistemas é de grande importância porque após a construção dá-se o seccionamento no curso natural dos rios, ocorrendo assim à formação de águas paradas. Estes obstáculos ocasionam importantes transformações nas bacias hidrográficas e ainda sérios impactos no meio físico, biológico e sócio-econômico (SANTOS, 2003).

Entre os problemas ambientais mais comuns podem-se destacar: mudanças na hidrologia, qualidade da água, sedimentologia, vida aquática, aumento na evaporação produzindo mudanças climáticas, deslocamento de populações humanas e o aumento de doenças endêmicas. O sistema aquático formado passa por um período de enorme instabilidade e periódicas transformações. Nos reservatórios da região amazônica esta fase pode durar muitos meses ou anos, em função das condições do lago formado (grande extensão, tempo de residência e quantidade de fitomassa inundada) (EVANGELISTA, 1993).

As grandes usinas hidrelétricas, assim como todo grande empreendimento criado para atender a necessidade do desenvolvimento, trazem uma série de retornos à sociedade. Paiva (1983) cita que ocorre variação na estocagem de água, criação de áreas de recreação, aumento da descarga mínima, controle de descargas, aumento da produção de fitoplâncton, melhoria do potencial pesqueiro e economia de recursos naturais quando da produção de energia elétrica.

A construção de grande barragem e a conseqüente formação de reservatórios, em geral, provoca sérias alterações no meio ambiente, com efeitos positivos e ou negativos. Daí a necessidade de se realizarem estudos prévios das possíveis repercussões ecológicas do barramento de rios, tendo em vista a utilização múltipla das represas e as medidas de conservação da flora e fauna dos respectivos sistemas hidrográficos, além das medidas de proteção do novo ecossistema aquático implantado.

2.2 A USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ

2.2.1 Considerações gerais sobre a formação do lago de Tucuruí

Na década de 70, o estado nacional transformou a Amazônia brasileira em fronteira de recursos implantando sua política desenvolvimentista. Nesse período intensificaram-se os investimentos governamentais na região representando a política de ocupação estatal através da implantação de projetos de mineração, colonização, rodoviários, portos, aeroportos, além de áreas de exploração de garimpos de ouro. Nesse contexto, a Amazônia passou a ser vista também como uma reserva nacional de energia por seu potencial hidrelétrico, fato este que se materializa com o início da construção de Hidrelétrica de Tucuruí (Figura 1) nos anos 70, sendo dividida em três períodos (ELETRONORTE. 1988).

- 1975-1984: período de construção da hidrelétrica (fase 1);
- 1985-1997: período de operação da hidrelétrica;
- 1998-2006: período de expansão da hidrelétrica (fase 2).

Os estudos dos possíveis impactos, mais especificamente ecológicos, decorrentes da construção da barragem de Tucuruí, foram contratados junto ao INPA já no final da construção da represa e citados no relatório final da Comissão Mundial de Barragens em 1999 (SANTOS, 2003).

No início da execução da obra em 1980, os esforços realizados por pesquisadores resultaram em um enorme acervo de conhecimento sobre os ecossistemas dos rios Araguaia e Tocantins, uma vez que, foram desenvolvidos trabalhos, não apenas na área do lago propriamente dito, mas também dos rios formadores (ELETROBRAS, 1986).

A maior parte dos estudos realizados deveria ter sido iniciada no mínimo com uma década de antecedência, a fim de que os possíveis impactos ecológicos pudessem ter sido não apenas identificados, mas também que as ações corretivas ou compensatórias fossem planejadas e implementadas (EVANGELISTA, 1993).



Figura 1. Usina hidrelétrica de Tucuruí

2.2.2 Área de estudo

2.2.2.1 Localização geográfica e acesso rodoviário para área de estudo

A usina hidrelétrica de Tucuruí cuja etapa inicial foi construída e é operada pela Eletronorte está situada no rio Tocantins, no estado do Pará com coordenadas geográficas de $3^{\circ} 45'$ de latitude sul e $49^{\circ} 41'$ de longitude oeste.

As principais vias rodoviárias de acesso a Tucuruí são a rodovia federal BR-316 e as rodovias estaduais PA-332, PA-263 e PA-150. Existe linha de ônibus comercial diariamente entre Belém e Tucuruí, com saída do terminal rodoviário de Belém - Hildegardo da Silva Nunes.

A área de abrangência deste estudo está localizada na microrregião de Tucuruí (Figura 2), sudeste paraense.

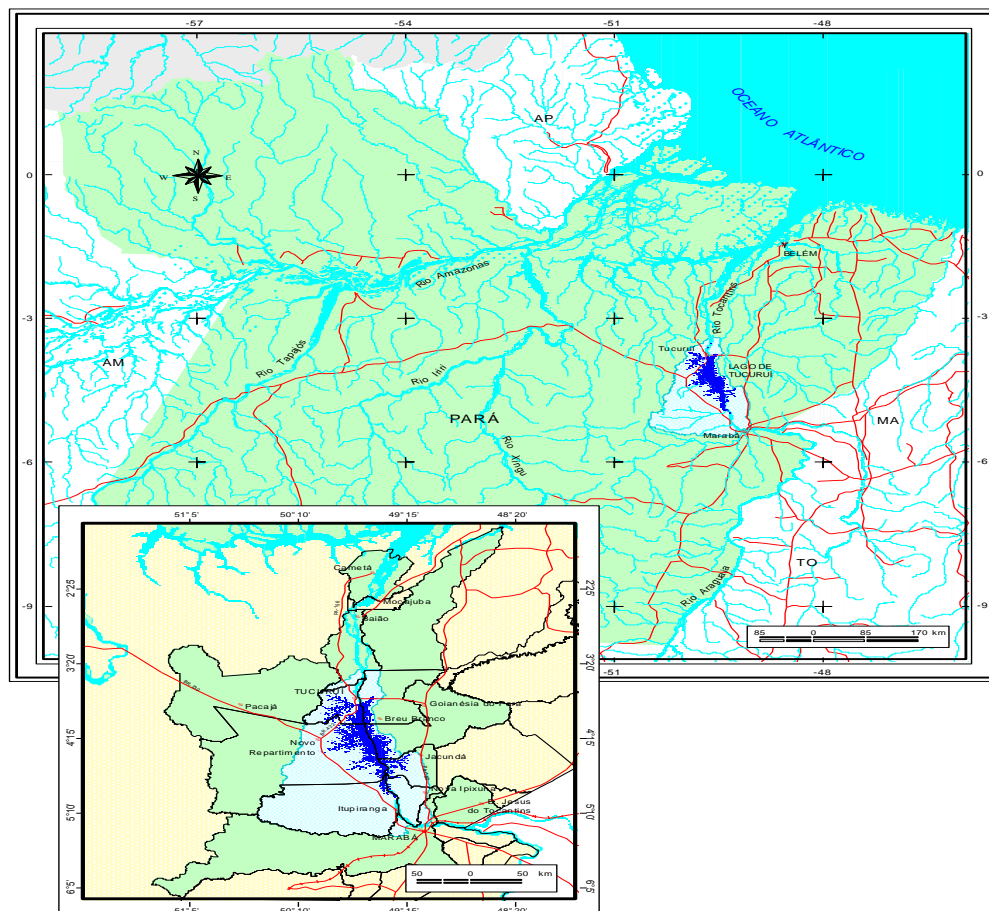


Figura 2. Área de influência do reservatório da UHE de Tucuruí

Fonte: ELETRONORTE *apud* OLIVEIRA, 2008.

A população de Tucuruí foi estimada em 2006 pelo IBGE em 313.424 habitantes e está dividida em dez municípios: Cametá, Baião, Mocajuba, Tucuruí, Marabá, Jacundá, Itupiranga, Breu Branco, Nova Ipixuna, Novo Repartimento, sendo que estes três últimos foram criados ou emancipados especialmente devido ao crescimento populacional. Os dez municípios estruturaram-se em função da Usina Hidrelétrica.

Marco do desenvolvimento na região, a construção da usina foi à responsável por um aumento populacional de 1.450% entre os anos 1970 e 2000. Apenas a população de Jacundá, Itupiranga e Tucuruí cresceu em média, 1.146%, destacando-se o crescimento de Jacundá que foi de 1.700%. Segundo os dados preliminares do Censo Populacional de 2000, realizado pelo IBGE, a microrregião conta com 56% dos habitantes em zona urbana, sendo que em Tucuruí e Jacundá este índice alcança mais de 70% de população urbana.

2.2.2.2 Clima

A grande extensão da bacia do rio Tocantins diretamente relacionada à constância das massas de ar de natureza equatorial continental, quente e úmida, determina uma relativa homogeneidade climatometeorológica, caracterizada pela repetição das estações, ao longo dos anos, com variações pouco significativas quanto à temperatura, precipitação, umidade atmosférica, insolação, velocidade dos ventos e demais parâmetros climáticos (CMB, 1999a).

Segundo a classificação de Köppen, a área onde se localiza o reservatório de Tucuruí apresenta clima tropical úmido (AMW), caracterizando-se por apresentar pluviosidade anual superior a 2500 mm, alta temperatura do ar (médias mensais superiores a 24°C), e umidade relativa superior a 85% (ELETRONORTE, 2005).

De acordo com Oliveira (2008) o clima da região de Tucuruí apresenta duas estações bem definidas e características: um período chuvoso de dezembro a maio, sendo fevereiro e março os meses mais chuvosos, em que as chuvas intensas de origem convectiva podem atingir totais mensais de até 600 mm/mês; já o período de estiagem ocorre entre junho a novembro, sendo os meses de julho, agosto e setembro os mais secos (Figura 3), quando a precipitação pluviométrica fica em torno de 30 mm/mês.

Segundo o INPA (1987a), a umidade relativa do ar está sempre acima de 80%. Os mais altos valores são registrados na época de maior pluviosidade, quando a umidade relativa do ar pode atingir 97%.

A velocidade dos ventos, na região, varia entre 1 e 2 m/s, que correspondem aos valores característicos observados em regiões tropicais.

Segundo o INPA (1987b), no reservatório de Tucuruí os fatores climatológicos como: radiação solar em grande quantidade, temperaturas elevadas do ar e da água e ventos amenos, são em conjunto, os responsáveis pelo aumento na taxa de evaporação.



Figura 3. Trecho do Rio Tocantins durante o verão

2.2.2.3 Cobertura vegetal e unidades de conservação

O reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí encobriu grandes áreas das formações florestais originais estabelecidas na região. Além disso, em consequência da ocupação humana acentuada e desordenada, vastas áreas florestais na região vêm sendo intensamente

exploradas, entretanto, ainda existem áreas consideráveis com remanescentes da cobertura vegetal original (SANTOS, 2003).

A vegetação na região de Tucuruí é representada principalmente por florestas ombrófilas com variações em suas estruturas e composições florísticas, decorrentes do relevo e solos da região (ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG, 1988).

Essas florestas ombrófilas podem ser divididas em duas grandes categorias: as florestas de terra-firme e as florestas aluviais.

As florestas de terra-firme são encontradas nas áreas elevadas onde dificilmente há inundações, ocorrendo com duas fisionomias distintas: a floresta densa e a floresta aberta.

A floresta densa apresenta um dossel irregular com numerosos indivíduos de grande porte (cerca de 40 metros). Entre as espécies arbóreas presentes destacam-se breus (*Protium spp*), casca-seca (*Chrysobalanaceae*), acapu (*Vouacapoua americana*), ingás (*Ingá spp*) e mata-matás (*Eschweilera spp*).

A floresta aberta tem menor densidade de indivíduos de grande porte e maior espaçamento entre eles, outra característica marcante é a presença de palmeiras.

Nas margens das grandes lagoas da região a vegetação tem características de igapós. Algumas podem estar circundadas por arapari (*Macrolabium acaciifolium*) e cobertas por gramíneas.

No interior do reservatório ocorrem bancos de macrófitas aquáticas, prevalecendo a espécie *Salvinia sp* e ocorrendo em menor quantidade *Scirpus sp* e *Eichhornia sp* (ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG, 1988).

A região onde se insere o reservatório de Tucuruí e entorno envolve duas ecos-regiões identificadas na Amazônia: o interflúvio do Tocantins-Araguaia-Maranhão (margem direita do Tocantins) e o interflúvio do Xingu-Tocantins. Segundo Ferreira et al. (1999), o percentual total dessas áreas protegidas em unidades de conservação era insuficiente para proteger a diversidade de tipos de vegetação existente nas ecos-regiões.

Diante da pressão antrópica, cada vez mais intensa na Amazônia, a Eletronorte realizou estudos para definir e propor unidades de conservação na região de influência do reservatório de Tucuruí. Na Tabela 1 (página 28) estão relacionadas às unidades de conservação propostas e a caracterização de seus atributos.

Tabela 1. Caracterização das unidades de conservação propostas pela Eletronorte.

<i>Unidade de conservação</i>	<i>Cobertura vegetal</i>	<i>Atributos</i>	<i>Área total (ha)</i>	<i>% cobertura</i>	<i>Municípios</i>
Reserva de fauna lagoas marginais a montante.	Campina, floresta de terra firme, vegetação lacustre, campinarana e floresta de várzea.	90 lagoas que servem como local de reprodução de espécies comerciais de peixes.	28.911	70 % vegetação nativa 19 % solo exposto 3,5 % bancos de areia 16 % água.	Marabá, Nova Ipixuna, Itupiranga
Refúgio de vida silvestre Lagoas marginais a jusante.	Campina, Ampinarana e vegetação aquática.	Local de reprodução e desova de espécies migratórias de peixes (afetados pela construção da barragem). Área destinada a receber os animais resgatados durante o enchimento do reservatório, com várias ilhas e terra firme.	1.280	75 % vegetação nativa, 24 % solo exposto, 0,05 % bancos de areia, 0,01 % água	Breu Branco
Refúgio de vida silvestre área de soltura.	Área alagada; floresta de terra firme.	Área potencial para coleta de sementes Fragmentos de vegetação nativa, ilhas e lâmina d'água, como reservatório de espécies e reserva de germoplasma.	22.731	59 % água, 39 % vegetação nativa e 1,9 % solo desnudo.	Goianésia do Pará
Estação ecológica área de soltura.	Floresta ombrófila densa; floresta secundária; culturas agrícolas.	Maciço de floresta de terra firme na margem esquerda ao norte. Ajuda a preservar área de nascente dos tributários, ameaçada pela ocupação ao sul.	37.672	29 % água; 60 % vegetação nativa; 6 % solo desnudo	Novo Repartimento
Parque estadual região do Caraipé.	Floresta de terra firme.		193.535	91% vegetação nativa e 9 % solo desnudo.	Tucuruí Pacajá

Fonte: OLIVEIRA, 2008.

Este estudo realizado pela Eletronorte em 2008 se deu no entorno do lago, englobando municípios localizados a montante (Novo Repartimento, Itupiranga, Nova Ipixuna, Jacundá, Goianésia do Pará, Marabá, Tucuruí e Breu Branco) e a jusante (Baião, Mocajuba e Cametá).

Critérios utilizados para a definição de áreas prioritárias, para a criação de unidades de conservação na área de influência do lago de Tucuruí foram: o grau de ocupação e alteração da paisagem regional; as condições de conservação da área; a importância dos ecossistemas e características ecológicas mais determinantes e tamanhos das áreas; a legislação pertinente. Foram criadas duas Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS), uma Estação Ecológica, um Refúgio de Vida Silvestre e, ao redor delas, abrangendo os 568.667 hectares de extensão do lago e funcionando como uma zona tampão, uma Área de Proteção Ambiental (APA), com o objetivo de acomodar os diversos interesses sem, contudo, continuar comprometendo os recursos naturais da área (Figura 4).

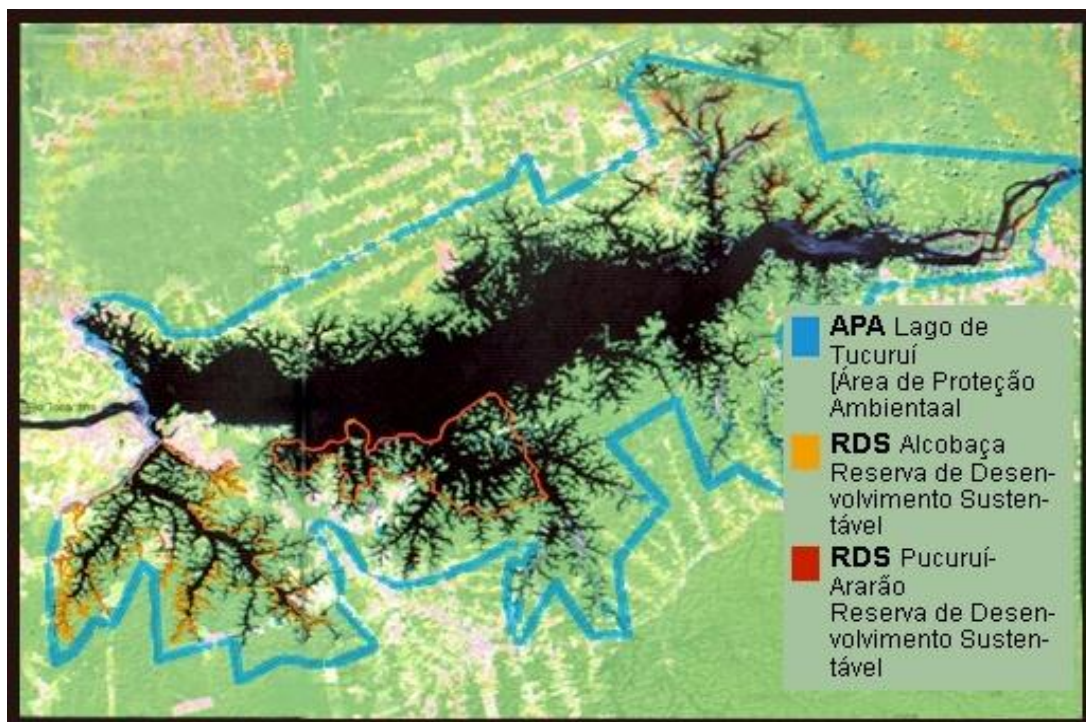


Figura 4. Mosaico de unidades de conservação do lago de Tucuruí

Fonte: OLIVEIRA, 2008.

A estação ecológica e o refúgio de vida silvestre permanecerão intocados, sem moradores ou exploração econômica. As RDS abrigarão as 5 mil famílias, que moram nas ilhas do reservatório e sobrevivem de pesca artesanal e algum extrativismo. A APA permitirá outras atividades econômicas, como a pesca comercial, pousadas, restaurantes e torneios de pesca esportiva, mas sob algumas restrições ambientais (ENGEVIX-THEMAG, 2002).

2.2.2.4 Fauna

A fauna na região do baixo Tocantins é considerada uma das mais ricas e diversificadas do mundo. Antes do enchimento do reservatório foi realizado um levantamento das espécies existentes na área, quando da formação do lago foi realizado um resgate dos animais presentes na área de alagação. A partir desses estudos estimou-se, que antes do enchimento do reservatório a região de Tucuruí uma riqueza de 117 espécies de mamíferos, 294 de aves, 120 de répteis e anfíbios era encontrada na região do reservatório (SANTOS, 2003).

A fauna ornitológica da região mostrou-se muito variada, incluindo várias espécies ameaçadas de extinção, como gaviões, jaburus e etc. As aves mais afetadas pela formação do reservatório foram os inhambus, mutuns e arus e as mais beneficiadas, principalmente devido à presença de macrófitas aquáticas, o pato-do-mato, garças, maguari, mergulhão, socoí, entre outras.

Os indivíduos pertencentes ao local refugiaram-se nas ilhas formadas, alguns foram resgatados e remanejados para áreas de soltura criada pela Eletronorte, como a ilha do germoplasma, outra grande parte pereceu.

Segundo Eletronorte & Engevix-Themag (1988), antes da formação do lago havia até 217 espécies ícticas na área. Com a formação do reservatório e no decorrer dos anos, o número de espécies diminuiu de forma significativa. Estudos identificaram cerca de 150 espécies ícticas no interior do reservatório. Entre as principais espécies destacam-se: curimatá (*Prochilodus nigricans*), pescada (*Plagioscion squamosissimus*), tucunaré (*Cichia ocellaris*), jaraqui (*Semaprochilodus brama*), a branquinha comum (*Curimata amazônica*) e branquinha-balão (*Curimata cyprinoides*).

A pesca do camarão (*Macrobrachium amazonicum*), importante produto socioeconômico para a região, embora não tenha sofrido modificações no ano seguinte ao fechamento da barragem, caiu, depois acentuadamente.

No reservatório as principais modificações nas comunidades estiveram relacionadas ao aumento na população de peixes carnívoros (pescada branca, peixe-cachorro, tucunaré e piranha), devido à maior oferta alimentar (camarão e peixes menores), aumento da população de peixes planctófagos (mapará) e estabelecimento de peixes iliófagos (curimatá e jaraqui) no trecho superior da represa.

A jusante ocorreu uma alteração nas comunidades. Os predadores dominaram o trecho mais próximo ao barramento e as espécies comerciais tiveram sua abundância reduzida. Sendo esta uma das áreas na Amazônia que apresenta um dos processos de ocupação mais intenso, a destruição de habitats naturais decorrentes desta ocupação, associado à caça predatória, vem levando a diminuição na abundância dessas espécies.

2.2.2.5 Cobertura geológica

A região de Tucuruí faz parte da porção setentrional da faixa Araguaia, próxima à borda oriental do cráton amazônico. O rio Tocantins encaixou seu leito na zona de transição entre rochas pré-cambrianas do cráton amazônico e rochas pré-cambrianas da faixa Araguaia. O cráton é representado na área por rochas granito-gnáissicas do complexo Xingu. Essa unidade engloba uma associação litológica de grau metamórfico médio, formando granitóides denominados Novo Repartimento, considerados como intrusivos no complexo Xingu, ocorrem em extensa área na margem esquerda do reservatório (ELETRONORTE & ENGEVIX - THEMAG, 1988).

Segundo Matta (1982), na área de Tucuruí, sobrepondo-se a esse embasamento encontra-se o Grupo Tucuruí, subdividido nas formações Caraipé e Morrote. A Formação Caraipé é constituída por uma seqüência de derrames basálticos com intercalações pelíticas e psamíticas subordinadas. A formação Morrote recobre a formação Caraipé, sendo composta por sedimentos grauváquicos, constituídos essencialmente por plagioclásio e quartzo.

Com a construção da barragem e formação do reservatório, grandes extensões das formações geológicas da área, principalmente dos depósitos quaternários, foram submersas. A dinâmica atual do rio Tocantins também foi radicalmente alterada. A barragem impede o fluxo da maior parte dos sedimentos transportados pelo rio Tocantins, que ficam retidos no interior do reservatório. Do mesmo modo, a barragem possibilita um aumento na capacidade de erosão do rio Tocantins (ELETRONORTE & ENGEVIX - THEMAG, 1988).

2.2.2.6 Aspectos hidrogeológicos

O rio Tocantins, cuja extensão total é de aproximadamente 2.500 km, forma-se a partir dos rios das Almas e Maranhão, cujas cabeceiras localizam-se no Planalto de Goiás, a mais de 1.000 m de altitude, na região mais central do Brasil (CMB, 1999b).

O rio Araguaia, principal afluente do Tocantins, é considerado como sendo da mesma importância no conjunto geral da bacia, notadamente pelas suas características hidrológicas e pelo seu papel no processo de ocupação do território, tem suas nascentes nos rebordos da Serra do Caiapó na divisa de Goiás com Mato Grosso, cerca de 850 m de altitude, com 2.115 km de extensão, desenvolvendo a maior parte do seu percurso paralelamente ao do rio Tocantins até confluir com o mesmo a uma altitude de 70,80 m (SANTOS, 2003).

A bacia de drenagem do rio Araguaia-Tocantins limita-se ao sul pelo planalto central, a oeste pela serra dos Carajás e, ao norte pelo rio Amazonas (Figura 5).

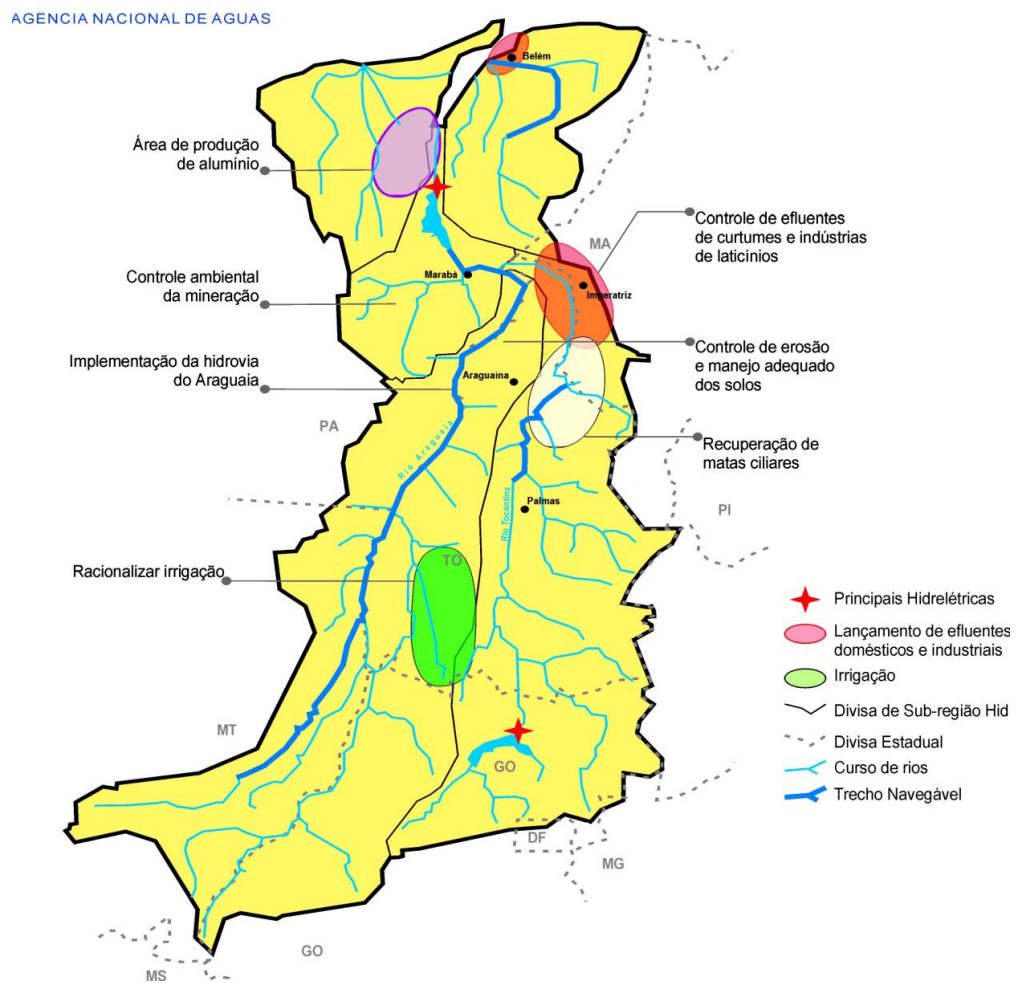


Figura 5. Região hidrográfica do rio Tocantins.

Fonte: ANA, 2006.

O rio Araguaia no seu aspecto físico apresenta águas claras transparentes. O rio Tocantins por sua vez, apresenta águas claras no período seco e águas brancas no período chuvoso devido às altas cargas de detritos em suspensão (SANTOS & MÉRONA, 1986).

As precipitações na bacia crescem no sentido sul-norte, variando de 1580 mm (alto Araguaia) a 2300 mm (parte Norte). Notam-se variações também entre a parte leste do rio Tocantins (1000 mm) e a parte oeste da bacia do Araguaia (acima de 1800 mm). No período chuvoso, as médias mensais superam os 300 mm de chuva em algumas localidades.

As pequenas drenagens afluentes diretos do reservatório, tanto pela margem direita como pela margem esquerda, formam a sub-bacia do reservatório que ocupa uma área com cerca de 22.250 km² (ELETRONORTE & ENGEVIX - THEMAG, 1988).

A bacia do Tocantins-Araguaia possui um regime hidrológico do tipo tropical, com períodos de cheias e de recessão (períodos mais secos) bem definidos, apresentando um período de estiagem que culmina em setembro/outubro e um período de águas altas, onde as maiores cheias se verificam entre fevereiro e abril (ANA, 2005).

A vazão média da bacia é estimada em 10.950 m³/s, sendo a contribuição do rio Araguaia em torno de 5.500 m³/s, a do Itacaiúnas de 450 m³/s e a do Tocantins, antes de sua confluência com o Araguaia, de 5.000 m³/s.

2.2.2.7 Morfometria

Segundo La Rovere et al. (1999), estimativas iniciais realizadas com base na restituição aerofotogramétrica feita antes do enchimento, previam uma área a ser inundada, de cerca de 2.430 km² e formação de aproximadamente 600 ilhas.

Levantamentos posteriores, realizados a partir de imagens de satélite do lago já formado, vieram a modificar essas estimativas (Figura 6). Na cota máxima de 72,00 m, o reservatório formado comporta um volume de cerca de 50,8 bilhões de metros cúbicos e inunda uma área de 2.850 km², além de formar 1.800 ilhas (SANTOS, 2003).

A profundidade máxima do reservatório atinge 75 m, sendo a profundidade média de 17,3 m. A largura média é de 14,3 km, chegando até o máximo de 40 km de distância entre as margens. O comprimento de cerca de 170 km ao longo do rio principal.

O nível mínimo de operação é de 58 m, o máximo normal de 72 m, referidos ao nível do mar. A jusante, o nível mínimo é de 4 m, o máximo de 6,8 m.

A Eletronorte atribui a imprecisão do dimensionamento das áreas a serem alagadas, à falta de tecnologia apropriada na época para realizar a restituição aerofotométrica.

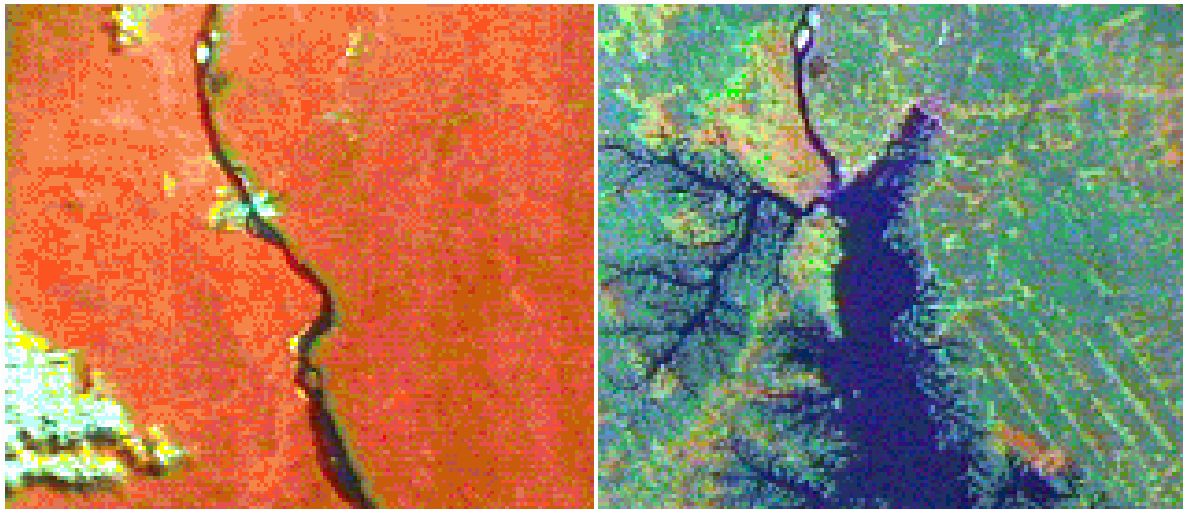


Figura 6. Imagem Landsat do trecho do rio Tocantins onde foi implantada a barragem de Tucuruí.

Fonte: Internet: <<http://www.dgi.inpe.br>> Acesso 05/12/2009.

2.2.2.8 Compartimentação e hidrodinâmica do reservatório

O reservatório de Tucuruí está subdividido em dois compartimentos com características limnológicas distintas (ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG, 1988; OLIVEIRA, 2008).

- Corpo central: correspondente à antiga calha do rio Tocantins, onde o fluxo das águas escoava normalmente de montante para jusante, sem nenhum impedimento;
- Porção lateral: onde o escoamento das águas é dificultado pela presença de barreiras físicas, englobando todos os braços do reservatório que se situam nas margens. Nesta porção encontra-se o compartimento Caraipé. Apresenta-se permanentemente estratificado com o hipolímnio anóxico a partir de 15 m de profundidade.

Em decorrência das diferenças hidromorfológicas do reservatório, o escoamento das águas entre esses dois ambientes, cerca de 75% da vazão afluente percorre o corpo central e o restante circula nas porções laterais do reservatório.

Segundo Santos (2003), mais de 95% da vazão afluente total do reservatório é proveniente do rio Tocantins. Seu regime hidrológico depende essencialmente do regime da bacia Tocantins-Araguaia.

As regras operacionais da usina regem a vazão defluente do reservatório, com intuito de manter o reservatório na sua cota mais elevada, a fim de produzir grande máximo de energia. Entretanto, estas regras levam em consideração também a manutenção de uma vazão defluente mínima a jusante, necessária para evitar danos à população ribeirinha, garantir a navegação, preservar a vida aquática (OLIVEIRA, 2008).

A hidrodinâmica no interior do reservatório de Tucuruí apresenta-se em alguns momentos de forma complexa, com variações na direção e velocidade do fluxo. De acordo com Santos, (2003), essa circulação é controlada principalmente pela vazão afluenta, ação dos ventos, por fatores morfométricos como: profundidade; largura; comprimento e configuração das margens e do fundo do reservatório, decorrentes da topografia dos terrenos inundados, e ainda, por restrições físicas ao fluxo da água, como ilhas, troncos e galharias da vegetação afogada (paliteiro).

Considerando-se o volume total e a vazão média anual de 11.000 m³/s, o tempo de residência hidráulico médio das águas do lago é de 51 dias, ou seja, em média, teoricamente neste período de dias toda água do reservatório de Tucuruí é renovada. Para o corpo central este tempo médio de residência das águas é de 25 dias, enquanto que na porção lateral, a média se eleva para cerca de 130 dias (EVANGELISTA, 1993).

No período chuvoso, quando o corpo central do reservatório desestratifica e a maior parte da água escoar pelo vertedouro da barragem, ocorre uma supersaturação de oxigênio na água lançada à jusante, assim como uma grande homogeneização deste sistema.

No período de estiagem, quando a maior parte da água defluente é a turbinada (escoa pelo canal de fuga das turbinas), ocorre intensa redução dos níveis de oxigênio dissolvido.

2.2.3 Os impactos no meio sócio-econômico causados pela criação da represa da hidrelétrica de Tucuruí.

A construção de hidrelétricas na Amazônia deve ser vista de forma cautelosa, por tratar-se de rica floresta tropical abrigando rica biodiversidade, além da existência das populações ribeirinhas, importantes etnias e ecossistemas que são desestruturados (ELETRONORTE, 1984).

Para CMB (1999a), na área de influência do lago, verificou-se um grande número de problemas de caráter sócio-econômico relacionados diretamente ao advento da barragem, para

as quais não se previam medidas de gestão nos estudos realizados para o empreendimento. Dentre estes impactos, pode-se citar:

- Crescimento acelerado e desordenado devido à atração migratória para as cidades de Tucuruí e Jacundá.
- Ocupação desordenada e indiscriminada da área do entorno do reservatório, causada, entre outros fatores, pela implantação, por parte da Eletronorte, de mais de mil quilômetros de estradas vicinais;
- Utilização crescente e predatória da madeira nas ilhas e margens do reservatório, facilitada pela própria formação do lago, que possibilitou o acesso, via lacustre, a regiões não acessíveis;
- Ausência da delimitação de uma faixa de proteção do reservatório, devido a falta de base cartográfica confiável;
- Alteração na estrutura do mercado de terras, com intensa valorização das terras situadas próximas a barragem e aos núcleos construídos pela Eletronorte.
- Desvalorização das propriedades localizadas ao longo dos antigos eixos das estradas;
- Morbidade, em face de menos ingestão de proteínas por parte da população de mais baixa renda.

De acordo com a CMB (1999c), a ocorrência de impactos à jusante foi subestimada, já que se considerou quase que exclusivamente a ocorrência de impactos diretos associados à redução da quantidade de água durante a fase de enchimento do reservatório. No entanto, verificou a ocorrência de impactos a qualidade da água e ambientais diretos, a partir da interrupção da vazão (SANTOS, 2003).

Antes do enchimento do reservatório, suscitou-se o problema de impactos à jusante durante o enchimento, tendo sido levantada a hipótese de interrupção do fornecimento de água potável a Belém, em face da introdução da cunha salina no rio Guamá causada pela ausência de vazão do rio Tocantins. Um estudo baseado em modelagem matemática concluiu, à época, que não haveria esse risco em Belém (como de fato não houve), mas que poderiam ocorrer problemas nos municípios à jusante da barragem.

2.2.4 As modificações do meio físico natural em decorrência da instalação da usina hidrelétrica de Tucuruí.

Os estudos abrangeram os aspectos do meio físico e biótico, foram desenvolvidos dentro da ótica de viabilização do empreendimento, não contemplando a dimensão dos processos históricos da região.

Segundo a CMB (1999a), os principais problemas ecológicos levantados localmente, em certas profundidades e em certos períodos, foram:

- Desenvolvimento de plantas aquáticas tanto flutuantes como emergentes em algumas regiões do lago;
- As mudanças da ictiofauna a jusante em consequência do rompimento das migrações dos peixes podendo influenciar, em seu ciclo de reprodução;
- Desaparecimento de algumas espécies de peixes (mapará) nas corredeiras que existiam a montante da barragem;
- Os impactos sobre a fauna terrestre nas áreas que seriam inundadas;
- Os impactos sobre o micro clima regional pela existência de uma grande área coberta por águas;
- Os metais na forma solúvel ou em suspensão tendem a depositar-se no fundo do corpo hídrico e são assimilados pelos organismos, causando o fenômeno da bioacumulação.
- Diminuição da concentração de oxigênio na água da represa em decorrência da decomposição da matéria orgânica, não retirada da área inundada acarretando uma série de consequências nas atividades produtivas da região;
- Mudança na qualidade da água em decorrência da sedimentação e dos processos biogeoquímicos na nova dinâmica das águas;
- Risco de permanência de resíduos químicos dos produtos utilizados na tentativa de desmatamento da área a ser inundada.

2.2.5 Comportamento ambiental e características geoquímicas dos metais pesados

2.2.5.1 Mobilidades dos metais nos ciclos geoquímicos

Nas águas naturais estão presentes uma gama diversificada de substâncias e elementos que se apresentam sob as mais variadas formas e comportamentos, tanto do ponto de vista físicos, quanto químicos e bioquímicos (HUNT & WILSON, 1986). Dentre essas espécies, uma tem lugar de destaque, os metais de transição, que incluem, não só os elementos considerados essenciais, como também o grupo inorgânico que inclui os principais contaminantes do meio ambiente (GIBBS, 1977).

O comportamento dos metais de transição e sua natureza em sistemas aquáticos são considerados bastante complexos e pouco conhecidos, haja vista que podem ocorrer inúmeras interações entre a fase dissolvida e ligada, governando sua redistribuição num dado corpo d'água. Para Salomons & Forstner (1980), a distribuição de uma forma de metal depende não só das propriedades do mesmo, mas também das características físico-químicas do ambiente, notadamente do pH, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, potencial redox, força iônica e disponibilidade de ligantes.

Os metais possuem três formas principais de aporte no corpo hídrico: deposição de material particulado atmosférico, escoamento superficial da água da chuva após lavagem e lixiviação do solo e lançamento direto de despejos industriais e urbanos nos corpos d'água. Os metais-traço ao chegarem ao corpo hídrico podem adquirir o potencial de se complexar com a matéria orgânica, tendo destino final do sedimento de fundo. Os sedimentos de fundo não apenas depositam, mas principalmente tornam-se fontes de contaminantes, podendo funcionar como *poll* de substâncias tóxicas introduzidas no ambiente aquático, com potencial para liberar para a coluna d'água, atingindo a cadeia trófica, compostos químicos extremamente tóxicos acumulados por décadas (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

Segundo Ribeiro & Martinelli (1979), os principais veículos de distribuição e transporte dos elementos químicos no ambiente, são os rios, que transportam materiais grosseiros, finos e em solução, totalizando quase 80% de todo material que chega aos oceanos. Estes processos são acelerados devido à ação do intemperismo químico, decorrente do desequilíbrio do conjunto de íons constituinte dos minerais, que são conduzidos sob novas condições a um rearranjo de maior estabilidade (SUGUIO & MARTIN, 1980).

Os elementos químicos resultantes do intemperismo das rochas continentais assumem as formas de íons monoatômicos e íons poliatômicos, sendo formados por estruturas cristalinas tais como micas, feldspatos, argilominerais, quartzo, etc.

Dessa forma, a mobilização dos metais pode ser influenciada pelo tipo de solo no qual a presença de argilominerais e matéria orgânica possuem diferentes capacidades de troca que aumenta na seguinte ordem:

caulinita < clorita < illita < montmorilonita < vermiculita.
--

Este aumento está relacionado à redução do tamanho da partícula e conseqüentemente ao aumento da área da superfície. Neste aspecto, os elementos são transportados para os oceanos, onde a água é o principal agente do intemperismo químico, sendo um excelente solvente para todos os minerais com algumas exceções (RILEY & CHESTER, 1989).

A classificação dos metais pode ser feita de acordo com sua disponibilidade nos sistemas aquáticos ou em sedimentos de fundo (GRAMBELL, 1976 *apud* MALM, 1986).

- a) Os metais dissolvidos nas águas superficiais e intersticiais, metais facilmente trocáveis ou adsorvidos na fase sólida, mineral e orgânica, são denominados de metais disponíveis.
- b) Os metais complexados com a matéria orgânica, na forma de sulfetos insolúveis, como metais coprecipitados como óxido de ferro e manganês, metais na forma de carbonatos e metais na forma de hidróxidos insolúveis são considerados metais potencialmente disponíveis.
- c) Os metais ligados à estrutura cristalina de minerais primários e secundários que somente podem ser mobilizados pela ação dos processos intempéries são considerados não disponíveis.

2.2.5.2 Funções biológicas dos elementos essenciais e não essenciais no organismo humano

Os metais podem afetar todas as formas de vida dependendo da dose e forma química (ZÍNGARO, 1979). Alguns tipos de metais são necessários ao desenvolvimento e crescimento de uma diversidade de organismos desde bactérias até mesmo ser humano, mas são necessários em baixas concentrações, caso contrário, podem prejudicar alguns sistemas biológicos.

Na Figura 7 é mostrada a representação da resposta biológica de um tecido ao aumento da concentração de um nutriente essencial. Esta enfatiza o ponto que um nutriente essencial pode se tornar tóxico em certa concentração. Quase todas as substâncias em excesso se tornam perigosas mesmo se a ação de nutrientes essenciais for indireta.

Segundo Schio (2003) a designação “metais pesados” apesar de ser amplamente usada para alguns elementos como o cromo, zinco, chumbo, cádmio e mercúrio, não possuem uma definição única, podendo variar de acordo como ramo da ciência que o aborda. É comum, nos meios de comunicação (rádios, TVs, jornais etc.), a divulgação de notícias, com o termo metal pesado sempre associado à poluição e toxicidade, provocando danos aos organismos vivos e ambiente e incluem também alguns elementos que são essenciais para os seres vivos. A nomenclatura “metais tóxicos” é mais recomendada para os elementos não essenciais aos organismos vivos, como arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, não podendo ser aplicada para os elementos biologicamente essenciais, notadamente zinco, ferro, cobre, manganês e selênio (SCHIO, 2003).

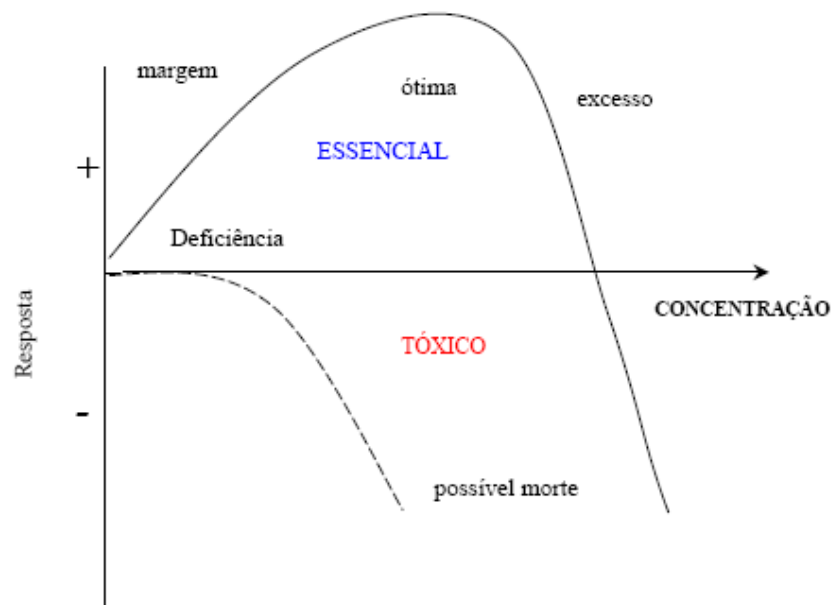


Figura 7. Resposta biológica à dependência na concentração de um nutriente essencial (curva sólida) e de uma substância tóxica (curva tracejada).

Fonte: SEILER & SIGEL, 1998.

Os efeitos tóxicos dos metais nos organismos vivos podem afetar vários órgãos, causando alterações nos processos bioquímicos, organelas (estruturas celulares com funções de digestão, respiração, excreção da célula, por exemplo) e membranas celulares (estrutura de proteção e delimitação da célula) (SALGADO-LABORIAU, 1996). Alguns elementos traço devido seu pequeno tamanho, cargas duplas ou triplas e pouca mobilidade no organismo tem facilidade de acumularem-se em organismos, provocando profundas modificações no metabolismo como, por exemplo, atuando em processos enzimáticos. Esses efeitos estão relacionados com a dose e distribuição dos ametais no organismo, podendo causar a morte do organismo afetado (ESTEVES, 1988).

De acordo com Nakano & Zucchi (2002), alguns metais essenciais, em pequenas quantidades aos organismos vivos são denominados de micronutrientes, como é o caso do ferro, zinco, magnésio e cobalto. Assim, quando estes metais ultrapassam uma concentração-limite no organismo, tornam-se tóxicos podendo trazer perigo para a saúde humana.

Existem alguns elementos que não existem naturalmente em nenhum organismo ou não desempenham funções nutricionais e bioquímicas em organismos, plantas ou animais, ou seja, a presença destes elementos (alumínio, bário, chumbo, cádmio e o arsênio), em organismos vivos é prejudicial em qualquer concentração (NAKANO & ZUCCHI, 2002).

Segundo Pires & Oliveira (2000), a toxicidade dos metais está relacionada com a forma física e química, via de administração/adsorção, dose ou tempo de exposição do elemento. Os níveis máximos permitidos pelos órgãos de controle ambiental CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), EPA (Environmental Protection Agency - EUA) e WHO (World Health Organization - ONU), quanto à qualidade da água variam entre si, sendo as diferenças reflexos do potencial toxicológico do metal e da qualidade ambiental de cada país.

O aumento da concentração de um metal tóxico a cada nível da cadeia alimentar é chamado de biomagnificação. Este processo ocorre porque a fonte de alimento para organismos de um nível superior na cadeia alimentar é progressivamente mais concentrada, aumentando assim a bioacumulação no topo da cadeia alimentar. A bioacumulação é o processo no qual organismo (inclusive humanos) podem adquirir contaminantes mais rapidamente do que seus corpos podem eliminá-los (ZÍNGARO, 1979).

2.3 ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-AES).

Para a análise de metais em água, onde, na grande maioria dos casos, são necessárias análises em escala micro (ng.mL^{-1} a $\mu\text{g.mL}^{-1}$), pois geralmente a quantidade do analito é pequena, existem várias técnicas analíticas para a determinação de elementos em nível de traço ($0,01\text{-}100 \mu\text{g.L}^{-1}$) e ultratraço ($< 0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$). Apesar de todos os benefícios alcançados nenhuma técnica analítica por si só resolve todos os problemas levando-se em conta os diferentes tipos de matrizes.

A química analítica utiliza várias técnicas para determinação de elementos em nível de traço, notadamente, a espectrometria de absorção atômica com chama (AAS), espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ou Forno de Grafite) (GFA-AAS), a espectrometria de absorção de fluorescência atômica (FAAS), a espectrometria de emissão atômica com plasma de argônio (ICP-AES), a espectrometria de massas com plasma de argônio (ICP-MS), a análise por ativação neutrônica (NAA), espectrometria de emissão de raios x emitidos por partículas (PIXE), espectrometria por fluorescência de raios X (XRF), a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), cromatografia iônica (IC) e métodos polarográficos, voltamétricos e potenciométricos (CLEMENT & YANG, 1995; OLIVEIRA, 2008). A técnica de ICP-AES no que diz respeito a limite de detecção, é menos sensível quando comparada ao método de AAS pela técnica de forno de grafite, porém possui a vantagem de permitir baixa interferência entre elementos, que é uma consequência direta de sua alta temperatura, além de ser uma técnica multielementar.

A técnica da espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) (Figura 8) é baseada na medida da intensidade da radiação emitida, quando um átomo ou um íon excitado pelo plasma retorna ao seu estado fundamental, ou seja, diferentes elementos emitem radiação nos seus comprimentos de onda característicos, cuja energia emitida corresponde à diferença entre as camadas eletrônicas de seus átomos (SKOOG et al., 1998). As informações analíticas são geradas a partir do espectro eletromagnético com radiações nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho próximo.

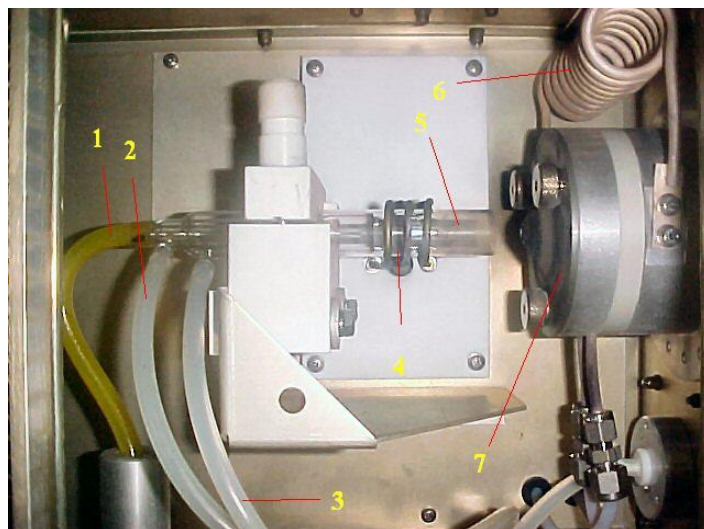


Figura 8. Tocha ICP-AES axial: 1) tubo injetor de amostra; 2) Fluxo principal de argônio; 3) fluxo de argônio auxiliar; 4) bobina de radiofrequência; 5) Tocha de quartzo; 6) bobina de ignição; 7) Cone de resfriamento.

Segundo Skoog et al. (1998) o acoplamento induzido do plasma é causado pelo efeito de um campo eletromagnético que atua sobre um fluxo de argônio com trajetória, em geral, espiral ascendente, radial ou axial ao campo eletromagnético. O gás argônio flui através de três tubos concêntricos de quartzo, ao redor do qual há uma espiral de rádio-freqüência, tipo um solenóide, feito normalmente de cobre.

A espiral é energizada por um gerador de rádio-freqüência que opera na faixa entre 5 a 75 MHz, com potência entre 1 e 2 kW, criando um campo eletromagnético alternado. O argônio que passa pelo tubo de quartzo é submetido a este campo magnético fortíssimo, de tal modo que seus átomos entram em choque, produzindo íons de argônio, elétrons livres e calor. Neste ponto, o argônio passa a ser um gás condutor de energia, característica que ele não possui a temperatura ambiente. O acoplamento propriamente dito ocorre quando se energiza o fluxo de argônio a ponto de ser possível a visualização da “tocha” de argônio incandescente com um núcleo branco e uma calda laranja-azulada na forma de chama (Figura 9) (SKOOG et al., 1998).

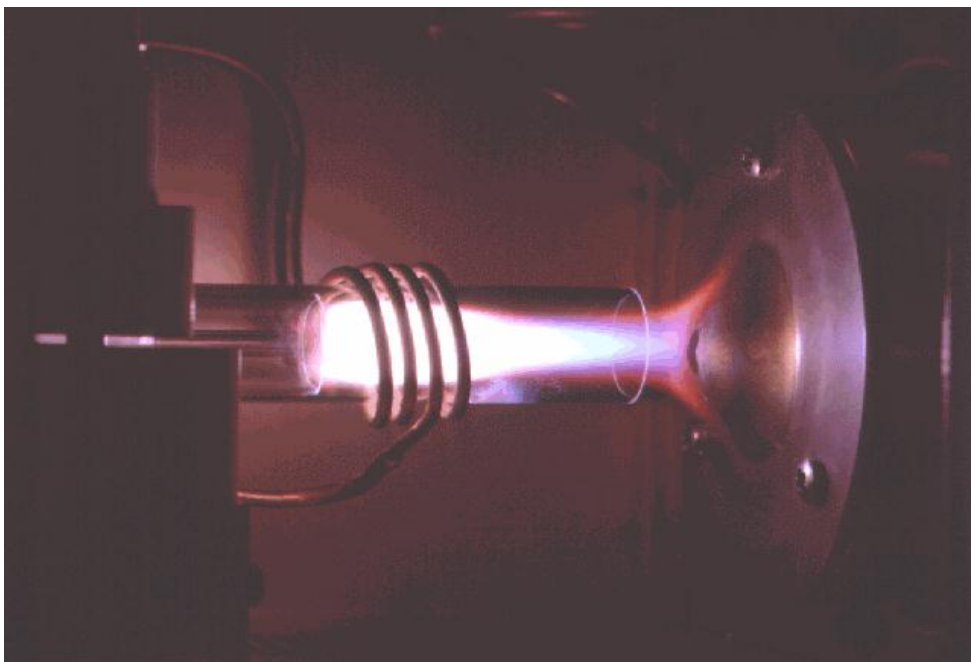


Figura 9. “Tocha” de argônio no estado de plasma induzido

Fonte: Cortesia da Varian Ind. & Com. Ltda, 2010.

Este acoplamento se dá pela aplicação de uma centelha de Tesla ou centelha piloto ao fluxo de argônio energizado. O argônio é rapidamente energizado, uma vez que a centelha

aplicada perturba mais ainda o sistema, fazendo com que os choques interpartículas tornem-se mais intensos, e maior quantidade de energia seja liberada (efeito joule).

Neste ponto, tem-se uma “tocha” de argônio estável, com temperaturas entre 6.000 e 10.000°k em seu centro (Figura 10). Esta fonte de excitação apresenta grandes vantagens sobre as outras técnicas espectrométricas, uma vez que as temperaturas alcançadas propiciam maior número de transições eletrônicas que as outras técnicas de mesmo tipo (SKOOG et al., 1998).

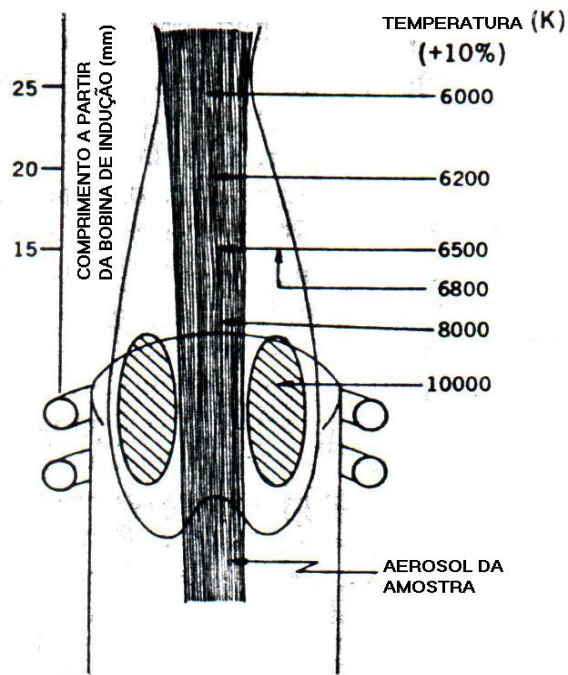


Figura 10. Temperaturas alcançadas num plasma induzido

Fonte: Cortesia da Varian Ind. & Com. Ltda, 2010.

Os instrumentos atuais são providos de detector de estado sólido (CCD) (Figura 11) que permitem efetuar medidas na região entre 167 a 785 nm, são capazes de detectar e quantificar simultaneamente até 78 elementos, com concentrações entre 1 e 100 µg/L com muita precisão, sem a necessidade de mudar suas condições de operação para cada elemento a ser analisado.

A alta temperatura do plasma elimina muitas das interferências químicas presentes na técnica de chama e a maioria dos elementos são prontamente excitados (SKOOG et al., 1998).

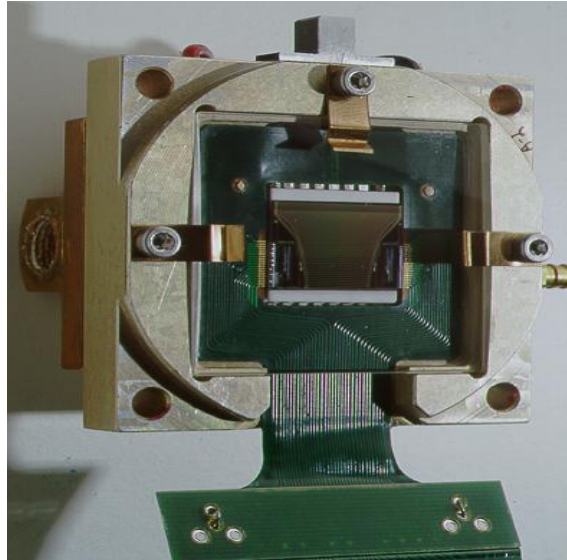


Figura 11. Detector de estado sólido do ICP-AES

2.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

2.4.1 *Boxplots*

Os gráficos boxplot podem ser úteis para mostrar as diferenças entre as populações sem fazer quaisquer suposições da distribuição estatística subjacente (MICHAEL & DAVID, 1989). Os espaçamentos entre as diferentes partes da caixa ajudam a indicar o grau de dispersão (disseminação) e assimetria nos dados e identificar valores anômalos.

O gráfico boxplot pode auxiliar na análise de dispersão dos resultados e a comparação entre um conjunto de dados. A variabilidade do conjunto de dados está diretamente ligada ao tamanho da caixa. O boxplot é composto de cinco resultados estatísticos: o valor mínimo, o 1º quartil (um valor que representa 25% do total), a mediana, o 2º quartil (um valor que representa 75% do total) e o valor máximo. Com estes dados, é possível obter informações diretas da forma de distribuição da variável (LAPPONI, 2000).

2.4.2 Teste de Dixon (teste Q)

Para Verma & Quiroz-Ruiz (2006), este teste tem como objetivo a avaliação dos erros analíticos (valores anômalos), que são avaliados a partir das funções matemáticas que originam a curva de Gauss, que projeta uma curva chamada de “curva de normalidade”.

O teste Q consiste em calcular o quociente entre o módulo da diferença entre o valor discrepante em relação ao valor mais próximo, e a amplitude entre as observações (DIXON & MASSEY, 1951; DIXON, 1953; AMARAL, 1996).

$$Q = \frac{|X_n - X_{n-1}|}{X_n - X_1}$$

Em que,

$X_n \rightarrow$ é a observação considerada outlier;

$X_{n-1} \rightarrow$ é a observação considerada a mais próxima e;

$X_n - X_1 \rightarrow$ é a amplitude entre as observações

Os valores críticos para Q são tabelados. Quando os valores calculados de Q apresentam-se superiores aos valores tabelados, serão rejeitados e considerados valores anômalos.

2.4.3 Análise de correlação

O coeficiente de correlação (r) representa a relação entre duas variáveis. Existe relação diretamente proporcional quando este é positivo, se a relação é inversamente proporcional, a correlação é negativa. Existem várias fórmulas para o cálculo do coeficiente de correlação, o modo mais simples de obtê-lo é pela raiz quadrada do coeficiente de determinação (R^2). Conforme a equação 3.

$$R^2 = 100 \cdot r^2 \quad \text{equação 3}$$

A classificação do coeficiente de correlação dá-se conforme seu valor, como apresentado na Tabela 2. Este é o critério mais usado nos resultados de trabalhos encontrados nas publicações.

Tabela 2. Distribuição dos níveis e correlações

<i>Valor correlação</i>	
R =1	Perfeita correlação
R= próxima de $\pm 0,9$	Forte correlação, de excelente a boa.
R= próxima de $\pm 0,1$	Fraca correlação, de ruim a péssima.
R= 0	Correlação nula

Fonte: COSTA, 2000

2.4.4 Análise multivariada

Na análise multivariada a extração de informações dos resultados de um experimento químico envolve a análise de grande número de variáveis. Dessa forma, quando o interesse é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto estas são semelhantes segundo as variáveis utilizadas no trabalho, destacam-se os métodos que podem ser utilizados: a Análise por agrupamento hierárquico (HCA), a análise por componentes principais (PCA) e as correlações lineares (MOITA & MOITA, 2006).

2.4.4.1 Análise de agrupamento hierárquico (HCA)

Segundo Moita & Moita (1995), existem muitas maneiras de procurar agrupamentos no espaço n-dimensional. A maneira matematicamente mais simples consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos, usando a distância euclidiana e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Este procedimento, quando repetido até que todos os pontos sejam agrupados em um só ponto, leva a construção do dendrograma.

O agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma o qual é construído diretamente por todos os programas estatísticos que fazem classificação dos dados através de agrupamento hierárquico (*hierarchical analysis ou cluster analysis*). Nesta técnica, as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si. A interpretação do dendrograma é esta: quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Na construção do dendrograma, as amostras

são colocadas no eixo horizontal e a distância euclidiana no eixo vertical. O índice de similaridade, S_{ij} , entre os pontos i e j é calculado segundo a equação 8:

$$S_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{d_{\max}} \quad \text{equação 8}$$

Onde d_{ij} é a distância entre os pontos i e j e d_{\max} é a distância máxima entre qualquer par de pontos.

Os dendrogramas, portanto, consistem em diagramas que representam a similaridade entre pares de amostras (ou grupos de amostras) numa escala que vai de um a zero (nenhuma similaridade), sendo especialmente úteis na visualização de semelhanças entre amostras ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a representação de gráficos convencionais não é possível (MOITA & MOITA, 1995).

2.4.3.2 Análise de componentes principais (PCA)

Para Kroonenberg & Melitz (1993), a análise de componentes principais (PCA) consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Assim, n -variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n -componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é obter em ordem decrescente a máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante.

Esta técnica permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois, embora a informação estatística presente nas n -variáveis originais seja a mesma dos n componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais que 90% desta informação. O gráfico da componente principal 1 versus a componente principal 2 fornece uma janela privilegiada (estatisticamente) para observação dos pontos no espaço n -dimensional (MORGAN & HENRION, 1993).

Além disso, a PCA pode ser usada para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, isto é, as variáveis originais com maior peso (*loadings*) na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA & MOITA, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 Estações de monitoramento e preparação das amostras

Para a realização deste estudo foram utilizados equipamentos cedidos pelo Centro de Proteção Ambiental (CPA) da ELETRONORTE da usina hidrelétrica de Tucuruí e pelo Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM) da Universidade Federal do Pará.

As estações de monitoramento da ELETRONORTE que foram utilizadas neste estudo estão situadas ao longo do reservatório da UHE de Tucuruí (Tabela 3) e (Figura 12).

Tabela 3. Estações de amostragem e coordenadas geográficas

<i>Siglas</i>	<i>Estações</i>	<i>Coordenadas</i>	
		<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
C1	Caraipé 1	49°42'35.62"W	3°50'9.49"S
C2	Caraipé 2	49°48'39.98"W	3°51'48.32"S
M1	Montante 1	49°37'52.51"W	3°51'47.08"S
MBB	Montante Breu Branco	49°33'51.45"W	3°47'22.50"S
MB	Montante Belauto	49°27'52.01"W	4°14'6.74"S
MT	Montante Tucuruí	49°46'7.52"W	4°21'19.33"S
M3	Montante3	49°30'22.38"W	4°24'27.52"S
MR	Montante Repartimento	49°41'51.75"W	4°13'1.38"S
B1	Base 1	49°38'57.73"W	4° 5'26.81"S
MI	Montante Ipixuna	49°24'31.67"W	4°29'36.57"S
MJV	Montante J. Velho	49°26'31.60"W	4°33'7.07"S
ML	Montante Lontra	49°31'42.05"W	4°29'53.81"S
JT	Jusante Tucuruí	49°38'53.84"W	3°47'11.52"S
NP	Nazaré dos Patos	49°36'38.96"W	3°26'48.97"S



Figura 12. Estações localizadas no Lago de Tucuruí

Fonte: Adaptado de Google Earth. 2010.

As coletas foram realizadas com o auxílio de um barco tipo voadeira, ao longo da represa em pontos escolhidos antecipadamente. Os locais de amostragens foram georeferenciados através de um sistema de posicionamento global, o GPS (*Global Positioning System*).

As coletas de água foram realizadas nos meses de maio e setembro, período chuvoso e de estiagem, respectivamente, com auxílio de uma garrafa modelo "Van Dorn" (volume de 5 litros) em duplicata, sendo coletadas nas camadas superficial (igual a 100% de irradiação solar), intermediária e fundo, obedecendo aos critérios preconizados pela CETESB (1998).

As amostras, após a coleta, foram acondicionadas em frascos descontaminados, mantidas sob refrigeração a 4° C segundo recomendação da CETESB (1998).

No laboratório montado na base 4 (Figura 13), as amostras foram filtradas em membrana de 0,45 µm de porosidade de modo a quantificar somente o material dissolvido sem adicionar ácido (elementos solúveis), e encaminhadas para o Laboratório Central da Eletronorte, onde foram efetuadas as análises espectrométricas dos elementos traço.



Figura 13. Laboratório montado na base 4 no Lago de Tucuruí

3.2 METODOS DE ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

Os parâmetros monitorados pelo Centro de Proteção Ambiental (CPA) da ELETRONORTE e pelo Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM) estão mostrados na Tabela 4 (página 52).

Toda água utilizada apresentou resistividade mínima de $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$ e foi obtida no sistema de purificação purelab ultra analytic da Elga a partir de água destilada como alimentação. Outros equipamentos utilizados estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 4. Relação das variáveis e metodologia analítica para análise de água

<i>Variáveis</i>	<i>Método Analítico</i>
pH	Eletrometria
Temperatura	Eletrometria
Oxigênio dissolvido*	Eletrometria
Condutividade	Condutimetria
Turbidez	Eletrometria
Alumínio	Espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES)
Bário	Idem ICP-AES
Ferro	Idem ICP-AES
Zinco	Idem ICP-AES
Manganês	Idem ICP-AES
Cádmio	Idem ICP-AES

(*) quantificado apenas no período chuvoso.

A espectrometria de emissão atômica com plasma induzido (ICP-AES) foi usada para determinar os metais Al, Ba, Fe, Mn, Zn e Cd.

Todos os equipamentos foram calibrados e seguiram o procedimento de qualidade analítico adotado no LAQUANAM/LACEN. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico, exceto quando outro for indicado. As curvas analíticas obtidas para realização dos ensaios por plasma (metais pesados) foram preparadas através da diluição de padrões rastreáveis a padrões NIST adquiridos na forma de soluções de 50 a 1000 $\mu\text{g/L}$.

Tabela 5. Equipamentos utilizados

<i>Equipamentos</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>
Espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado.	Varian	Vista pro
Turbidímetro	Orbeco	Hellinge (M 966).
Termômetro digital	Icel	TD-910D
pHmetro de campo	Phep 3	Hanna Instruments
Oxímetro de campo	Horiba	OM-14
Ultrapurificador de água	Elga	Purelab analityc
GPS	Etrex	Garmin
Balança analítica	Quimis	Q500L210c

3.2.1 Reagentes utilizados

Para evitar a adsorção e possíveis precipitações do analito nas paredes dos recipientes onde foram estocadas as amostras, foi utilizado neste estudo ácido nítrico PA 65% da fabricante Merck após a filtração das amostras.

3.2.2 Padrões utilizados

Todos os padrões analíticos foram preparados em meio ácido (ácido nítrico 1%) para evitar precipitação e adsorção nas paredes do recipiente.

3.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS POR ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-AES).

Para a determinação das concentrações dos elementos, foi utilizado um espectrômetro simultâneo com configuração axial, ICP-AES modelo Vista-Pro (Varian) (Figura 14).

O aparelho foi calibrado para as análises com o uso de um padrão multielementar. Estas soluções contêm todos os metais que se quer analisar, sendo necessário apenas diluir

para as concentrações de interesse. As soluções foram introduzidas por um sistema de bomba peristáltica em um atomizador de câmara ciclônica através de um nebulizador pneumático de tubo concêntrico, na qual a solução é convertida por um fluxo de gás comprimido em uma névoa de gotas finamente divididas, formando um aerossol, que é transportado até o plasma por um fluxo de argônio através do tubo central da tocha (SKOOG et al., 1998).

Os padrões utilizados para a garantia da qualidade analítica estão mostrados na Tabela 6 as características e a descrição detalhada do espectrômetro são apresentadas na Tabela 7 (página 55), os parâmetros operacionais do aparelho são mostrados na Tabela 8 (página 55).



Figura 14. Espectrômetro simultâneo modelo Vista-Pro

Tabela 6. Padrões utilizados

<i>Padrão</i>	<i>Fabricante</i>
Material padrão de referência de água SRM 1640	NIST
Padrão Multielementar aquoso rastreável a padrões NIST com 50 mg/L de Al, Ag, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Co, Mg, Mn, Mo, Na, K, Ni, Pb, Sb, Sn, Se, Sr e Zn	Spex Certiprep
Padrão Multielementar aquoso rastreável a padrões NIST com 100 mg/L de As, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Co, Fe, Li, MG, Mn, Mo, Ni, PB, Sb, Se, Sr, V, Ti, Tl e Zn	Crescent Chemical

3.4 CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICO

Para maior confiabilidade dos resultados foi realizado o controle de qualidade analítico para identificar erros prováveis que são comuns acontecerem em determinação analítica. O objetivo do controle analítico encontra campo variado nas análises de metais traço, onde as incertezas adquirem amplitudes elevadas. Os dados obtidos em uma determinação devem ser validados com precisão e exatidão. Alguns procedimentos de controle de qualidade são recomendados para estimar a precisão e a tendência dos dados. No presente trabalho o controle de qualidade foi realizado através da análise de amostra de referência com certificado NIST/SRM-1640 (National Institute of Standards and Technology) de elementos traço em água natural, onde foi avaliada a exatidão, limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) dos métodos.

Tabela 7. Características do ICP-AES

<i>Características</i>	
Frequência do gerador	40 MHz
Sistema óptico	
Policromador	Echelle- rede de difração + prisma
Densidade de ranhuras	95 ranhuras mm ⁻¹
Fenda de entrada	0,029 mm de altura e 1,4 mm de largura
Detector	Detector de estado sólido, com 70.908 pixels Extensão do λ de 167-785 nm
Sistema de introdução de amostra	
Diâmetro do tubo injetor da tocha	2,3 mm
Nebulizador	Pneumático concêntrico
Câmara de atomização	Ciclônica

Tabela 8. Parâmetros operacionais usados no ICP-AES

<i>Parâmetros</i>	
Potência da rádio-freqüência (KW)	1,40
Pressão do nebulizador (Kpa)	180
Fluxo de Argônio do Plasma (L/min.)	15
Fluxo de Argônio auxiliar (L/min.)	0,75
Tempo de introdução da amostra (seg)	40
Tempo de Lavagem (seg)	30
Tempo de estabilização (seg)	15
Tempo de Leitura (seg)	1,00
Velocidade da bomba peristáltica (RPM)	15

3.4.1 - Exatidão

É definida como sendo uma aproximação entre um valor observado e um valor de referência. Quanto menor for o desvio dos valores encontrados de um analito, em relação ao valor de referência, mais apurada é a determinação. Assim, a exatidão é calculada a partir da equação 1:

$$\% R = \frac{(\text{analito})_{\text{med}}}{(\text{analito})_{\text{ref}}} \cdot 100 \quad (\text{eq.: 1})$$

onde, %R é a recuperação total do analito, $(\text{analito})_{\text{med}}$ é a concentração do analito determinado e $(\text{analito})_{\text{ref}}$ é a concentração de referência do padrão certificado (LEITE, 2002; INMETRO, 2003). Na Tabela 9 encontram-se os resultados de recuperação dos elementos analisados na amostra de referência com certificado NIST/SRM-1640.

Tabela 9. Resultados da recuperação dos elementos no padrão de referência de água de rio SRM 1640 NIST ($\mu\text{g/L}$).

<i>Elemento</i>	<i>Valor certificado</i> \pm <i>desvio padrão</i>	<i>Valor encontrado</i> \pm <i>desvio padrão</i>	<i>Recuperação</i> (%)
Al	52,00 \pm 1,50	52,57 \pm 8,69	101,09
Cd	22,79 \pm 0,96	21,65 \pm 0,34	95,03
Ba	148 \pm 2,20	135,26 \pm 1,95	91,39
Fe	34,3 \pm 1,60	31,59 \pm 5,70	92,10
Mn	121,50 \pm 1,10	108,50 \pm 1,40	89,30
Zn	53,20 \pm 1,10	54,73 \pm 0,41	102,88

3.4.2 - Limite de detecção e limite de quantificação

Quando são realizadas medidas em amostras com baixos níveis de analitos, torna-se importante saber qual o menor valor de concentração do analito que pode ser detectado pelo método, definindo-se assim a sensibilidade do método através do cálculo do limite de detecção e limite de quantificação.

O limite de detecção (LD) é definido como a menor quantidade de um analito que pode ser detectado em uma amostra.

O limite de quantificação (LQ) é a menor quantidade de um analito que pode ser quantitativamente determinada com adequada exatidão e precisão (LEITE, 2002).

Os limites de detecção e quantificação do instrumento (Tabela 10) foram determinados através da leitura de 15 brancos (água ultrapura + ácido) com o uso das equações 2 e 3.

$$LD = \frac{3 \cdot DP_{\text{branco}}}{a} \quad (\text{eq.: 2})$$

$$LQ = \frac{10 \cdot DP_{\text{branco}}}{a} \quad (\text{eq.: 3})$$

Onde, DP_{branco} é o desvio padrão do branco, e a é o coeficiente angular da curva analítica para cada elemento.

Tabela 10. Comprimento de onda (λ), limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), coeficiente angular (a) e linear (b), e coeficiente de correlação (r).

<i>Elementos</i>	<i>λ (nm)</i>	<i>LD ($\mu\text{g/L}$)</i>	<i>LQ ($\mu\text{g/L}$)</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>R</i>
Al	308,22	2,07	40,02	1,14	107,04	0,9974
Fe	238,86	4,77	15,91	3740	54,88	0,9998
Cd	214,44	0,55	1,83	51,71	128,22	0,9992
Ba	233,53	0,81	2,70	39,43	167,63	0,9995
Mn	257,61	1,20	4,00	158,45	419,8	0,9999
Zn	213,86	0,05	0,17	30,07	140,8	0,9996

3.4.3 Tratamento estatístico dos resultados

Os métodos estatísticos foram usados no tratamento dos resultados obtidos dos parâmetros avaliados, visando compreender suas peculiaridades. Os cálculos estatísticos foram efetuados com o auxílio dos programas SPSS (Statistical Package for the Social Sciences - pacote estatístico para as ciências sociais) e Microsoft Office Excel 2007. Na estatística descritiva foram obtidos: média, desvio-padrão, coeficiente de variação, boxplot, teste Q de Dixon e na estatística multivariada foi efetuada a análise de agrupamento e correlação linear.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de referência adotados neste estudo foram selecionados atendendo-se as exigências da legislação que avalia a qualidade da água, estabelecendo limites máximos permissíveis para a concentração de metais: a Legislação Federal CONAMA 357/2005.

4.1 AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE E PROFUNDIDADE EM RELAÇÃO AS VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICO- QUÍMICAS.

4.1.1 Validação dos resultados químicos e físico-químicos a partir do teste de Dixon.

Os valores do teste **Q** de Dixon para validação da matriz devem apresentar um valor calculado (**Qc**) menor que o valor crítico tabelado (**Qt**), que variam de acordo com o número de amostras. Todos os resultados químicos e físico-químicos encontrados nas diversas estações de monitoramento foram validados com um intervalo de confiança de 95% (Tabela 11).

Tabela 11. Validação das amostras para as variáveis físico-químicas a partir dos valores críticos do teste de Dixon, em um intervalo de confiança de 95%

	<i>T</i> (°C)	<i>OD</i> (µg/L)	<i>pH</i>	<i>Turbidez</i> (UNT)	<i>Condutividade</i> (µS/cm)
<i>Qt</i> -42	-	0,2234	-	-	-
<i>Qc</i> -42	-	0,1568	-	-	-
<i>Qt</i> -84	0,2334	-	0,2334	0,2334	0,2334
<i>Qc</i> -84	0,2165	-	0,2815	0,1725	0,2254
<i>Qt</i> -83	-	-	0,1934	-	-
<i>Qc</i> -83	-	-	0,1275	-	-

(Qt-42), (Qt-83) e (Qt-84), valores Tabelados por Verma & Quiroz-Ruiz (2006), para 42, 83 e 84 amostras, respectivamente; (Qc-42), (Qc-83) e (Qc-84) valores calculados no estudo atual para 42, 83, 84 amostras, respectivamente.

Os parâmetros temperatura, turbidez e condutividade foram validados por um valor Tabelado **Qt** (0,2334) para 84 amostras. A exceção ocorreu nos valores de pH, que foram validados com 83 amostras, pois apresentou valor **Qc** (0,2815), maior que o valor Tabelado.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade, não apresentaram nenhum valor anômalo, pois as mesmas assumiram valores calculados (**Qc**) abaixo dos valores Tabelados (**Qt**) para a mesma área de estudo.

4.1.2 Temperatura no reservatório da UHE de Tucuruí

A temperatura é um importante parâmetro que sofre influência de inúmeros fatores ambientais tem importância ambiental e participa de diversos processos como por exemplo: acelera as reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua a sensação de odor e sabor, influencia no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção de oxigênio e na precipitação de compostos.

A distribuição dos valores de temperatura ao longo das estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, expressos em dois períodos sazonais e três profundidades estão descritos na Tabela 12 (página 60).

A temperatura foi validada pelo teste Q de Dixon, onde o valor calculado neste estudo **Qc** (0,2165), foi menor que o valor Tabelado **Qt** (0,2334) (VERMA & QUIROZ-RUIZ, 2006), logo este estudo não apresentou nenhum valor anômalo ao longo da coluna d'água para as 84 amostras, presentes na Figura A.1 (apêndice 1 - pag. 134).

No período chuvoso (Figura 15) os maiores valores para temperatura ocorreram na camada superficial das estações ML, C2, B1 e MT, possivelmente devido as coletas terem ocorrido durante o dia, com poucas nuvens, a exceção ocorreu na camada superficial do ponto MI. Os pontos M3, M1, C2 e ML na camada de fundo apresentaram as menores temperaturas.

Neste mesmo período a temperatura em todos os pontos de amostragem do reservatório está de acordo com a legislação para as águas de Classe II, sendo que o valor mínimo detectado foi de 28 °C na camada de fundo da estação M3, enquanto que o valor máximo 30,9°C na camada superficial da estação ML.

A temperatura média estimada durante o período chuvoso nas águas do reservatório da UHE de Tucuruí foi de 29,15±0,5 °C. Os valores médios da temperatura na coluna d'água nas

quatorze estações de monitoramento foram na superfície 29,5 °C, na camada intermediária 29,3°C e na camada de fundo 28,6 °C.

Tabela 12. Distribuição dos valores de temperatura (°C) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	28,3	29,0	29,0	30,8	30,6	30,6
MJV	M. J. Velho	29,8	29,7	28,6	30,7	30,7	30,6
ML	M. Lontra	30,9	29,4	28,3	32,8	31,2	30,3
M3	Montante3	29,5	29,5	28,0	32,1	30,6	30,6
MB	M. Belauto	29,0	29,0	28,5	31,0	30,5	30,5
MT	M. Tucuruí	30,0	29,7	28,6	30,8	30,7	30,7
MR	M.Repartimento	29,8	29,7	28,9	30,1	30,1	30,2
B1	Base 1	30,0	28,9	28,8	30,6	30,5	30,6
C1	Caraipé 1	29,8	29,6	29,1	29,2	29,1	29,0
C2	Caraipé2	30,2	29,9	28,3	31,1	30,9	30,2
MBB	M. Breu Branco	29,0	29,3	28,6	30,8	30,0	29,8
M1	Montante 1	29,4	29,4	28,4	30,3	29,9	29,6
NP	N. dos patos	28,8	28,6	28,7	29,6	29,5	29,3
JT	J. Tucuruí	29,0	29,0	28,8	29,6	29,5	29,4
	Média	29,5	29,3	28,6	30,6	30,2	30,1
	Desvio padrão	0,67	0,38	0,30	0,95	0,60	0,57
	C.V. (%)	2,3	1,3	1,0	3,1	2,0	1,9
	Valor mínimo	28,3	28,6	28,0	29,2	29,1	29,3
	Valor máximo	30,9	29,9	29,1	32,8	30,9	30,7

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 357/2005), para classificação das águas de classe II

Durante o período de maior precipitação, observa-se a partir da representação gráfica que houve uma tendência de inclinação no sentido das menores valores para temperatura a medida que aumenta a profundidade na maioria das estações de monitoramento, exceto na estação MI.

As diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, que em si já formam uma barreira física, impedindo que se misturem, e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, tal como em NP e JT, criando uma condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente (SANTOS, 2003).

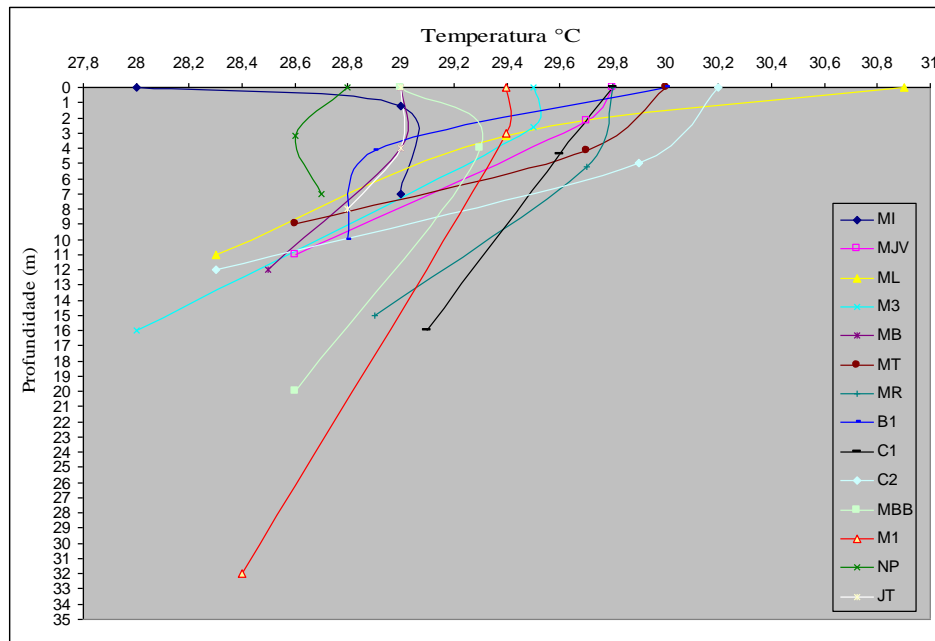


Figura 15. Variação da temperatura no período chuvoso

No período de estiagem (Figura 16) houve aumento nos valores da temperatura, observando-se pouca variação nos valores em relação às três profundidades. As maiores temperaturas (acima de 30°C) ocorreram na camada superficial das estações MI, MJV, ML, M3, MB, MT, C1, C2, MBB, M1, NP, JT e M3, o que pode ser justificável devido à maior incidência de raios solares na camada superficial da lâmina d'água, característico do período de coleta. A exceção ocorreu estação MR, que apresentou maior temperatura na camada fundo de fundo.

No mesmo período, maiores valores para temperatura ocorreu na superfície do ponto ML (32,8 °C), já a menor temperatura foi verificada na camada de fundo da estação C1 (29,0 °C). As demais estações de monitoramento, também apresentaram as menores temperaturas na camada de fundo.

Na estiagem verificou-se o aumento da temperatura, sobretudo nas camadas superficiais de todas as estações, ocasionado pelo aumento da incidência solar o que somado a aos ventos, uniformiza as temperaturas na massa d'água.

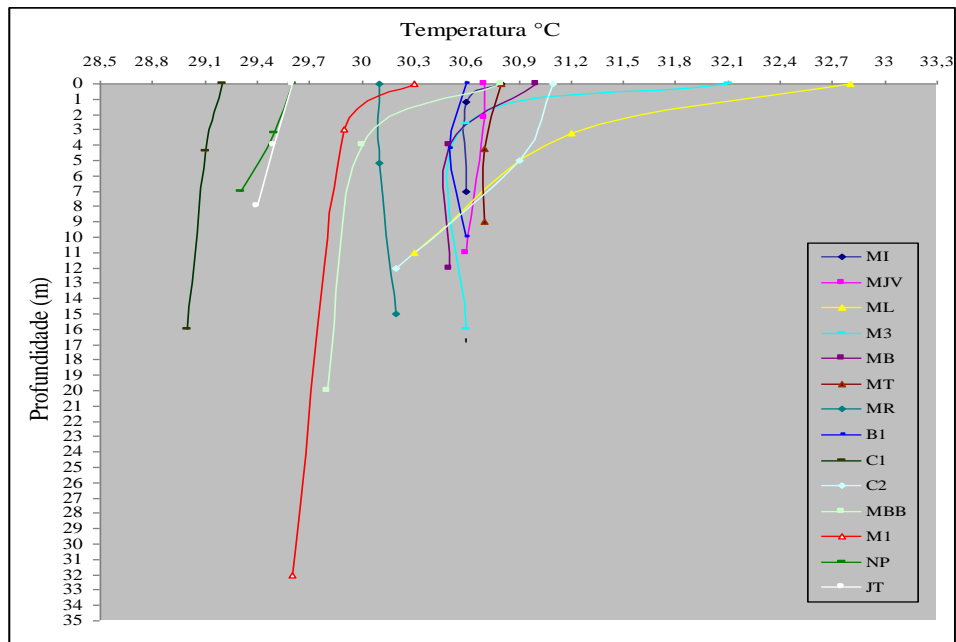


Figura 16. Variação da temperatura no período de estiagem

A partir da análise gráfica dos *boxplot* (Figura 17), foi possível concluir que durante o período de maior precipitação houve pouca variabilidade da temperatura entre as camadas superficiais, intermediária, sobretudo na camada de fundo, estando coerente com o valor médio do coeficiente de variação de 1,5%, com uma tendência de redução a medida que se aumenta a profundidade. Mesma tendência foi observada no período de estiagem. Fato que pode estar relacionado com o longo período de retenção da água na calha do rio Tocantins.

No período de estiagem, a temperatura apresentou um pequeno incremento na variabilidade e um coeficiente de variação médio de 2,3% para as três profundidades, confirmando a maior variabilidade deste período em relação ao período chuvoso, o que pode ser justificado pela diminuição do volume de água, típica deste período, facilitando a troca de calor entre as camadas d'água da zona eufótica e águas do fundo do lago. Neste período foi observada a maior temperatura na camada superficial da estação.

A temperatura média estimada no período de estiagem nas águas do reservatório da UHE de Tucuruí foi de $30,3 \pm 0,75$ °C, entre as três profundidades. Os valores médios da temperatura na superfície da coluna d'água nas quatorze estações de monitoramento foram de 30,68 °C, na camada intermediária foi de 30,27 °C e na camada de fundo foi de 30,10 °C.

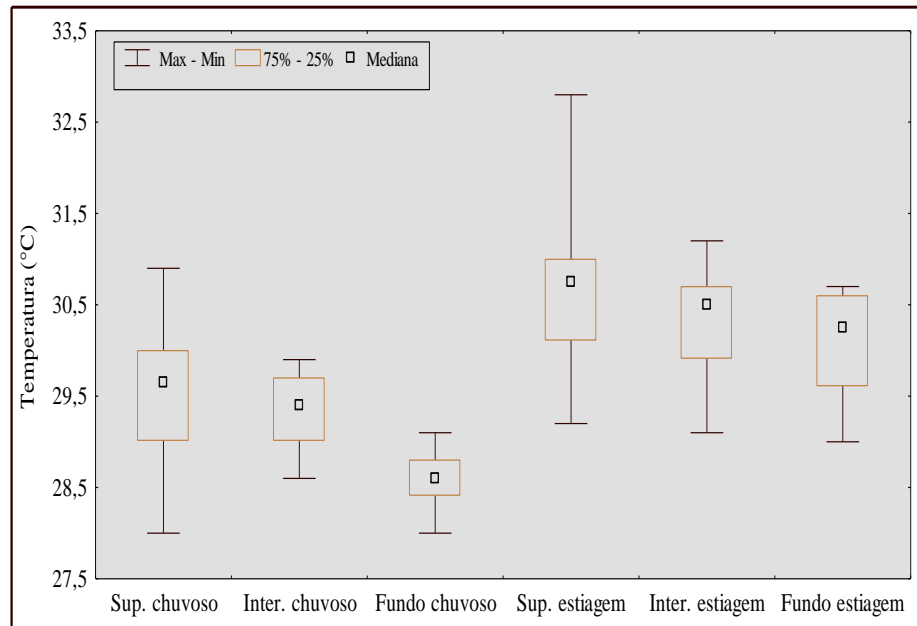


Figura 17. Variabilidade da temperatura no reservatório da UHE Tucuruí

No período de menor precipitação a temperatura em todos os pontos de amostragem do reservatório está de acordo com a legislação para as águas de Classe II.

4.1.3 Oxigênio dissolvido no reservatório da UHE de Tucuruí

O oxigênio é um dos gases mais importantes para a dinâmica e a caracterização de ecossistemas aquáticos, pois permite avaliar as condições naturais do corpo hídrico e, detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica (ESTEVES, 1998).

O reservatório da UHE de Tucuruí é um lago com grande profundidade, o seu manancial apresenta diminuição do teor de oxigênio pelo fato de reagir com a matéria orgânica e também pela falta de um mecanismo qualquer que possibilite sua reposição com rapidez. Estas explicações servem de base para a elucidação da diminuição do teor de oxigênio dissolvido, a medida que a profundidade aumenta. Na Tabela 13 (página 64) estão apresentadas as concentrações de oxigênio dissolvido em três profundidades.

O teste de validação da matriz (Figura A.2 - apêndice 1 - pag. 134), mostrou o valor calculado neste estudo Q_c (0,1568), foi menor que o valor Tabelado Q_t (0,2234), (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), por isso, o estudo atual não apresentou nenhum valor anômalo em 42 amostras ao longo das estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí.

Esta variável foi analisada apenas no período chuvoso (Figura 18), o que restringe a comparação com a sazonalidade. Dentre as 42 amostras analisadas, 13 estão em não conformidade, porém em termos de média ($5,6 \pm 1,3$ mg/L), entre as três profundidades, o resultado para OD se apresentou em conformidade com a legislação. A média encontrada ficou acima do valor médio (3,7 mg/L), verificado durante o enchimento do reservatório, mencionados por Pereira et al. (2007).

Tabela 13. Distribuição de oxigênio dissolvido (mg/L) no período chuvoso

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	4,8	4,6	4,2
MJV	M. J. Velho	4,8	5,0	4,8
ML	M. Lontra	6,2	6,2	3,5
M3	Montante3	7,4	7,2	5,2
MB	M. Belauto	6,4	6,0	1,8
MT	M. Tucuruí	6,8	6,4	4,7
MR	M.Repartimento	6,0	5,6	0,7
B1	Base 1	6,6	5,5	5,4
C1	Caraipé 1	6,2	5,3	4,3
C2	Caraipé2	6,2	5,4	0,9
MBB	M. Breu Branco	7,0	5,0	4,0
M1	Montante 1	6,7	6,0	4,6
NP	N. dos patos	8,9	7,3	6,8
JT	J. Tucuruí	8,8	7,3	7,7
	Média	6,6	5,9	4,1
	Desvio padrão	1,2	0,8	1,9
	C.V. (%)	18,2	13,6	46,3
	Valor mínimo	4,80	4,60	0,7
	Valor máximo	8,90	7,3	6,8
	CONAMA	≥ 5	≥ 5	≥ 5

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005); Os valores em vermelho não estão em conformidade com a legislação para água de

classe II

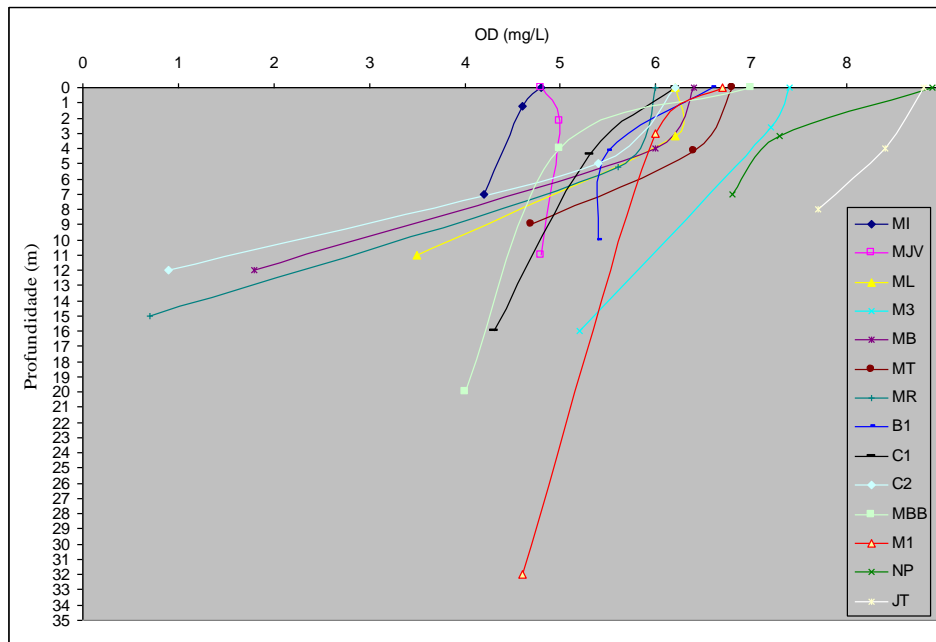


Figura 18. Variação do OD (mg/L) no período chuvoso

A maioria das estações de monitoramento do reservatório registraram maiores concentrações de oxigênio dissolvido em suas camadas superficiais das estações MI, M3, MB, MP, B1, MBB, M1, NP e JT. A exceção ocorreu na estação ML, que apresentou concentração maior de oxigênio dissolvido na camada intermediária, sugerindo possíveis fontes de contaminação na camada superficial devido sua proximidade com a cidade de Marabá. Na Figura 19, verifica-se que as estações M1 e MBB, apresentam pouca variação de concentração com o aumento da profundidade, sendo justificado pelo fato de estas estações estarem situadas em uma unidade de conservação, criada pela Eletronorte.

O oxigênio dissolvido diminui ou desaparece quando grandes quantidades de matéria orgânica estão presentes nos corpos d'água e são decompostos por microorganismos que se utilizam do oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microorganismos decompositores e conseqüentemente, maior o consumo de oxigênio (SIQUEIRA, 2001a).

Os valores máximos e mínimos (Figura 19) foram encontrados, respectivamente, nos pontos Nazaré dos Patos superfície (8,9 mg/L) e Montante Repartimento a 15 m (0,7 mg/L). O valor máximo pode estar relacionado com a menor profundidade da coluna d'água na calha do rio Tocantins a jusante após o seu barramento, possibilitando um aumento da zona eufótica, repercutindo positivamente na atividade fotossintética das algas e consecutivamente na concentração de oxigênio dissolvido, contrapondo-se a outros valores encontrados na literatura (SANTOS, 2003).

Durante o período de maior precipitação houve uma considerável variabilidade entre os valores de oxigênio dissolvido entre a camada superficial e fundo, expressa no valor médio do coeficiente de variação de 5,5%. Apesar de haver maior variabilidade na camada de fundo, esta camada apresenta os menores teores para esta variável. Fato este que pode ser justificado devido à dificuldade de penetração dos raios solares, dificultando a atividade fotossintética (EVANGELISTA, 1993).

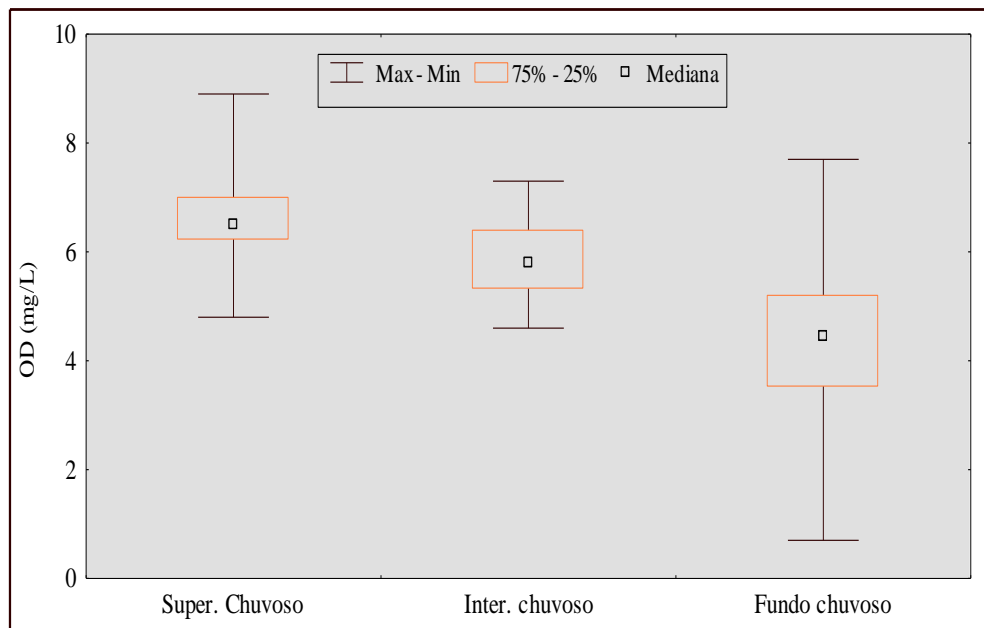


Figura 19. Variabilidade do OD (mg/L) no reservatório da UHE Tucuruí

Os baixos valores encontrados para oxigênio dissolvido podem ter causas naturais isoladas ou fonte de contaminação antropogênica, como por exemplo, os valores encontrados na estação Montante Repartimento na camada de fundo (0,7 mg/L) podendo ser justificável pelo ambiente redutor, característico de locais onde ocorre a construção de represas sobre florestas tropicais, proporcionando um grande consumo de oxigênio resultante da decomposição bacteriana de matéria orgânica. Nos ambientes anóxicos formados por essa decomposição são também liberadas para a coluna d'água grandes quantidades de compostos de nitrogênio e fósforo.

Segundo Pereira et al. (2007), em rios amazônicos isentos de influência antrópica o OD deve variar de 6 a 8 mg/L, os autores relataram uma variação de 2,6 a 6,3 mg/L para OD no rio Murucupi, indicando redução do OD devido o lançamento clandestino de esgotos domésticos e efluentes industriais. Em valores de OD abaixo de 5 mg/L algumas espécies da biota aquática não sobrevivem.

4.1.4 Potencial hidrogeniônico (pH) no reservatório da UHE de Tucuruí

O pH é uma variável importantes no ecossistema aquático, pois é capaz de determinar a dissolução, precipitação, oxidação e redução de várias substâncias (BOURG & LOCH, 1995; GILL, 1996; WEINER, 2000).

O teste de Dixon e as investigações químico-ambientais constataram que o valor de pH (4,3) apresentado na camada intermediária da estação Montante Lontra, durante o período chuvoso, tratava-se de um valor anômalo, pois o valor calculado no atual estudo (0,2815), foi maior que o valor Tabelado **Qt** (0,2334) (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), para 84 amostras.

Os dados foram validados, excluindo-se apenas o valor anômalo, onde o novo valor calculado **Qc** (0,1275), neste estudo, mostrou-se menor que o valor Tabelado de **Qt** (0,1934), (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), em 83 amostras. Assim, foi produzido outro gráfico do tipo histograma, sem o valor anômalo (Figura 20) (Figura 21).

Os valores de pH nas quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí estão representados na Tabela 14 (página 68).

Para o período chuvoso (Figura 22), 6 pontos analisados apresentaram-se fora da faixa de 6 a 9 estabelecida pela resolução 357/05 do CONAMA, notadamente, nas estações C2 (fundo) com pH 5,8 e na (superfície) com pH 5,9; MI (fundo) com pH 5,9; ML (superfície) com pH 4,3; ML (intermediária) pH 5,95; MB (fundo) pH de 5,9; entretanto, o valor estimado da média ($6,3 \pm 0,4$), manteve-se em conformidade com a resolução.

Essa variável demonstrou valores mais elevados na camada intermediária da maioria das estações (MI, MJV, M3, MB, MP, MR, B1, C2, C1, MBB, M1 e NP), já os menores valores foram encontrados na camada de fundo das estações MI, MJV, MB, MP, MR, C2, C1, MBB e M1.

Tabela 14. Distribuição dos valores de pH no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	6,1	6,3	5,9	6,8	6,8	7,1
MJV	M. J. Velho	6,2	6,2	6,1	6,9	6,7	6,6
ML	M. Lontra	6,2	4,3*	5,9	6,9	6,9	6,8
M3	Montante3	6,2	6,4	6,3	7,3	7,1	7,1
MB	M. Belauto	6,1	6,4	5,9	7,2	7,1	7,0
MT	M. Tucuruí	6,7	6,7	6,3	7,0	6,8	6,8
MR	M.Repartimento	6,2	6,3	6	7,1	6,9	6,5
B1	Base 1	6,2	6,2	6,2	7,1	7,3	7,4
C1	Caraipé 1	6,2	6,3	6,2	6,8	6,9	6,8
C2	Caraipé2	5,9	6,2	5,8	7,0	7,0	6,9
MBB	M. Breu Branco	6,6	6,7	6,5	7,5	7,3	7,0
M1	Montante 1	7,0	7,0	6,8	7,1	7,0	6,9
NP	N. dos patos	6,2	6,3	6,3	6,8	6,8	6,8
JT	J. Tucuruí	6,1	6,5	6,6	6,6	6,6	6,5
	Média	6,2	6,2	6,2	7,0	6,9	6,9
	Desvio padrão	0,2	0,6	0,2	0,2	0,1	0,2
	C.V. (%)	4,5	9,9	4,7	3,4	2,7	3,5
	Valor mínimo	5,9	4,3	5,8	6,8	6,7	6,5
	Valor máximo	7,0	7,0	6,8	7,5	7,3	7,4
	CONAMA	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9

(*) valor anômalo, segundo teste Q de Dixon, num intervalo de confiança de 95%; Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005); Os valores em vermelho não estão em conformidade com a legislação para água de classe II.

Tanto os valores máximos quanto mínimo do período chuvoso foram registrados na camada intermediária pH 7,04 (estação MI) e pH 4,3 (estação ML).

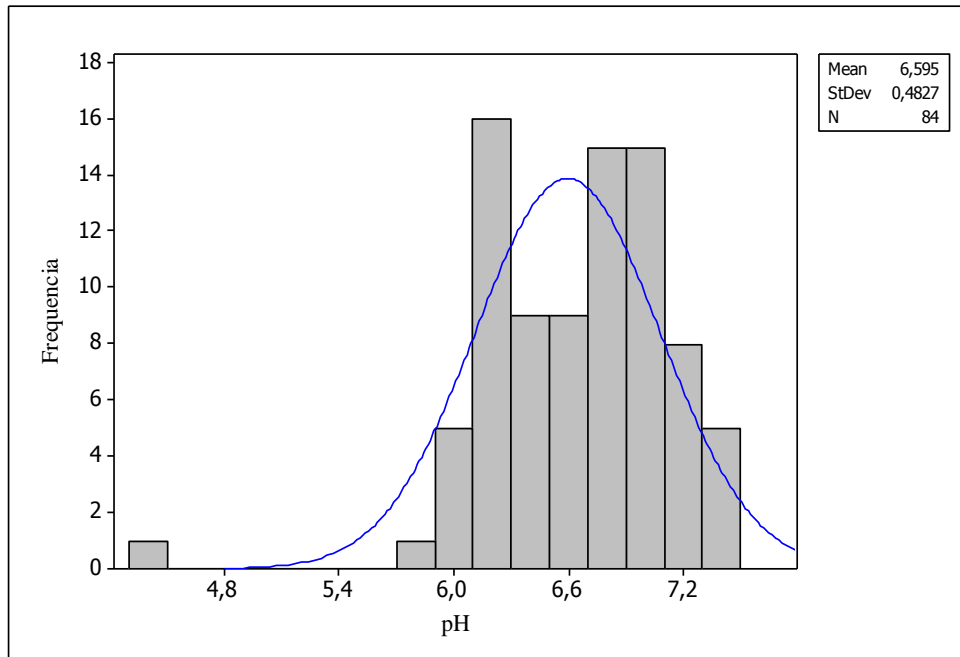


Figura 20. Validação da matriz para a variável pH

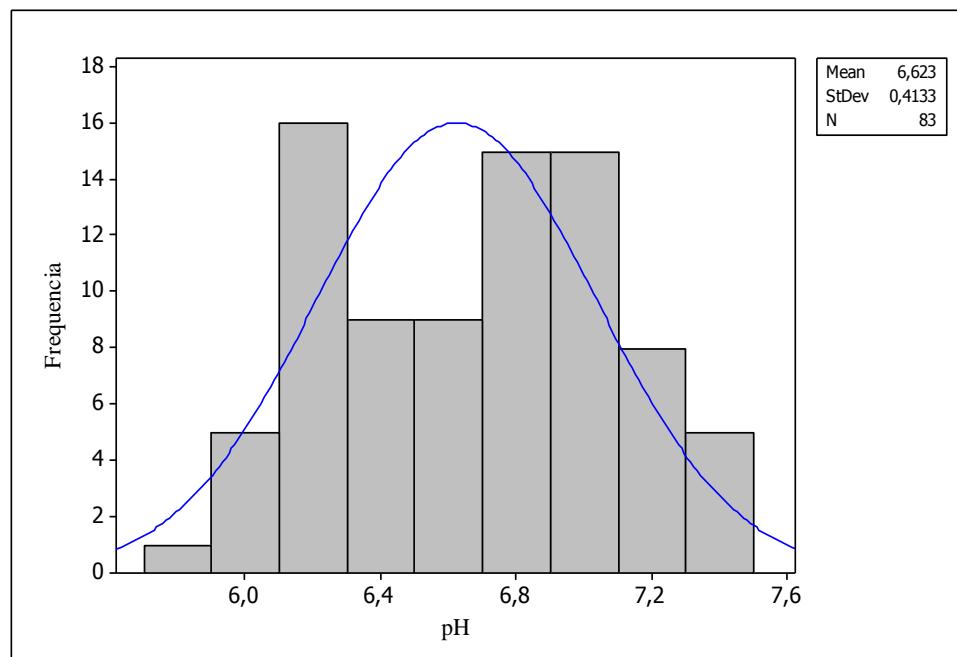


Figura 21. Validação da matriz para a variável pH, sem o valor anômalo

Durante o período de estiagem (Figura 23) observou-se um decréscimo nos valores de pH à medida que se aumentou a profundidade de coleta nas estações de monitoramento MJV, ML, M3, MT, MR, C2, MBB E JT23. O maior valor foi verificado na camada superficial do ponto MBB de pH (7,55). A elevação do pH pode estar relacionada com a atividade fotossintética das algas que retiram gás carbônico das águas, diminuindo sua acidez

(EVANGELISTA, 1993). Já o menor valor de pH deu-se na camada fundo na estação MR com pH (6,56).

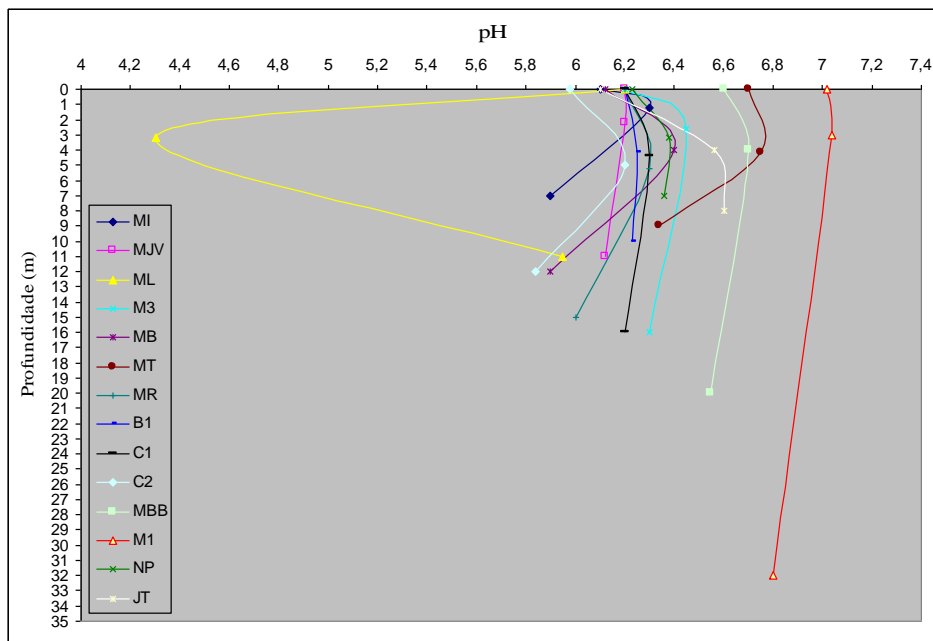


Figura 22. Variação do pH no período chuvoso

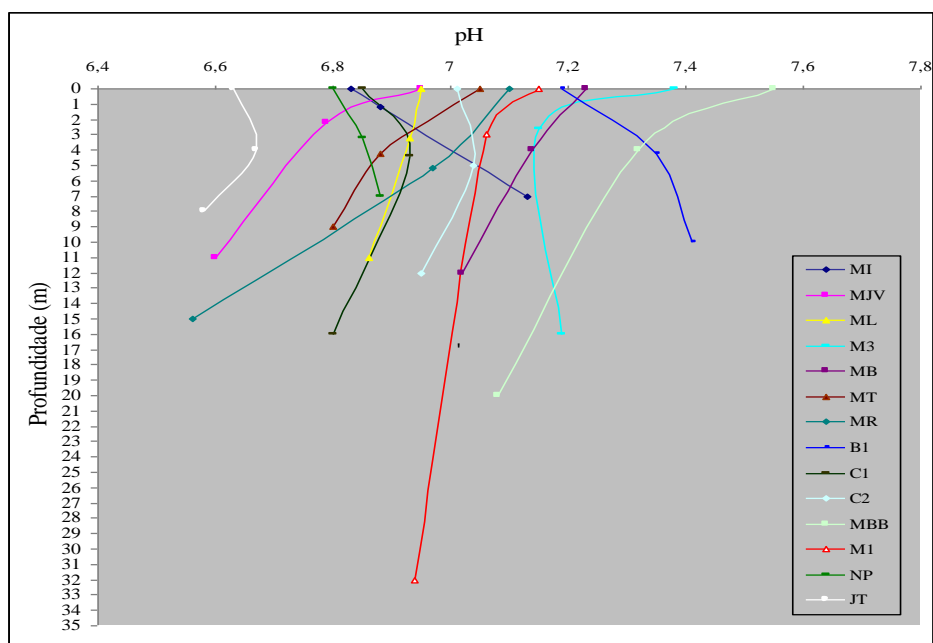


Figura 23. Variação do pH no período de estiagem

Ainda no período de menor precipitação, os resultados de pH variaram entre 6,57 a 7,55 condizentes com os valores 6,5 a 7,2 mencionados por Pereira et al. (2005) para o rio Tocantins, onde provavelmente, as elevadas concentrações de metais alcalino-terrosos, cálcio,

magnésio e bicarbonatos, mantêm o equilíbrio ácido-base, sendo fundamental para a manutenção do pH de levemente ácido a neutro.

Segundo Silva et al. (2007) que estudou o efeito da sazonalidade sobre a qualidade das águas da subbacia do rio da Ponte (Ouro Preto-MG) os valores de pH variaram entre 6,15 - 7,50 (período de estiagem) e 5,93 - 7,71 (período chuvoso). Esses valores encontram-se dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA N° 357 (pH 6,0 - 9,0) e estão de acordo com a média estimada ($7,0 \pm 0,2$), encontrada neste trabalho durante a estiagem.

Durante o período de maior precipitação observou-se discreta variabilidade nos valores de pH em relação às três profundidades, verificando-se pela análise *boxplot* (Figura 24) e do valor médio do coeficiente de variação de 6,4%. O valor mínimo (4,3) para esta variável encontra-se na camada intermediária. Ao passo que durante o período de menor precipitação houve pouca variabilidade, havendo uma aproximação dos valores em relação ao terceiro quartil e uma diminuição do coeficiente de variação médio para 3,2%. Somente no período de estiagem ocorre uma tendência de queda no pH a medida que se aumenta a profundidade, no período chuvoso esta tendência só é aparente a partir da faixa intermediária e fundo.

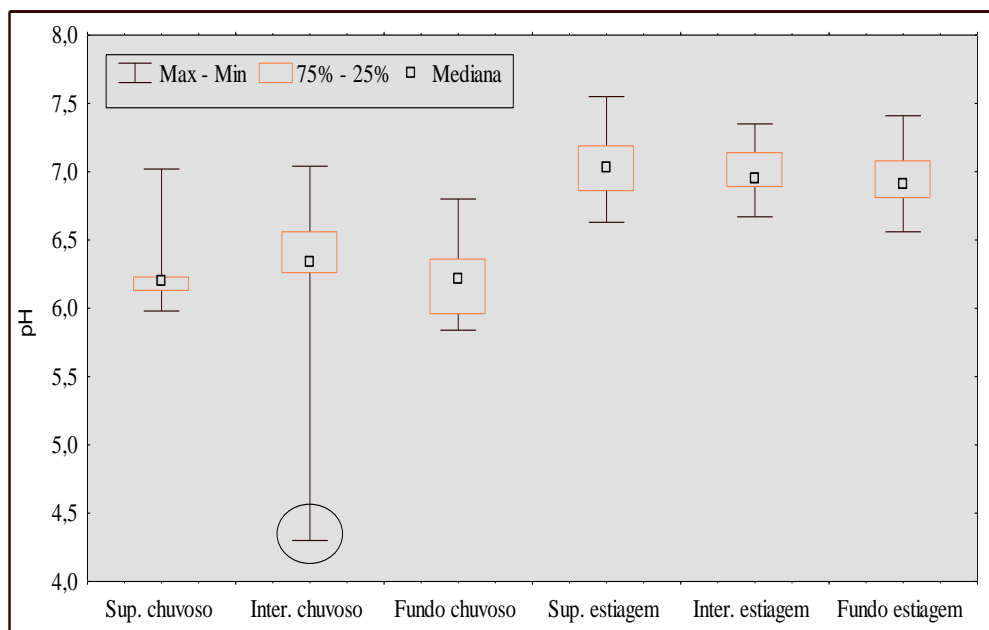


Figura 24. Variabilidade do pH no reservatório da UHE de Tucuruí

Nos rios amazônicos, o potencial hidrogeniônico das águas naturais está associado com as condições eletrolíticas das águas. Dessa forma, os corpos d'água que se encontram próximos de áreas estuarinas rica em eletrólitos, apresentam pH próximo à neutralidade (6,5 a

6,9), enquanto que as águas ricas em ácidos húmicos e fúlvicos normalmente são ácidas (4,5 a 6,1) (PEREIRA et al., 2007).

Pereira et al. (2005) estudou as águas do rio Xingu que se apresentou com um pH variando de 6,5 a 7,2, condizente com os valores encontrados neste estudo, onde provavelmente, as elevadas concentrações de metais alcalino-terrosos, cálcio, magnésio e bicarbonatos, mantêm o equilíbrio ácido-base, sendo fundamental para a manutenção do pH de levemente ácido a neutro.

4.1.5 Turbidez no reservatório da UHE de Tucuruí

A erosão das margens do reservatório da UHE de Tucuruí já é evidente e contribui para o aumento desta variável na água da área de estudo. Os altos valores de turbidez podem influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, podendo influenciar na redução da atividade fotossintética da vegetação submersa e algas, logo, suprimindo a produtividade de peixes (OLIVEIRA, 2008).

Os valores de turbidez nas estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí ao longo das quatorze pontos de monitoramento em três profundidades diferentes podem ser visualizados na Tabela 15 (página 73).

A validação da matriz para a variável turbidez, mostrou que o valor calculado Q_c (0,1725), neste estudo, foi menor em comparação ao valor Tabelado Q_t (0,2334), (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006). Logo, dentre as 84 amostras, não houve nenhum valor considerado anômalo (Figura A.3 apêndice 1 - pag.134).

No período chuvoso (Figura 25) o valor máximo para turbidez (36,4 UNT), ocorreu na camada superficial da estação NP, possivelmente causado pelo aumento dos índices pluviométricos, característicos do período de coleta, agindo sobre o material depositado no solo (silte, areia e argila), carreando-os para o corpo d'água (EVANGELISTA, 1993). O valor mínimo de (2,6 UNT) na camada de fundo da estação C1. Apesar disto estas estações estão dentro dos padrões estabelecidos na legislação.

Tabela 15. Distribuição dos valores de turbidez (UNT) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	34	32,6	33,1	16,2	7,1	11,3
MJV	M. J. Velho	25,1	15,9	21,3	11,5	15,3	16,9
ML	M. Lontra	19,8	27,5	23,5	13,1	8	10,4
M3	Montante3	12,7	10,9	8,9	25,1	20,1	20,2
MB	M. Belauto	4,6	3,7	6,9	5,8	11,3	6,4
MT	M. Tucuruí	13,9	12,5	9,8	10,3	8,3	13,1
MR	M.Repartimento	29,9	10,3	15,7	17,4	18,3	15,9
B1	Base 1	7,8	8,9	11,2	16,7	10,4	6,7
C1	Caraipé 1	3,1	5,1	2,6	23,1	20,1	25,4
C2	Caraipé2	6,9	6,6	9,9	24,5	23,9	24,4
MBB	M. Breu Branco	24,7	27,8	30,1	17,7	18,5	10
M1	Montante 1	22,6	23,2	25,7	11,7	7,3	12,8
NP	N. dos patos	36,4	35,9	19,4	24,5	25,9	23,8
JT	J. Tucuruí	30,3	34,5	29,9	14,2	13,3	15,9
	Média	19,4	18,2	17,7	16,5	14,8	15,2
	Desvio padrão	11,2	11,5	9,7	5,9	6,3	6,3
	C.V. (%)	58,9	63,5	55,2	36,1	42,9	41,4
	Valor mínimo	3,1	3,7	2,6	5,8	7,1	6,4
	Valor máximo	36,4	34,5	33,1	24,5	25,9	25,4
	CONAMA	100	100	100	100	100	100

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 357/2005), para classificação das águas de classe II.

No período de menor precipitação (Figura 26), observa-se que ocorre um decréscimo nos valores de turbidez, fase ao menor arraste de sólidos lixiviados de terrenos adjacentes para o interior do lago de Tucuruí.

Ainda para este período, os valores maiores desta variável foram verificados na camada superficial da estação M3; na camada superficial da estação JT e na camada de fundo da estação C1. O valor máximo para turbidez deu-se na camada superficial JT (25,9 UNT), ao passo que o mínimo valor (5,8 UNT), foi verificado na superfície da estação MB.

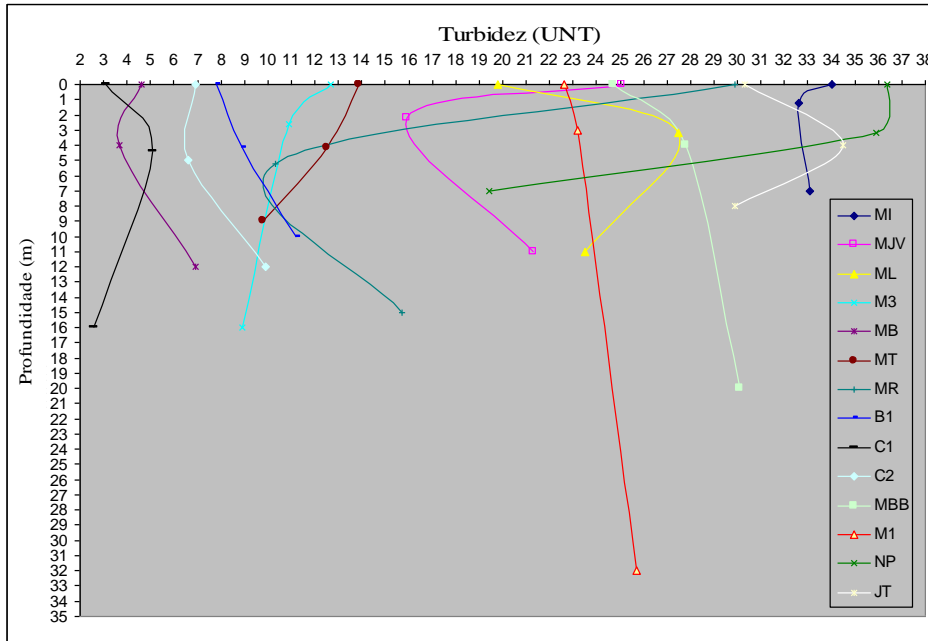


Figura 25. Variação da turbidez (UNT) no período chuvoso

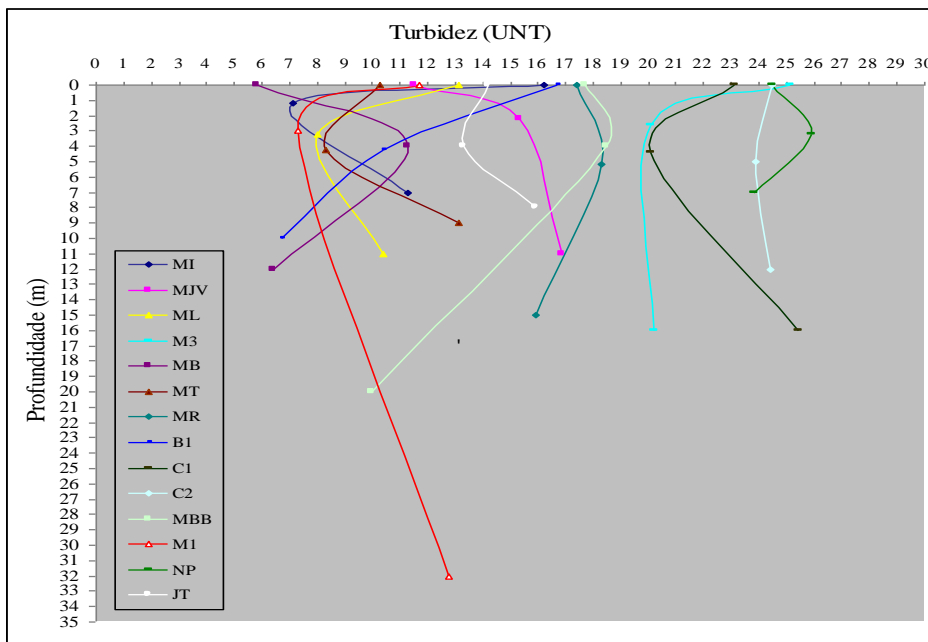


Figura 26. Variação da turbidez (UNT) no período de estiagem

O valor máximo para turbidez foi verificado na superfície da estação NP (36,4 UNT), o que está relacionado com a grande quantidade de material particulado em suspensão, característico deste período.

A partir da análise gráfica do *boxplot* (Figura 27), foi possível concluir que durante o período de maior precipitação houve uma grande variabilidade da turbidez em relação às três profundidades, onde mais de 60% das amostras coletadas neste período possui teores acima

da mediana, além de apresentar um valor médio para o coeficiente de variação de 59,2% com uma forte tendência de redução da turbidez no período de estiagem e nas três profundidades. Já nos períodos de estiagem a turbidez apesar de ter apresentado uma considerável variabilidade, apresentou uma diminuição em seus valores máximos e mínimos quando comparada ao período chuvoso nas três profundidades, expressos em um valor médio para o coeficiente de variação de 40,1% para este mesmo período.

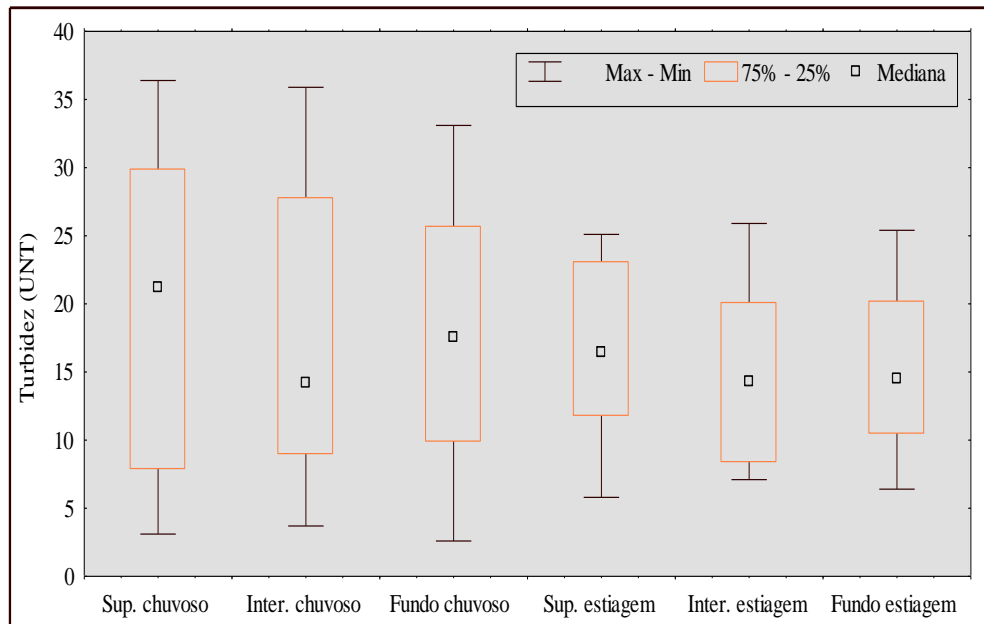


Figura 27. Variabilidade da turbidez (UNT) no reservatório da UHE Tucuruí

Pereira et al. (2007) encontraram turbidez variando de 17 a 34 UNT no rio Murucupi, coerentes com os valores estimados para as médias deste estudo no período chuvoso e no período de estiagem respectivamente, $(18,46 \pm 10,8 \text{ UNT})$ e $(15,54 \pm 6,2 \text{ UNT})$, estando abaixo dos teores estabelecidos pela legislação (100 UNT).

4.1.6 Condutividade elétrica no reservatório da UHE de Tucuruí

A condutividade elétrica expressa numericamente à capacidade de uma solução aquosa para conduzir corrente elétrica. Esta capacidade depende da presença de íons, de sua concentração total, mobilidade e da valência. Este parâmetro não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem

ocasionada por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, entre outros (CETESB, 2004).

Os valores da matriz para condutividade, validados pelo teste Q de Dixon mostraram-se sem valores anômalos, já que o valor calculado **Qc** (0,2254) no estudo atual, foi menor que o valor Tabelado **Qt** (0,2334), por Verma & Quiroz-Ruiz (2006), para 84 amostras, logo não apresentando nenhum valor anômalo (Figura A.4 - apêndice 1 - pag. 134).

Durante o mês de maio, os maiores valores de condutividade (Tabela 16 - página 77) ocorreram na camada superficial da maioria das estações como em MJV, M3, MP, B1, C1, M1, NP e JT. Enquanto que os menores valores foram na camada de fundo das estações MI, MJV, M3, B1, C1 e NP (Figura 28).

Neste mesmo período o maior valor para condutividade foi de 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na camada de fundo da estação MR, ao passo que o menor valor de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ocorreu na camada superficial e fundo da estação MI. Em termos de média o valor de condutividade para este período foi estimado em $46 \pm 3,6$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que possivelmente está relacionado com a dissolução de rochas carbonatadas (PEREIRA et al., 2007).

Percebe-se que a intensa atividade de decomposição da biomassa submersa, aliada a mineralização causada pelo decréscimo de oxigênio na maioria das estações do período chuvoso, pode contribuir para a elevação da condutividade na estação em MR.

No período de estiagem a condutividade apresenta maiores valores na camada de fundo nas seguintes estações de monitoramento MI, ML, M3, MT, MR e nos pontos MI, ML, M3 e MR em profundidade média, expressos na Figura 29.

Para o mesmo período os maiores valores ocorreram na camada de fundo (78 $\mu\text{S}/\text{cm}$) estação MR. Estes valores indicam características corrosivas daquela água, possivelmente em decorrência do incremento de ácido carbônico existente nas águas do reservatório da UHE de Tucuruí. Já o valor mínimo foi detectado na estação (MB), na camada de fundo, onde se constatou os valores de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Durante o período de estiagem ao longo de toda a coluna d'água a condutividade apresenta um incremento em seus valores médios ($57,17 \pm 8,6$ $\mu\text{S}/\text{cm}$), em relação ao período chuvoso, quando se comparam os resultados para as mesmas estações de monitoramento. Essa influência da sazonalidade sobre a condutividade é mais perceptível nos pontos MI, MJV, ML, M3, MT e MR, o que pode ser justificado pela pré-concentração dos eletrólitos fortes como os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} (OTOBO & LIMA, 1993).

Tabela 16. Distribuição dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	40	43	40	67	60	66
MJV	M. J. Velho	44	43	42	57	53	50
ML	M. Lontra	47	43	48	61	63	65
M3	Montante3	47	46	45	68	67	66
MB	M. Belauto	41	44	45	49	47	46
MT	M. Tucuruí	49	45	47	76	75	75
MR	M.Repartimento	55	51	56	55	55	78
B1	Base 1	47	45	44	56	55	55
C1	Caraipé 1	49	48	46	47	52	52
C2	Caraipé2	51	48	54	48	52	52
MBB	M. Breu Branco	45	45	46	54	53	53
M1	Montante 1	44	43	43	51	51	55
NP	N. dos patos	45	45	44	56	51	51
JT	J. Tucuruí	51	41	45	52	55	51
	Média	47	45	46	57	56	58
	Desvio padrão	4,0	2,6	4,3	8,4	7,4	9,9
	C.V. (%)	8,5	5,8	9,3	14,7	13,2	17,1
	Valor mínimo	40	41	40	47	47	46
	Valor máximo	55	51	56	76	75	78

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 357/2005), para classificação das águas de classe II

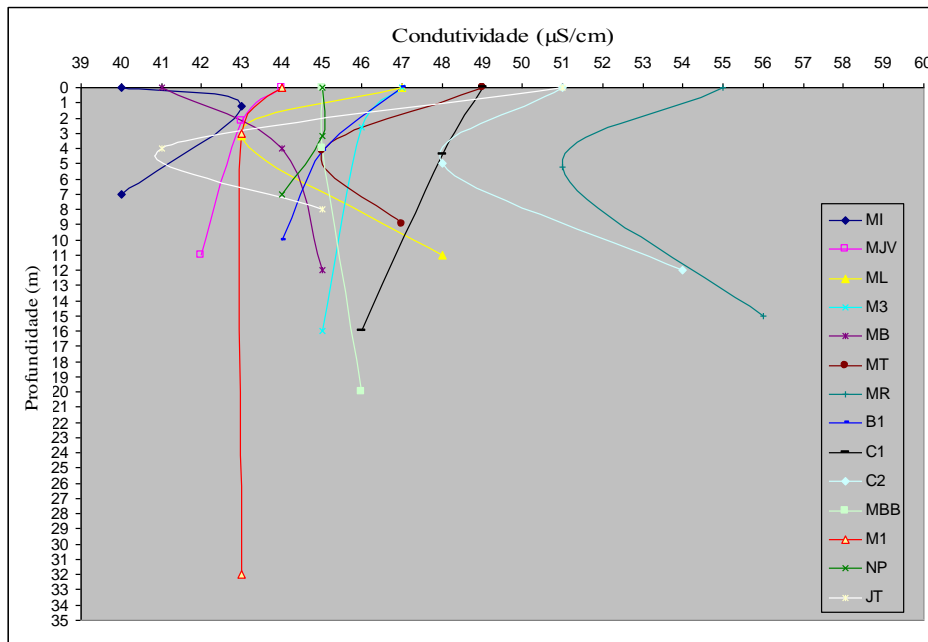


Figura 28. Variação da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no período chuvoso

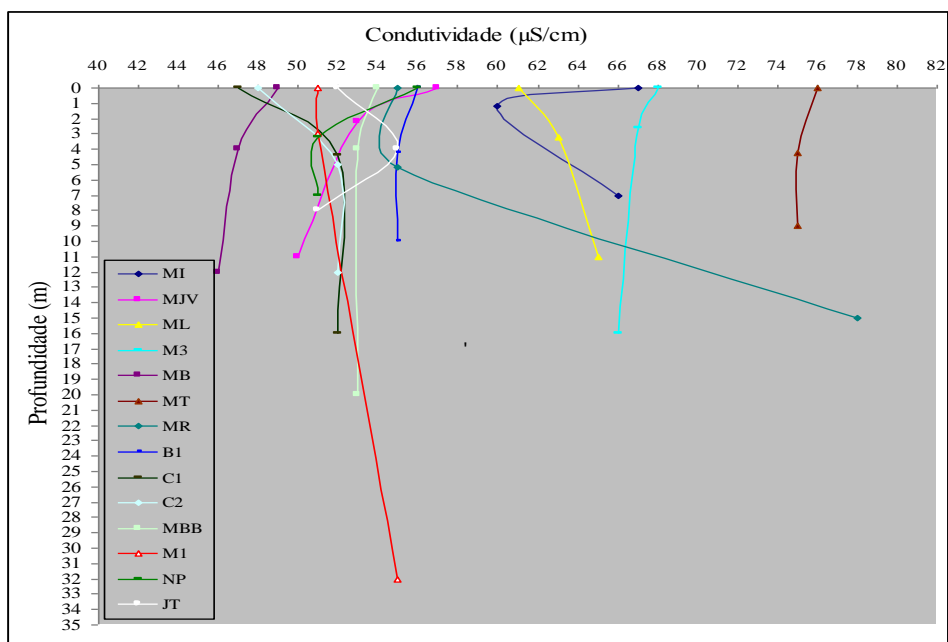


Figura 29. Variação da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no período de estiagem

A partir da análise do *boxplot* (Figura 30), observou-se durante o período de maior precipitação um valor médio para o coeficiente de variação médio de 7,9%, com pouca variabilidade. Durante o período de menor precipitação houve um incremento da variabilidade entre as três profundidades, estando à maioria dos valores acima segundo quartil, onde o valor máximo foi constatado na camada superficial, apresentando um aumento no valor médio do

coeficiente de variação (15%), o que pode ser justificado pela pré-concentração de eletrólitos fortes componentes de águas naturais (OTOBO & LIMA, 1993).

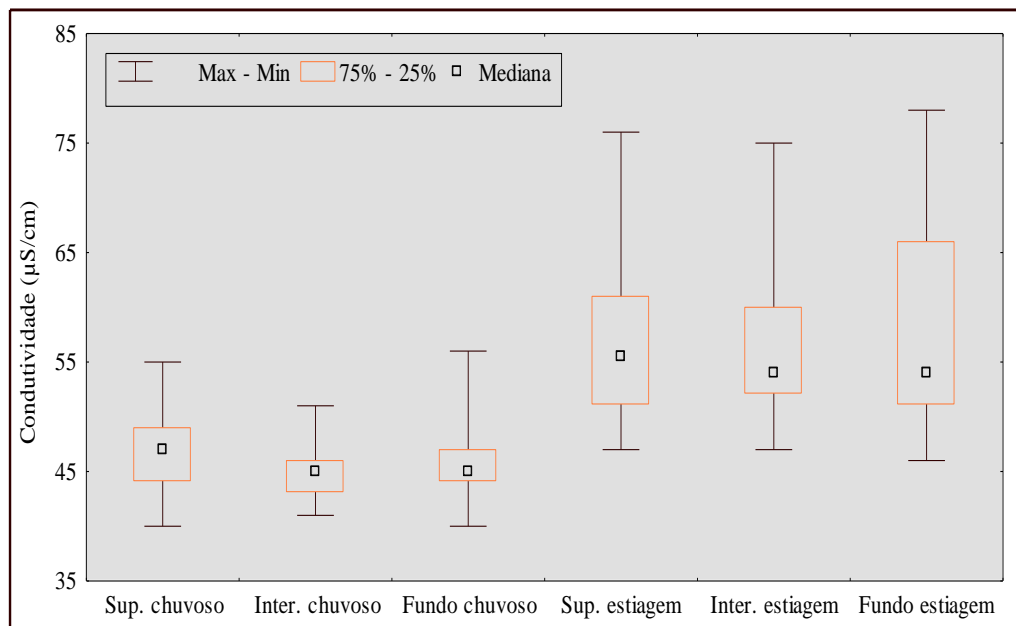


Figura 30. Variabilidade da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no reservatório da UHE Tucuruí

Em ambos períodos sazonais, todos os pontos de amostragens do reservatório, foi verificado valores para condutividade dentro dos limites máximos preconizados pela legislação federal CONAMA nº 357 de 2005.

4.2 AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE E PROFUNDIDADE EM RELAÇÃO A VARIACÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS Al, Ba, Fe, Zn, Mn e Cd.

Para a verificação de possíveis contaminações do meio, os níveis de concentração dos elementos foram avaliados com base na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que faz a classificação das águas, visando à defesa de seus níveis de qualidade de modo a assegurar seus usos preponderantes. De acordo com a citada resolução, as águas do rio Tocantins, onde está localizada a UHE de Tucuruí, enquadra-se como sendo águas doces de classe II.

4.2.1 Relação entre sazonalidade e a concentração dos metais.

As concentrações dos metais Al, Ba, Fe, Zn, Mn e Cd foram relacionados com a sazonalidade e profundidade das estações de monitoramento. Nesse sentido, podem-se observar dois comportamentos distintos dos elementos aqui estudados: um grupo que apresenta elevadas concentrações quando o índice pluviométrico é relativamente alto (mês de maio), notadamente, Al e Fe sendo que a concentração destes diminui quando o índice pluviométrico é baixo (mês de setembro). Comportamento inverso é observado para Ba, Mn, Zn e Cd, que tem seus teores aumentados na estiagem.

4.2.2 Validação dos elementos maiores, menores e traço a partir do teste de Dixon.

Os valores do teste de Dixon para validação da matriz mostram os valores de **Q** calculados (**Q_c**) e Tabelados **Q_t** num intervalo de confiança de 95% para 83 e 84 amostras, em três profundidades no período chuvoso e de estiagem, simultaneamente (Tabela 17). Os metais (Al, Ba, Mn, Zn e Cd), foram validados segundo os valores Tabelados **Q_t** (0,2334) por (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), para 84 amostras. Já o elemento Fe, foi validado em um valor Tabelado de **Q_t** (0,1934), para 83 amostras.

Tabela 17. Validação das amostras para os metais, a partir dos valores críticos do teste de Dixon para um intervalo de confiança de 95%

	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Ba</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cd</i>
<i>Q_t</i> -84	0,2334	0,2334	0,2334	0,2334	0,2334	0,2334
<i>Q_c</i> -84	0,1287	0,2852	0,2157	0,1259	0,2347	0,1389
<i>Q_t</i> -83	-	0,1934	-	-	-	-
<i>Q_c</i> -83	-	0,1385	-	-	-	-

(*Q_t*-84), (*Q_t*-83) e (*Q_t*-82) valores Tabelados por Verma & Quiroz-Ruiz (2006), para 84, 83 e 82 amostras, respectivamente; (*Q_c*-84), (*Q_c*-83) e (*Q_c*-84) valores calculados no estudo atual para 84, 83 e 82 amostras, respectivamente.

4.2.3 Distribuição do Al no reservatório da UHE de Tucuruí.

Na água, o Al é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. O Al deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação e conseqüente anaerobiose, não for muito forte, o teor de Al diminui no corpo d'água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de Al está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez (CETESB, 2004).

Na Tabela 18 são apresentadas as concentrações de Al ($\mu\text{g/L}$), ao longo das quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, durante dois períodos sazonais, podendo ainda ser visualizada a variação entre as camadas superficial, intermediária e de fundo, ao longo da coluna d'água.

O teste de validação da matriz para o Al (Figura A.5 - apêndice 2 - pag. 135), mostrou o valor calculado neste estudo **Qc** (0,1287), foi menor que o valor Tabelado **Qt** (0,2334) por (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), por isso, este não apresentou nenhum valor anômalo em 84 amostras ao longo das estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí.

No período de maior precipitação (Figura 31), as elevadas concentrações de Al ocorreram na camada de fundo das estações MI, MJV, ML, M3, MP, MR, B1, C2, M1 e NP, enquanto que as menores ocorreram na camada superficial das estações MB1, MT1, MT2, MR1, MR2 C1 1, C1 2, C1 3, C2 1 e C2 2.

O valor máximo de 584,19 $\mu\text{g/L}$ ocorreu da camada intermediária da estação MI, ao passo que para o valor mínimo (2,07 $\mu\text{g/L}$), foi registrado na camada de fundo da estação C1.

Apesar da concentração de Al em águas naturais ser normalmente pequena, cerca de 10^{-3} $\mu\text{g/L}$ a um pH igual a 5, se o valor do pH reduzir, a concentração de Al aumenta, fato este que justifica as altas concentrações de Al encontrados nas estações MI, ML, MB e C2 para as camadas de fundo, onde as concentrações de gás carbônico são mais elevadas em decorrência da pouca atividade dos organismos fotossintetizantes.

No período de estiagem (Figura 32) as elevadas concentrações de Al se deram na superfície das estações MI, ML, M3, MB, MJV e MR, sendo que esta última estação apresentou na camada de fundo o valor máximo neste período (56,78 $\mu\text{g/L}$) enquanto que as menores concentrações ocorreram na camada intermediária das estações C2, MI, MJV, ML,

M3, MB, MR e NP. Esta última estação foi onde ocorreu o valor mínimo para o período de estiagem.

Tabela 18. Resultados dos teores de Al ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	560,91	584,19	504,78	44,17	40,84	51,64
MJV	M. J. Velho	210,43	208,36	370,83	39,06	17,51	17,51
ML	M. Lontra	109,50	203,17	318,06	28,73	13,08	15,28
M3	Montante3	231,91	189,88	272,76	9,18	4,74	7,83
MB	M. Belauto	63,30	123,86	384,53	16,37	8,85	11,59
MT	M. Tucuruí	27,03	17,00	212,91	23,47	21,02	19,15
MR	M.Repartimento	23,86	19,78	150,46	26,83	20,46	56,78
B1	Base 1	128,11	271,83	320,73	1,64	10,71	6,83
C1	Caraipé 1	57,55	29,96	2,07	38,28	44,98	27,07
C2	Caraipé2	19,22	16,15	283,28	44,09	23,84	31,69
MBB	M. Breu Branco	322,66	360,64	370,26	33,45	16,73	10,88
M1	Montante 1	208,19	289,95	409,06	4,22	10,55	9,10
NP	N. dos patos	420,84	472,23	473,10	6,46	1,50	6,67
JT	J. Tucuruí	454,38	373,83	373,65	2,74	14,40	6,38
	Média	202,70	225,77	317,60	22,76	17,80	19,88
	Desvio padrão	176,68	178,95	130,81	15,85	12,33	16,47
	C.V. (%)	87,2	70,0	41,2	69,6	69,3	82,8
	Valor mínimo	19,22	17,00	2,07	1,64	1,50	6,38
	Valor máximo	560,91	584,19	504,78	44,17	44,98	56,78
	CONAMA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005); Os valores em vermelho não estão em conformidade com a legislação para água de classe II.

Durante o período de estiagem ocorreu à diminuição na concentração de Al em todos os pontos de monitoramento. Em termos de média, estimou-se um decréscimo de $248,7 \pm 162,1$ $\mu\text{g/L}$ (período chuvoso), para $20,1 \pm 14,9$ $\mu\text{g/L}$ (período de estiagem) com uma diferença de

quase 92% entre os dois períodos sazonais. Esta diminuição pode ser justificada pela relação do Al com a sazonalidade.

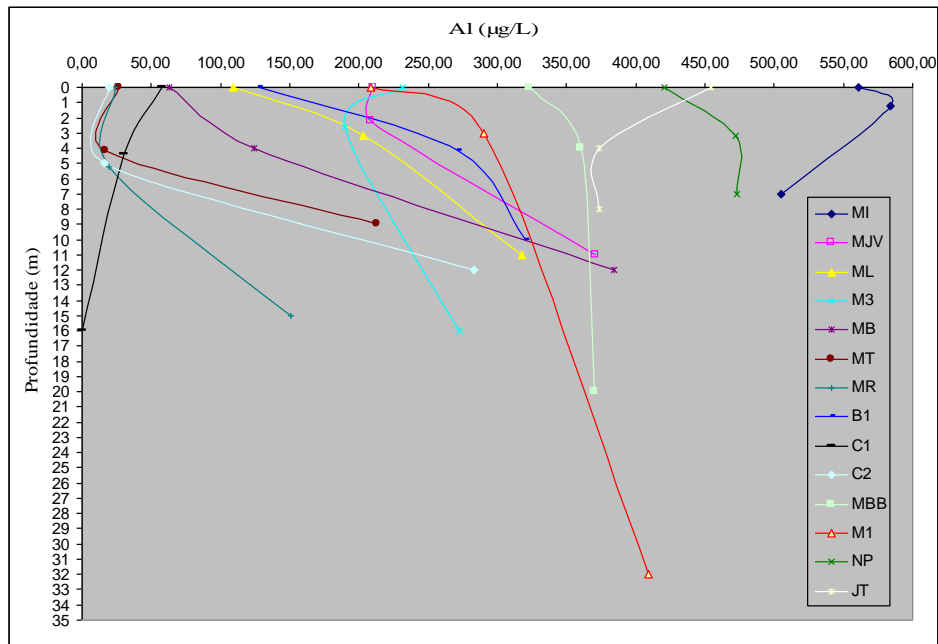


Figura 31. Variação do Al ($\mu\text{g/L}$) no período chuvoso

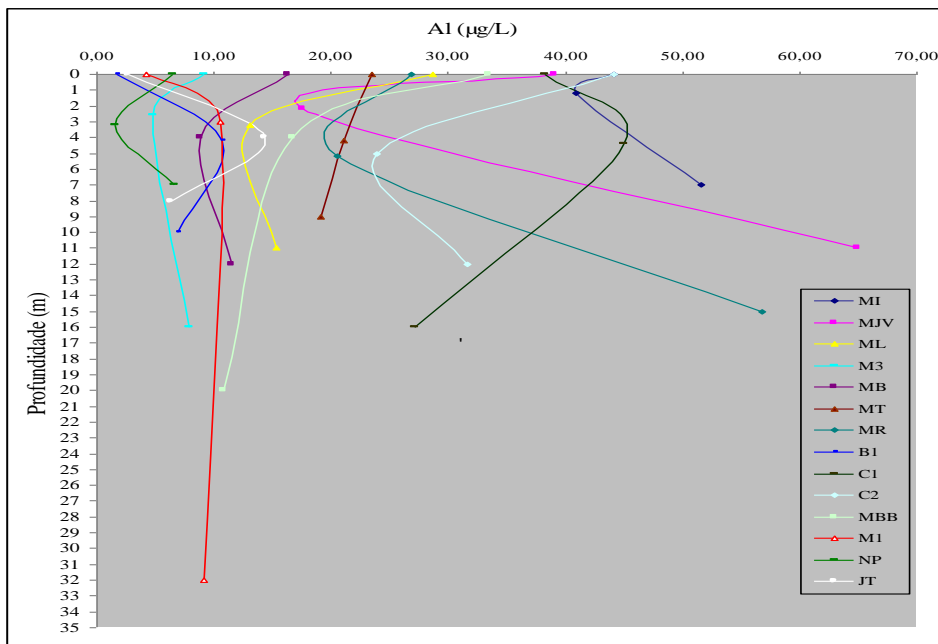


Figura 32. Variação do Al ($\mu\text{g/L}$) no período de estiagem

A partir da análise gráfica do *boxplot* (Figura 33), foi possível concluir que durante o período de maior precipitação houve uma considerável variabilidade nos teores de Al entre as

camadas superficiais e intermediárias, exceto na camada de fundo, confirmada pelo valor médio do coeficiente de variação (66,1%).

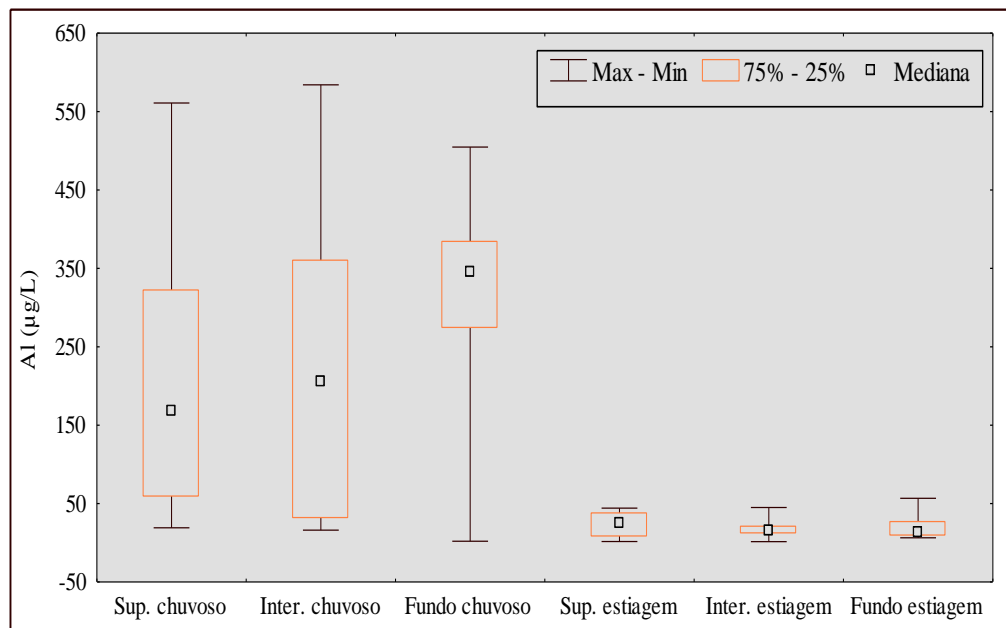


Figura 33. Variabilidade do Al ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

A alta variabilidade que pode estar relacionado com a dissolução das matrizes geológicas ricas no elemento Al como, por exemplo, os alumínio silicatos. Nos períodos de estiagem as concentrações do metal apresentaram pouca variabilidade em seus valores, onde mais de 90% do espaço amostral manteve-se abaixo da mediana, o que pode ser justificado pela diminuição do volume d'água que facilita a disponibilidade deste metal para a biota (OLIVEIRA, 2008).

Todos os resultados para Al no período de estiagem estão em conformidade com o CONAMA 357/2005. No período chuvoso apenas 10 das 42 amostras coletadas estão de acordo com o valor máximo de $100 \mu\text{g/L}$ de Al para águas de classe II, necessitando de um estudo mais apurado, no que se refere ao enriquecimento do referido elemento para a área de estudo.

4.2.4 Distribuição do Ba no reservatório da UHE de Tucuruí.

O Ba é um elemento geoquimicamente pouco móvel. O teor médio é de 595 mg/kg em rochas ígneas. As baixas concentrações de Ba^{2+} nas águas superficiais são consequência da

pouca solubilidade do sulfato de Ba (barita) e pelo fato deste elemento ser facilmente adsorvido pelos hidróxidos e óxidos metálicos (PEREIRA et al., 2007).

Na Tabela 19 (página 86) são apresentadas as concentrações de Ba ($\mu\text{g/L}$), ao longo das quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, podendo ainda ser visualizada a variação entre as camadas superficial, intermediária e de fundo para dois períodos sazonais.

O teste Q para a validação da matriz do elemento Ba (Figura A.6 - apêndice 2 - pag. 135), mostrou que o valor calculado neste estudo **Qc** (0,2157), foi menor que o valor Tabelado **Qt** (0,2234), (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), logo este estudo não apresentou nenhum valor anômalo ao longo da coluna d'água para as 84 amostras das estações de monitoramento.

Em termos de média os valores Ba oscilaram entre $32,29 \pm 9,9 \mu\text{g/L}$ a $40,85 \pm 17,9 \mu\text{g/L}$ no período chuvoso e de estiagem, respectivamente. Para os padrões de qualidade de água, estabelecido pelo CONAMA - Resolução nº 357/2005, todas as 84 amostras coletadas nos dois períodos sazonais estão abaixo da concentração máxima de Ba permitida ($700 \mu\text{g/L}$), encontrando-se em conformidade com a legislação.

Durante o período de altos índices pluviométricos (Figura 34), as maiores concentrações de Ba ocorreram na camada de fundo das estações ML, MB, MP, MR, C2 e C1. Dessa forma, o valor máximo de $51,39 \mu\text{g/L}$ ocorreu na camada de fundo da estação MT, enquanto que o valor mínimo ocorreu na camada intermediária das estações ML, MB, MP, MR, C2, C1 M1 e JT, sendo que, nesta última estação, foi registrado o valor mínimo de $14,20 \mu\text{g/L}$ na camada intermediária.

O elemento Ba pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais e provenientes das atividades antrópicas que utilizam corretores de pH em solos ácidos, além da extração da bauxita. Não possui efeito cumulativo, sendo que a dose fatal para o homem é considerada de 550 a 600 mg (OLIVEIRA, 2008).

Os maiores valores no período de estiagem (Figura 35) foram observados tanto na camada intermediária quanto na camada de fundo das estações C2, MJV, MT, MR. Sendo o máximo valor encontrado para o Ba ocorreu na camada de fundo da estação MR ($104,19 \mu\text{g/L}$), tal qual ocorreu com o valor na camada de fundo da mesma estação ($51,39 \mu\text{g/L}$). Estes altos valores podem estar relacionados a fontes de contaminação de origem antrópica, já que este ponto está localizado próximo a cidade de Novo Repartimento, que não possui rede de tratamento de esgoto.

Durante o período chuvoso o elemento Ba apresentou pouca variabilidade (Figura 36), apresentando coeficiente de variação de 30,5%, podendo ser justificado pela baixa solubilidade da barita, que é a principal fonte de enriquecimento do elemento Ba para a biota (MIRANDA, 2009). Já no período de estiagem houve um incremento nos teores, variabilidade e coeficiente (43,3%), o que pode estar relacionado com possíveis fontes de contaminações de origem natural ou antropogênica (SIQUEIRA, 2001b).

Tabela 19. Resultados dos teores de Ba ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	21,98	22,62	22,61	23,65	24,40	23,84
MJV	M. J. Velho	34,96	34,84	25,32	52,06	52,74	60,02
ML	M. Lontra	33,00	32,65	33,95	45,94	36,15	33,55
M3	Montante3	29,06	29,07	23,08	27,63	27,10	27,01
MB	M. Belauto	24,54	22,09	25,72	17,92	18,25	18,27
MT	M. Tucuruí	40,84	40,79	51,39	64,64	62,54	67,88
MR	M.Repartimento	44,77	44,08	51,36	46,20	45,53	104,19
B1	Base 1	35,08	30,33	28,81	29,15	29,06	30,15
C1	Caraipé 1	42,96	37,63	47,20	53,68	46,79	49,00
C2	Caraipé2	49,86	45,28	51,25	78,54	60,67	62,27
MBB	M. Breu Branco	25,81	24,89	26,80	38,11	29,18	29,46
M1	Montante 1	27,25	27,09	27,17	29,98	30,12	32,58
NP	N. dos patos	25,40	27,92	26,58	34,15	34,57	34,39
JT	J. Tucuruí	28,18	14,20	17,76	35,43	32,71	36,08
	Média	33,12	30,96	32,78	41,22	37,84	43,47
	Desvio padrão	8,61	8,90	12,06	16,78	13,65	23,13
	C.V. (%)	26,0	28,8	36,8	40,7	36,1	53,2
	Valor mínimo	21,98	14,20	17,76	17,92	18,25	18,27
	Valor máximo	49,86	45,28	51,39	78,54	62,54	104,19
	CONAMA	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005), para águas de classe II.

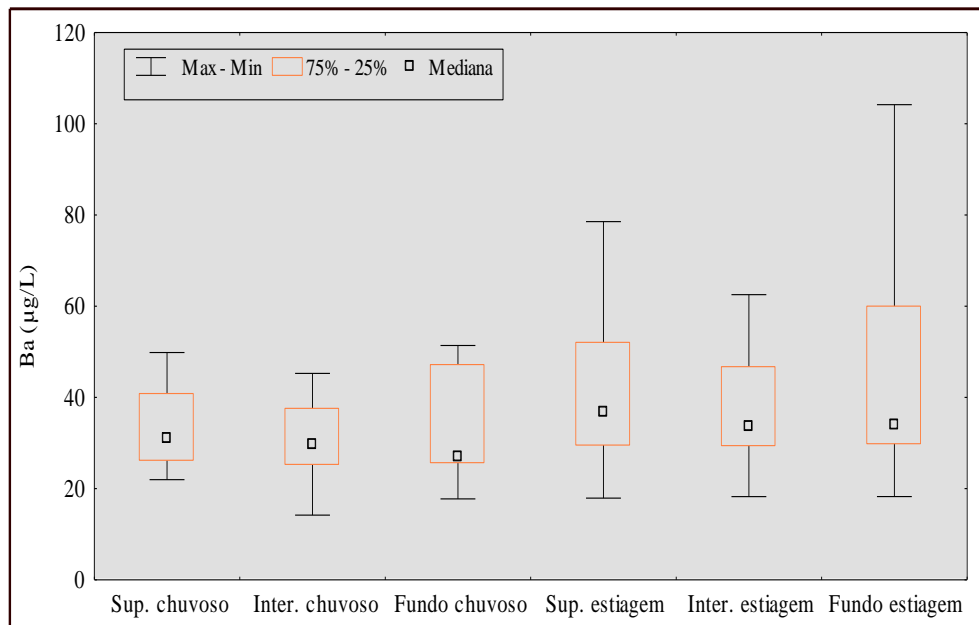


Figura 36. Variabilidade do Ba ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

Para o mês de setembro, período de estiagem, se observou um incremento do metal em quase todas as estações de monitoramento em relação o período chuvoso, exceto na estação M3 e MB (para as três profundidades).

4.2.5 Distribuição do Fe no reservatório da UHE de Tucuruí.

O Fe não é o cátion principal nas águas superficiais continentais, mas é normalmente estudado em rios, lagos e reservatórios por se constituir no micronutriente essencial aos seres vivos, como também possui o ciclo biogeoquímico interferente a outros nutrientes, principalmente, do fósforo (MIRANDA et al., 2009).

A predominância de cada forma depende do pH, por exemplo, com um pH maior que 4,8 a solubilidade do íon Fe^{3+} é inferior a $10 \mu\text{g/L}$. Além disso, sua concentração é baixa (até zero) em águas oxigenadas excepcionalmente, o Fe na forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ constitui colóides muito pequenos em ambientes oxidantes, porém em águas reduzidas (baixas concentrações de oxigênio) apresentam teores de Fe geralmente entre 1.000 e $10.000 \mu\text{g/L}$. A solubilidade do Fe também depende das concentrações de SO_4^{2-} e CO_2 presentes no sistema aquático (SIQUEIRA, 1999, 2001b).

Na Tabela 20 estão apresentadas as concentrações de Fe ($\mu\text{g/L}$) ao longo das quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, podendo ainda ser visualizada

a variação dentre as camadas superficial, intermediária e de fundo da coluna d'água para os dois períodos sazonais.

Tabela 20. Resultados dos teores de Fe ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí.

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	623,88	651,63	604,82	83,35	133,30	100,06
MJV	M. J. Velho	448,11	438,58	552,95	144,64	145,11	249,49
ML	M. Lontra	405,96	491,09	719,91	129,54	102,72	112,39
M3	Montante3	490,68	444,74	485,97	60,96	56,05	66,37
MB	M. Belauto	242,30	293,53	559,85	82,99	84,03	84,50
MT	M. Tucuruí	318,09	288,57	569,50	339,16	297,93	384,10
MR	M.Repartimento	343,99	328,72	1296,70	102,61	75,61	1170,40
B1	Base 1	343,36	504,16	558,48	22,90	32,69	25,96
C1	Caraipé 1	501,82	277,47	223,94	298,24	279,11	283,88
C2	Caraipé2 (*)	224,05	348,92	2186,40	384,03	153,62	353,60
MBB	M. B. Branco	454,43	490,50	465,34	122,11	36,81	51,17
M1	Montante 1	439,82	499,73	622,13	51,59	51,48	86,65
NP	N. dos patos	615,02	688,40	667,63	297,40	290,86	323,75
JT	J. Tucuruí	676,15	624,99	612,05	357,97	115,09	420,07
	Média	437,66	455,07	723,26	176,97	132,45	265,17
	Desvio padrão	137,86	136,4	479,42	128,15	93,16	294,44
	C.V. (%)	31,50	30,00	66,30	72,40	70,30	111,00
	Valor mínimo	224,05	288,57	223,94	22,90	32,69	51,17
	Valor máximo	676,15	688,40	2186,40	384,16	297,93	1170,40
	CONAMA	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00

(*) valor anômalo, segundo teste Q de Dixon, num intervalo de confiança de 95%; Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005); Os valores em vermelho não estão em conformidade com a legislação para água de classe II.

A validação da matriz para o elemento Fe, constatou que o valor calculado **Qc** (0,2852), neste estudo, é maior que o valor Tabelaado **Qt** (0,2334) por Verma & Quiroz-Ruiz (2006), para 84 amostras. Dessa forma, a partir da comparação entre dois valores de (Q) num

intervalo de confiança 95% e uma somado uma investigação da área de estudo, constatou-se que a presença de um valor anômalo, que pode ser visualizado na Figura 37.

Os resultados validados para o Fe excluíram apenas o valor anômalo, sendo este localizado na camada de fundo da estação Caraipé2 (2186,4 µg/L), coletado durante o período chuvoso. Dessa forma, procederam-se novos cálculos, resultando em valor calculado Q_c (0,1385), que é menor que o valor Tabelado Q_t (0,1934) por Verma & Quiroz-Ruiz (2006), para 83 amostras. Com esse resultado foi produzido outro gráfico do tipo histograma para o elemento Fe (Figura 38).

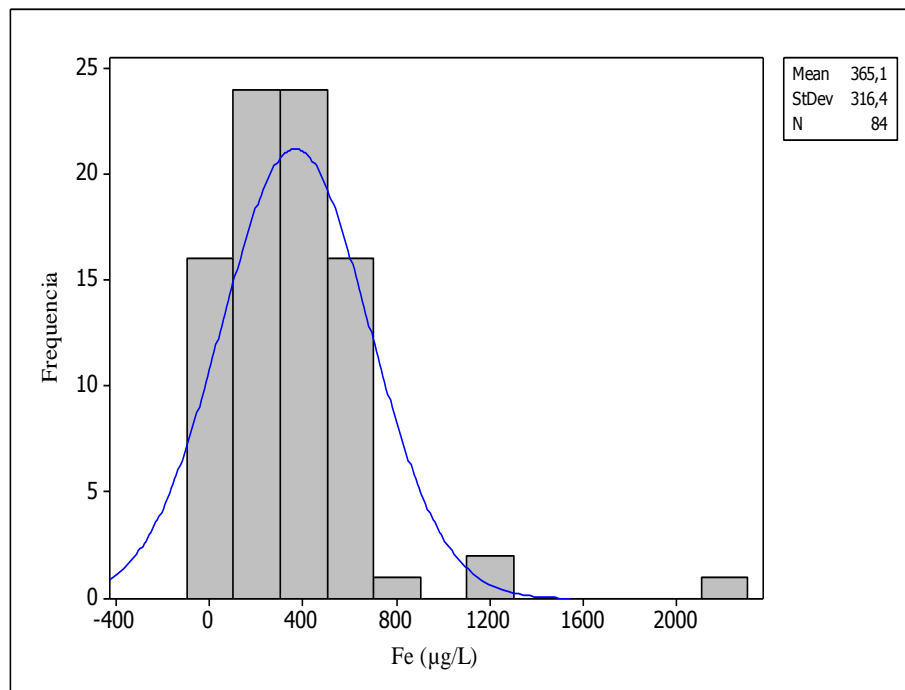


Figura 37. Validação da matriz para o Fe (µg/L)

Durante o período chuvoso (Figura 39) as maiores concentrações de Fe se deram na camada de fundo das estações MJV, ML, MB, MP, MR, C2, MBB e M1, enquanto que as menores concentrações ocorreram na camada superficial das estações ML, MB, B1, C2, MBB e M1. Estes valores podem ser justificados devido à ação da sazonalidade sobre minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios. O Fe foi detectado com altos valores em quase todos os pontos de amostragem, sendo o valor mínimo de 223,94 µg/L na camada de fundo da estação C1, enquanto que o valor máximo de 2186,4 µg/L da camada de fundo da estação C2.

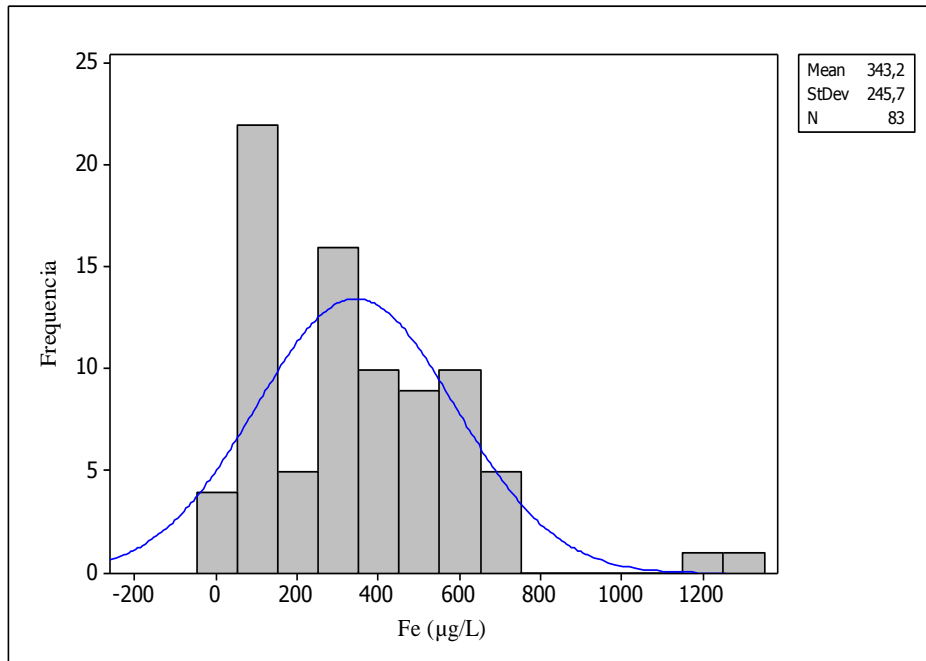


Figura 38. Validação da matriz para o Fe ($\mu\text{g/L}$) sem o valor anômalo

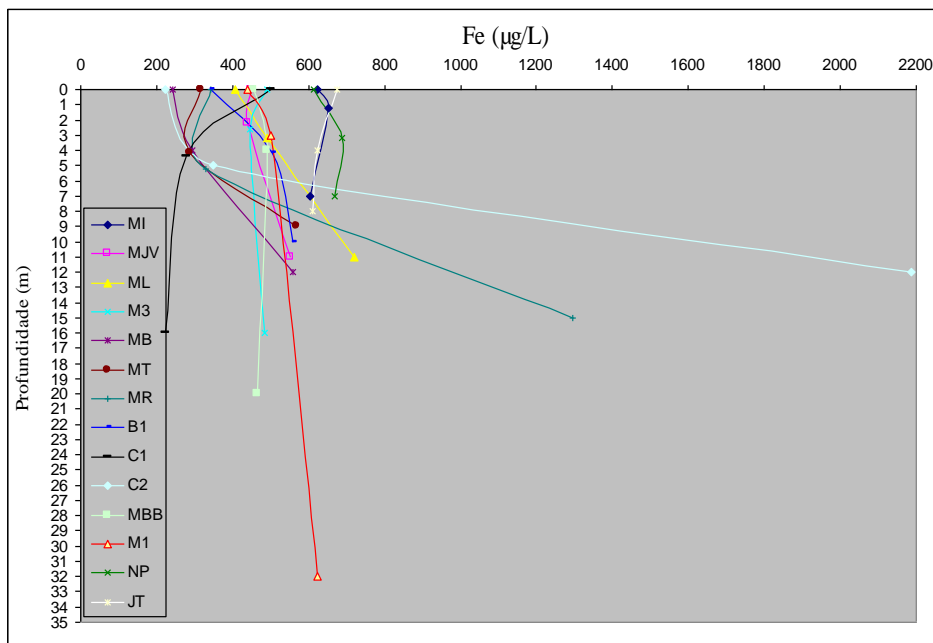


Figura 39. Variação do Fe ($\mu\text{g/L}$) no período chuvoso

No período chuvoso as maiores concentração de Fe ocorreram nas camadas de fundo na maioria das estações de monitoramento, não se apresentou em conformidade com a legislação do CONAMA Resolução nº 357/2005 que determina o valor máximo de 300 $\mu\text{g/L}$. Exceto nas estações C1 intermediário (277,47 $\mu\text{g/L}$); C1 fundo (223,94 $\mu\text{g/L}$); C2 superfície

(224,05 $\mu\text{g/L}$); MB superfície (242,30 $\mu\text{g/L}$) e MB intermediário (295,53 $\mu\text{g/L}$), que apresentam valores abaixo do valor máximo permitido pela legislação do CONAMA.

No entanto, a período de estiagem (Figura 40) apresentou uma diminuição do teor de Fe em quase todos os pontos de amostragem, excetuando-se as estações C2 superfície (384,03 $\mu\text{g/L}$); NP intermediária (323,75 $\mu\text{g/L}$); JT superfície (375,97 $\mu\text{g/L}$) e fundo (420,07 $\mu\text{g/L}$), que estão em discordância com a legislação, sugerindo possíveis fontes de contaminação.

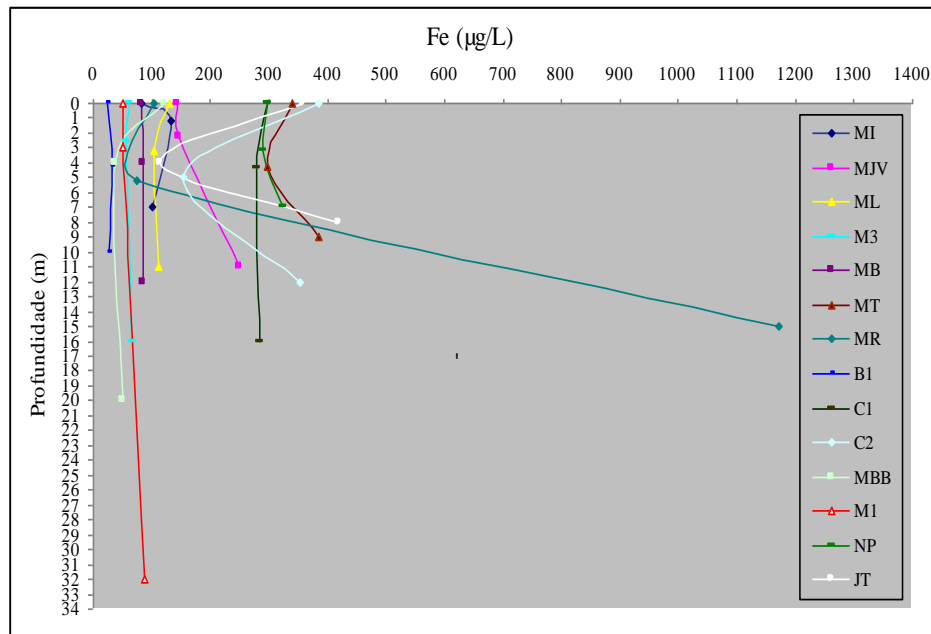


Figura 40. Variação do Fe ($\mu\text{g/L}$) no período de estiagem

A partir da análise gráfica dos *boxplot* (Figura 41), foi possível concluir que durante o período chuvoso houve pouca variabilidade dos teores tanto na camada superficial, quanto na camada intermediária e fundo, expressos em coeficiente de variação de 42,6%. Já no período de menores índices pluviométricos observou-se um aumento nos valores medos de coeficiente de variação (84,6%). Além disso, destaca-se o valor máximo na camada de fundo da estação C2, que se trata de um valor anômalo.

No período de menor precipitação, ocorreu uma diminuição de mais de 75% em termos de média, onde a concentração média de Fe nas três profundidades e desvio padrão oscilou entre (538,68 \pm 251,2 $\mu\text{g/L}$) no período chuvoso, para (191,53 \pm 171,9 $\mu\text{g/L}$) na estiagem. Este decréscimo do mês de setembro pode ser relacionado com a diminuição das chuvas que agem sobre minerais ricos em Fe, demonstrando a relação entre a mobilidade deste metal e a sazonalidade.

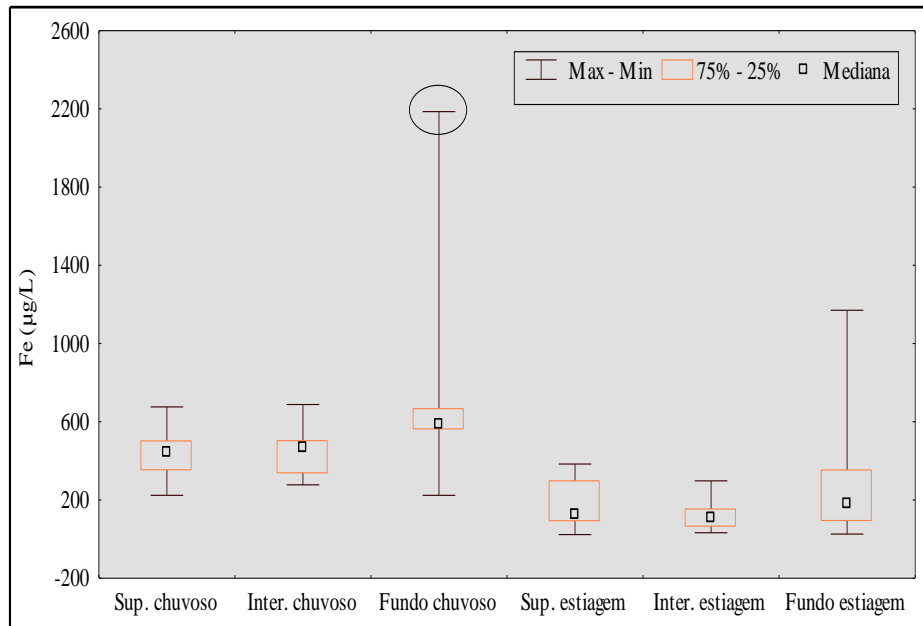


Figura 41. Variabilidade do Fe ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

4.2.6 Distribuição do Zn no reservatório da UHE de Tucuruí.

Em águas superficiais normalmente as concentrações de Zn estão na faixa de 0,001 a 0,10 $\mu\text{g/L}$. Pode ser adicionado ao ambiente através de processos naturais, sendo encontrado nos silicatos no lugar do Fe e do Mn e formar jazidas de Zn sob forma de ZnS. Também chega ao ambiente através de ações antropogênicas, onde se destaca a produção de Zn primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos, e quando em altas concentrações, acrescenta a água uma aparência leitosa, produzindo um sabor metálico ou adstringente quando aquecida (OLIVEIRA, 2008).

Na Tabela 21 são apresentadas as concentrações de Zn ($\mu\text{g/L}$), ao longo das quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, podendo ainda ser visualizada a variação dentre as camadas superficial, intermediária e de fundo da coluna d'água nos dois períodos sazonais.

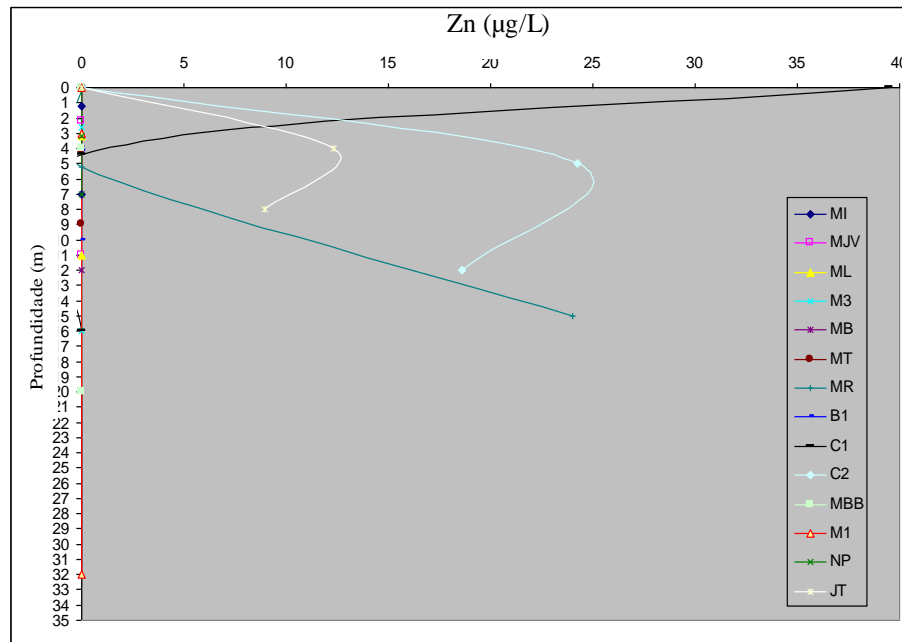
O teste de validação da matriz para o Zn (Figura A.7 - apêndice 2 - pag. 135), mostrou o valor calculado neste estudo Q_c (0,1259), foi menor que o valor Tabelado Q_t (0,2334), (Verma & Quiroz-Ruiz, 2006), por isso, este não apresentou nenhum valor anômalo em 84 amostras ao longo das estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí.

Tabela 21. Resultados dos teores de Zn ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	1,02	<0,05
MJV	M. J. Velho	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
ML	M. Lontra	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,73	0,25
M3	Montante3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,40	<0,05
MB	M. Belauto	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,77	1,22
MT	M. Tucuruí	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	1,11	16,54
MR	M.Repartimento	<0,05	<0,05	24,02	0,24	0,46	2,06
B1	Base 1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
C1	Caraipé 1	39,48	<0,05	<0,05	5,57	0,98	1,16
C2	Caraipé2	<0,05	24,24	<0,05	7,76	1,11	<0,05
MBB	M. B. Branco	<0,05	<0,05	<0,05	8,63	0,54	<0,05
M1	Montante 1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,84	0,61
NP	N. dos patos	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,54	<0,05
JT	Jusante Tucuruí	<0,05	12,31	8,95	0,24	<0,05	1,08
	Média*	2,82	2,61	2,35	1,61	0,60	1,67
	Desvio Padrão	10,55	7,03	6,67	3,15	0,40	4,42
	C.V. (%)	374,1	269,3	283,8	195,7	66,7	264,7
	Valor mínimo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Valor máximo	39,48	24,24	24,02	8,63	1,11	16,54
	CONAMA	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0

Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005), para águas de classe II. * Considerou-se somente para efeito de cálculo o valor 0 para as concentrações abaixo de LD

No período chuvoso (Figura 42) as maiores concentrações de Zn foram encontradas na camada superficial da estação C1 (39,48 $\mu\text{g/L}$) e na camada de fundo da estação MR (24,24 $\mu\text{g/L}$). Enquanto que as menores concentrações ocorreram na camada superficial e intermediária da estação JT, no mesmo período.



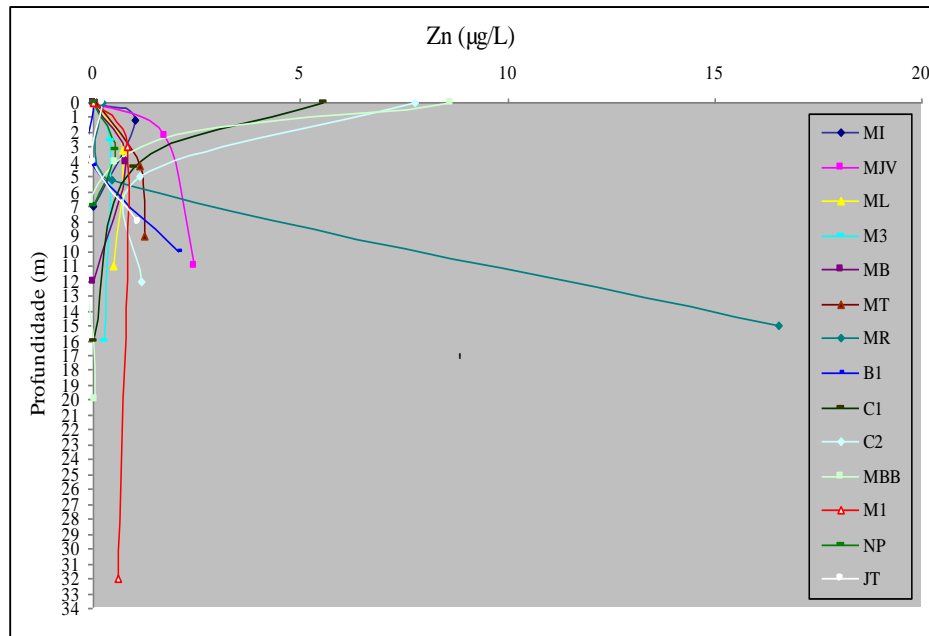


Figura 43. Variação do Zn ($\mu\text{g/L}$) no período de estiagem

Neste mesmo período houve um pequeno incremento na variabilidade (Figura 44) do elemento Zn, que foi detectado com valores baixos do limite de detecção ($0,05 \mu\text{g/L}$), sendo que o valor 0 foi adotado para fins estatísticos. O valor máximo foi de $16,54 \mu\text{g/L}$ na camada de fundo da estação MT e o coeficiente de variação médio mantiveram-se entre 309,1 a 175,7%, no período chuvoso e de estiagem, respectivamente. Apesar disso, todos os valores para o elemento Zn estão em conformidade com a legislação (que é de $180 \mu\text{g/L}$) em ambos os períodos sazonais.

O Zn, por ser um elemento essencial para o ser humano, só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito altas, o que é extremamente raro. Neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano; isso só ocorre quando as taxas de ingestão diária são elevadas (OLIVEIRA, 2008).

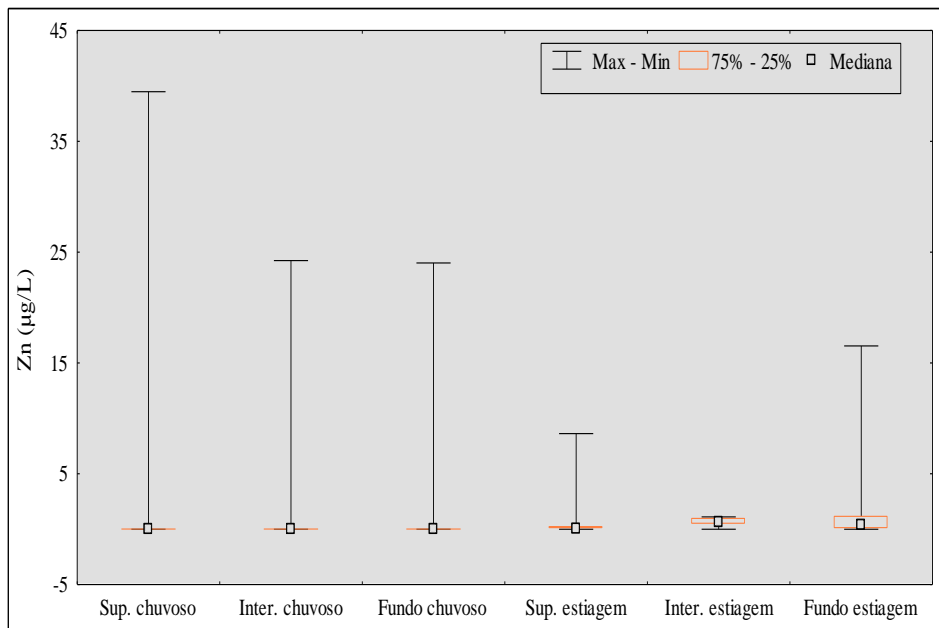


Figura 44. Variabilidade do Zn ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

4.2.7 Distribuição do Mn no reservatório da UHE de Tucuruí.

O comportamento do Mn nas águas é muito semelhante ao do Fe em seus aspectos os mais diversos, apresentando-se em concentrações inferior a $0,001 \mu\text{g/L}$ em águas superficiais naturais. As principais fontes antropogênicas deste elemento a indústria do aço, a fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros (PEREIRA et al., 2007).

A contribuição dos solos submersos para as características limnoquímicas do reservatório de Tucuruí pode ser importante principalmente pela adsorção em seus componentes e pela dissolução dos óxidos e hidróxidos de Mn em ambiente redutor.

Na Tabela 22 (página 98) são apresentadas as concentrações de Mn ($\mu\text{g/L}$), ao longo das quatorze estações de monitoramento do reservatório da UHE de Tucuruí, podendo ainda ser visualizada a variação dentre a camadas superficial, intermediária e de fundo da coluna d'água para os dois períodos sazonais.

O teste Q de Dixon para validação da matriz para o Mn (Figura A.8 - apêndice 2 - pag. 135), mostrou o valor calculado neste estudo Q_c (0,2347), foi maior que o valor Tabelado Q_t (0,2334), sugerindo ocorrência de um valor anômalo. Porém, as investigações químico-ambientais, constataram que pode estar havendo o carreamento de efluentes domésticos em direção ao rio Tocantins, provenientes da cidade Novo Repartimento, pois segundo dados da

Sepof (2008), a referida cidade não possui rede de esgoto e saneamento básico, o que se agrava durante o período de estiagem, podendo ocorrer a pré-concentração do referido metal.

Tabela 22. Resultados dos teores de Mn ($\mu\text{g/L}$) no reservatório da UHE Tucuruí

<i>Cod.</i>	<i>Estações</i>	<i>Período chuvoso</i>			<i>Período de estiagem</i>		
		<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>	<i>Superfície</i>	<i>Meio</i>	<i>Fundo</i>
MI	M. Ipixuna	3,36	3,40	2,97	17,04	23,99	19,42
MJV	M. J. Velho	2,53	2,98	3,41	20,54	24,13	25,43
ML	M. Lontra	2,59	3,16	5,59	17,96	23,32	37,68
M3	Montante3	3,12	2,78	2,79	18,31	19,39	20,98
MB	M. Belauto	5,25	2,38	5,03	4,08	4,36	4,89
MT	M. Tucuruí	3,00	2,24	3,74	19,41	18,80	30,84
MR	M.Repartimento	6,13	5,57	4,58	13,41	10,27	147,23
B1	Base 1	2,87	3,79	3,64	6,96	7,94	7,88
C1	Caraipé 1	6,41	3,21	3,29	48,66	33,99	62,27
C2	Caraipé2 (*)	2,85	4,31	2,24	78,08	25,71	29,46
MBB	M. B. Branco	2,99	4,12	7,21	42,32	8,55	12,22
M1	Montante 1	2,89	3,21	5,74	21,17	19,59	46,44
NP	N. dos patos	5,82	6,55	5,97	47,97	48,92	55,40
JT	Jusante Tucuruí	8,36	4,40	4,02	72,07	30,57	72,08
	Média	4,15	3,72	4,30	30,57	21,39	46,81
	Desvio	1,86	1,20	1,42	23,38	11,80	56,59
	C.V. (%)	44,80	32,30	33,00	76,50	55,20	120,90
	Valor mínimo	2,53	2,24	2,24	4,08	4,36	4,89
	Valor máximo	8,36	6,55	7,21	78,09	48,92	147,23
	CONAMA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(*) valor anômalo, segundo teste Q de Dixon, num intervalo de confiança de 95%; Montante (M); Nazaré (N); Jusante (J); Coeficiente de variação (C.V); Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água de classe II.

As maiores concentrações de Mn no período chuvoso (Figura 45) ocorreram na camada intermediária e de fundo das estações MI, B1, C2, MBB, NP e MJV, ML, MP e M1, respectivamente. Enquanto que as menores concentrações se deram na camada de fundo das estações MI, MR e C2.

Neste mesmo período, foi possível observar que o elemento Mn foi detectado em baixas concentrações em todos os pontos de amostragem, sendo o seu valor mínimo (2,24 $\mu\text{g/L}$) na camada intermediária estação MT, enquanto que o valor máximo foi de 8,36 $\mu\text{g/L}$ na camada superficial.

As maiores concentrações de Mn no período de estiagem (Figura 46) ocorreram na camada de fundo das estações MR, C2, C1, MBB, ML e MT. Enquanto que as menores concentrações se deram na camada de fundo das estações MI, MR e C2.

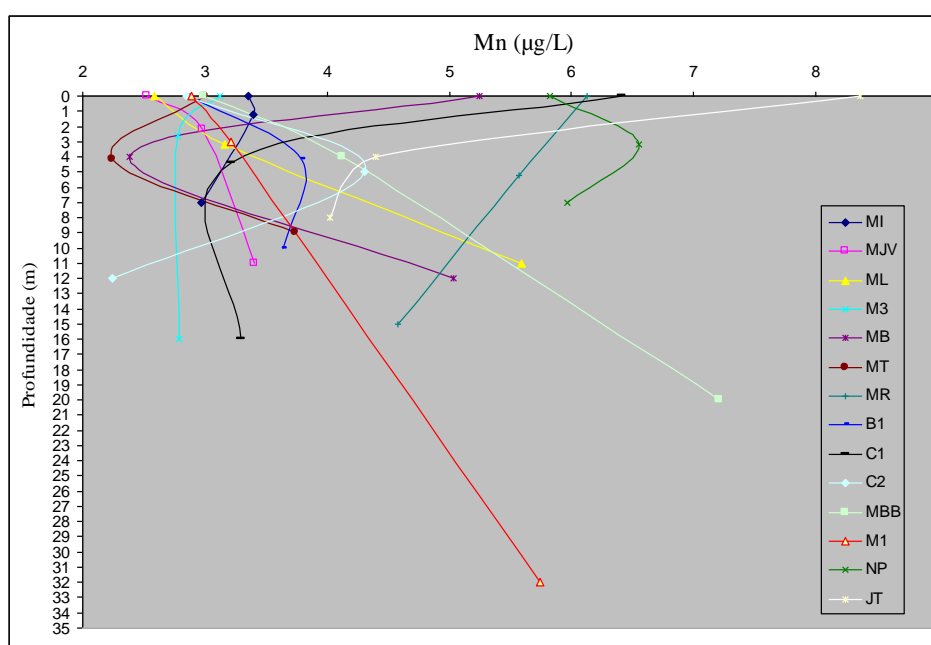


Figura 45. Variação do Mn ($\mu\text{g/L}$) no período chuvoso

Durante o período chuvoso, observou-se uma baixa variabilidade entre as três profundidades (Figura 47), apresentando um valor médio para o coeficiente de variação de 36,7%. No período de estiagem constatou-se que os teores de Mn foram detectados com valores baixos em quase todos os pontos de amostragem, sendo o seu valor mínimo 4,08 $\mu\text{g/L}$ na camada superficial da estação MB. Durante este mesmo período, houve um incremento na variabilidade e no coeficiente de variação (84,2%), o que pode ter sido influenciado pela alta concentração encontrada na camada de fundo da estação Montante Repartimento (147,23

µg/L), o que segundo Siqueira (1999), sugere uma grande contribuição deste metal proveniente do sedimento de fundo.

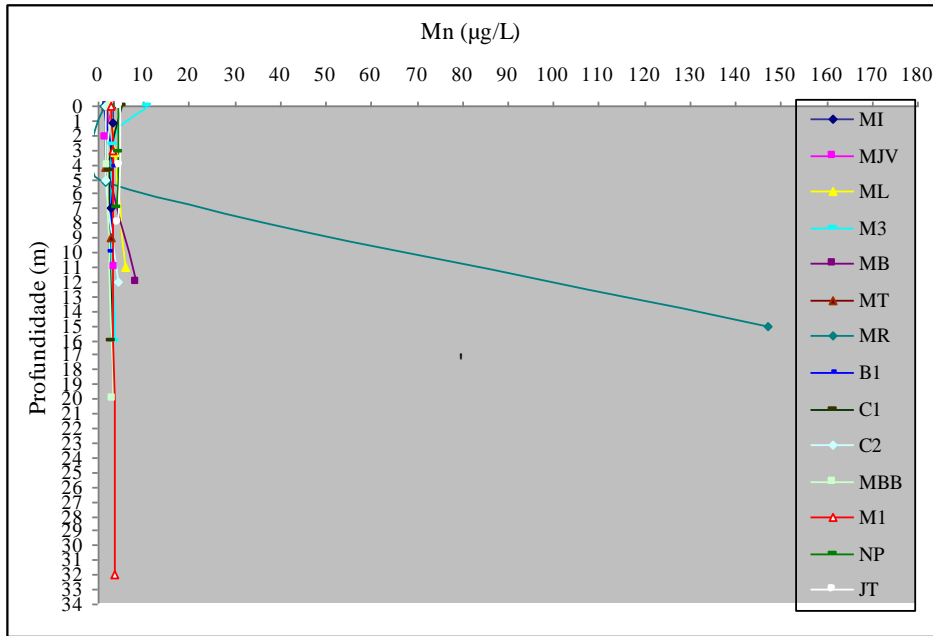


Figura 46. Variação do Mn (µg/L) no período de estiagem

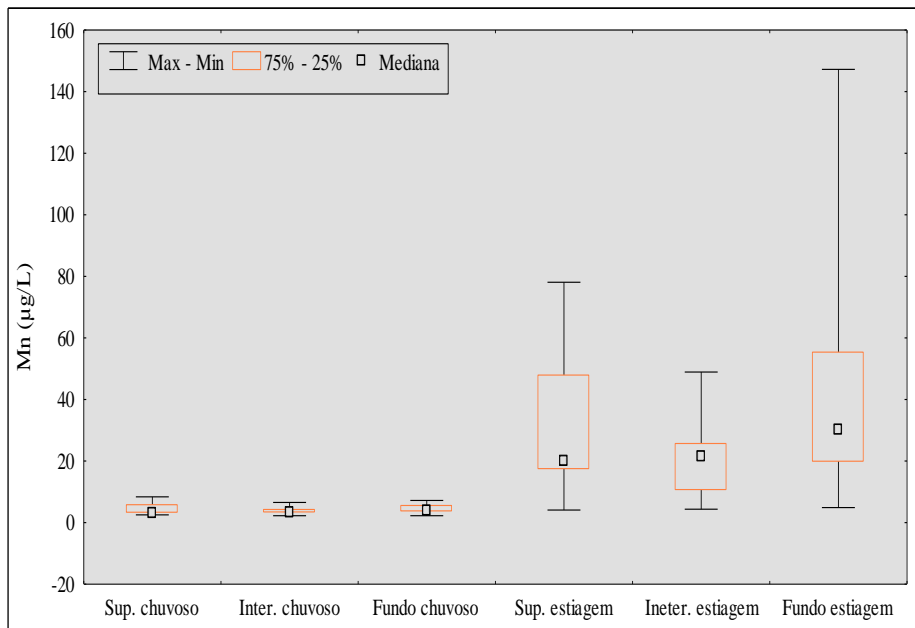


Figura 47. Variabilidade do Mn (µg/L) no reservatório da UHE Tucuruí.

Em termos de média ao compararem-se os teores de Mn do período chuvoso ($4,16 \pm 1,5$ µg/L) e do período de estiagem ($32,93 \pm 30,6$ µg/L), verifica-se que houve neste último período, um incremento em mais de oito vezes em relação ao período chuvoso, no entanto, em

ambos os períodos sazonais, as concentrações de Mn estão dentro do permitido pela legislação do CONAMA nº 357 de 2005 que é de 100 µg/L, exceto na camada de fundo da estação Montante Repartimento (147,23 µg/L), o que pode ser relacionado a possíveis fontes de contaminação de tanto fontes naturais quanto antrópicas.

4.2.8 Distribuição do Cd no reservatório da UHE de Tucuruí.

O Cd se apresenta nas águas naturais geralmente em concentrações inferiores a 0,001 mg/L. As principais fontes de contaminação são as descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessório fotográfico e usado como inseticida, além de ser liberado para o ambiente quando ocorre a queima de combustíveis fósseis (OLIVEIRA, 2008).

Está presente em águas doces em concentrações traço, geralmente inferiores a 1 µg/L. É um metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar, podendo ser fator para vários processos patológicos no homem, incluindo disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, inibição no crescimento, doenças crônicas em idosos, causa a doença conhecida por Itai-Itai e câncer. (PEREIRA et al., 2007).

Durante o período chuvoso o elemento Cd foi detectado em baixas concentrações nas quatorze estações de monitoramento. Suas concentrações apresentaram-se em quantidades traço em todas as estações de monitoramento, inviabilizando a percepção dos seus valores médios de concentração e coeficiente de variação, apresentando valores abaixo do limite de detecção da técnica analítica (<0,55 µg/L), o que pode estar relacionado a baixa dissolução deste elemento no período de maiores índices pluviométricos.

No período de estiagem, a maioria das estações de monitoramento apresentou valores abaixo do limite de detecção, exceto em três estações: na camada de superfície da estação Caraipé 1 (0,68 µg/L), localizado próximo a barragem UHE de Tucuruí, este valor pode estar relacionado à grande quantidade de solda que usada durante a construção da mesma; na camada de fundo da estação Montante3 (0,60 µg/L), e na superfície da estação Nazaré dos Patos à jusante (0,63 µg/L), ambas localizadas próximas a cidades que não possuem rede de tratamento de esgoto, onde possivelmente ocorre a eliminação de efluentes domésticos e industriais.

Ao compararem-se as concentrações entre os dois períodos, verifica-se que houve um incremento deste metal no período de menor precipitação, o que pode ser relacionado a possíveis fontes de contaminação tanto fontes naturais quanto antrópicas.

Apesar do elemento Cd apresentar-se em pequenas concentrações, estando em conformidade com a legislação nos dois períodos sazonais, os valores encontrados neste estudo merecem atenção, haja vista que o metal Cd pode sofrer bioacumulação, tendo uma ação na fisiologia dos peixes é semelhante às do níquel, Zn e Pb, como foi constatado em trabalhos realizados por Oliveira (2008) no lago da UHE de Tucuruí.

4.3 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM RELAÇÃO AOS VALORES ENCONTRADOS NA LITERATURA.

4.3.1 Comparação entre as variáveis químicas e físico-químicas.

Nas Tabelas 23 e 24 (página 103) são comparados os valores médios dos variáveis físico-químicos nos dois períodos sazonais, observou-se que em relação ao período chuvoso houve um aumento em quase todos os parâmetros (T, pH e condutividade) analisados confirmando a influência do clima sobre as condições do lago. Os outros parâmetros apresentaram pouca variação nos seus valores médios nas três profundidades.

Tabela 23. Comparação das variáveis físico-químicas no reservatório da UHE de Tucuruí

<i>Variáveis</i>	<i>Superfície</i>		<i>Intermediária</i>		<i>Fundo</i>	
	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>
	<i>chuvoso</i>	<i>estiagem</i>	<i>chuvoso</i>	<i>Estiagem</i>	<i>chuvoso</i>	<i>Estiagem</i>
Temperatura	29,51	30,68	29,34	30,27	28,61	30,10
pH	6,29	7,05	6,30	7,00	6,22	6,91
OD	6,62	-	5,91	-	-	4,18
Condutividade	46,79	56,93	45,00	56,36	46,07	58,21
Turbidez	19,41	16,56	18,24	14,84	17,71	15,23

Tabela 24. Evolução das principais variáveis de qualidade da água no reservatório da UHE de Tucuruí

<i>Variáveis</i>	<i>Fases</i>								
	<i>Fase Rio</i> ⁽¹⁾			<i>Enchimento</i> ⁽²⁾			<i>Pós-Enchimento</i> ⁽³⁾		
	<i>Mín</i>	<i>Méd</i>	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Méd</i>	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Méd</i>	<i>Máx</i>
Temperatura (°C)	28,8	29,4	30,0	24,4	26,6	30,8	28,6	29,3	30,0
OD (µg/L)	5,8	6,9	7,9	0,0	3,7	7,1	0,0	3,7	7,1
pH	6,6	6,9	7,2	6,8	7,15	7,5	6,5	6,8	7,1
Condutividade (µS/cm)	25,0	36,8	48,6	38,0	46,5	55,0	21,2	46,8	72,4

Fonte: Banco de dados limnológicos do reservatório da UHE - Tucuruí.

Notas:

⁽¹⁾ Valores médios para as estações entre Marabá e Tucuruí, no período de 1980 a 1984.

⁽²⁾ Valores médios para estações de amostragem no reservatório durante o período de enchimento entre 1984 a 1985.

⁽³⁾ Valores médios para diversas estações no reservatório para o período de 1985 a 1989.

A profundidade influenciou principalmente o oxigênio dissolvido que teve uma depleção no valor médio da superfície (6,63 µg/L) em relação à camada de fundo (4,19 µg/L), o que pode estar relacionado com a diminuição da zona eufótica dificultando os processos fotossintéticos.

Ao compararem-se os dois períodos sazonais, nota-se que a turbidez diminuiu no período de estiagem comprovando que as chuvas tendem a arrastar materiais em suspensão do solo para o rio aumentando a quantidade de partículas suspensas que precipitam vagarosamente.

Confirmou-se que durante o período de menor precipitação, ocorre um incremento dos valores em termos de média, das variáveis temperatura, pH e condutividade à medida que aumenta a profundidade de coleta, o mesmo não ocorre com as outras variáveis onde se observa uma variação irregular nos valores encontrados.

Os valores de condutividade deste estudo apresentaram valores acima da média em relação aos valores detectados em diversas estações entre 1986 a 1989 após o enchimento do reservatório da UHE de Tucuruí, porém ainda apresentam-se em conformidade com a legislação.

Os teores médios de oxigênio dissolvido apresentaram uma significativa diminuição durante e após o enchimento do reservatório (3,7 µg/L), em comparação aos teores

encontrados antes da instalação do lago (5,7 µg/L). Este último valor é aproximado ao valor médio encontrado neste trabalho, sugerindo que o lago de Tucuruí encontra-se em fase de estabilização, no que se refere à concentração de oxigênio dissolvido.

Em relação aos valores de pH, verifica-se que houve um aumento em seus valores no período de estiagem, quando comparado aos valores do período chuvoso. No período de menor precipitação ocorre a diminuição do arraste ácidos húmicos e fúlvicos, provenientes da decomposição da matéria orgânica animal e vegetal. Além disso, a maior incidência de raios solares facilita os processos fotossintéticos que retiram gás carbônico do meio, proporcionando uma elevação do pH devido o maior consumo do referido gás (EVANGELISTA, 1993).

Ao comparar-se a média dos valores de pH deste estudo (6,63) para os dois períodos sazonais com os valores médios de diversas estações no reservatório de Tucuruí, monitorados após o enchimento, entre os anos de 1985 a 1989 (6,8), verifica-se que houve um pequeno aumento dos valores desta variável. Observa-se que na maioria das estações de monitoramento do reservatório o pH manteve-se entre 6,6 e 7,6, denotando uma água com características levemente ácida tendendo a neutra, estes resultados são referendados pelos estudos de Pereira et al. (2007).

4.3.2 Avaliação dos elementos Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd em relação aos valores encontrados na literatura.

Os padrões de controle de metais para abastecimento e consumo da água são definidos por normas governamentais que seguem padrões mundiais, na Tabela 25 (página 105) são apresentados os valores máximos permitidos estabelecidos pelos principais órgãos mundiais para água de consumo humano, os quais podem ser comparados com os valores encontrados no estudo atual, presente na Tabela 26 (página 105), na qual observam-se que as concentrações de Al e Fe estão acima dos teores preconizados pelos órgãos internacionais e pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, que rege os padrões de qualidade para as águas de abastecimento público.

Estes dados são importantes porque a maior parte da população residente no reservatório de Tucuruí consome a água *in natura* sem qualquer tratamento convencional. Na cidade de Tucuruí, embora exista tratamento convencional, não há qualquer informação que

os metais, com elevadas concentrações, como Fe e Al, sejam eliminados ou reduzidos antes da distribuição da água a população da cidade. Outras cidades a jusante da barragem também utilizam a água do rio Tocantins in natura ou com tratamento convencional.

Tabela 25. Níveis médios de metais em água de consumo humano ($\mu\text{g/mL}$)

<i>Metais</i>	<i>WHO</i>	<i>Canadá</i>	<i>EUA</i>	<i>Rússia</i>	<i>Brasil</i> (*)
Al	200	-	-	500	100
Ba	700	1000	1000	700	700
Fe	300	300	300	300	300
Mn	500	50	500	500	100
Zn	300	5000	5000	5000	180
Cd	10	5	10	-	1

(*) Segue as normas da lei federal nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Fonte: CHAPMAM, 1992 (modificado).

Tabela 26. Comparação entre as concentrações dos metais no reservatório da UHE de Tucuruí ($\mu\text{g/L}$)

<i>Variáveis</i>	<i>Superfície</i>		<i>Intermediária</i>		<i>Fundo</i>	
	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>
	<i>chuvoso</i>	<i>estiagem</i>	<i>chuvoso</i>	<i>Estiagem</i>	<i>chuvoso</i>	<i>Estiagem</i>
Al	202,7	225,77	317,60	22,76	17,8	19,88
Ba	33,12	30,96	32,78	41,22	37,84	43,47
Fe	437,66	455,07	723,26	176,97	132,45	265,17
Mn	4,15	3,72	4,30	30,57	21,39	46,81
Zn	2,82	2,61	2,35	1,61	0,60	1,67

Comparando os resultados encontrados neste estudo com outros estudos encontrados na literatura (Tabela 27 - página 106), observa-se que no período chuvoso, os valores médios para o metal Ba ($32,4 \mu\text{g/L}$) estão acima da média dos valores encontrados por outros autores ($21,2 \mu\text{g/L}$) em rios amazônicos, sendo estes valores relacionados à mineralogia da região. A média dos elementos Al, Fe, Mn e Cd apresentaram teores abaixo dos valores médios

encontrados por Küchler et al. (2000), Pereira et al. (2004, 2005 e 2007) e Miranda et al. (2009).

Tabela 27. Concentração dos elementos químicos em outros rios amazônicos ($\mu\text{g/L}$)

<i>Locais</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Ba</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cd</i>
CONAMA	100	300	700	180	100	1
Canal Norte ^a	1654,2	Ni	Ni	51,4	148,6	0,1
Canal Sul ^a	208,6	Ni	Ni	151,1	261,4	0,2
Rio Pará ^a	110,2	Ni	Ni	17,2	108,1	Ni
Rio Negro ^b	111,0	220,0	8,1	Ni	Ni	Ni
Rio Xingu ^c	54,6	508,6	47,9	Ni	Ni	Ni
Rio Murucupi ^d	356,0	1080,8	26,4	Ni	Ni	Ni
Rio Tapajós ^e	280,0	564,9	2,5	Ni	Ni	Ni
Média ^f	396,4	593,6	21,2	73,2	172,7	0,1
Atual estudo [*]	248,7	538,7	32,4	3,0	4,1	<LD

(*) somatória dos valores médios para as três profundidades; (Ni) não investigado; ^a(PEREIRA et al., 2004);

^b(KÜCHLER et al., 2000); ^c(PEREIRA et al., 2005); ^d(PEREIRA et al., 2007); ^e(MIRANDA et al., 2009).

Os baixos valores encontrados para Zn, Ba, Mn e Cd, não mostram necessariamente que a região estudada esteja livre dos impactos ambientais causados por metais pesados. Segundo Oliveira (2008), em estudos que utilizou como matriz os peixes das espécies *Cichla spp* (Tucunaré), *Serrasalmus spp* (Piranha) e *Crenicichla spp* (Jacundá), capturados no lago da UHE de Tucuruí, constatou que alguns exemplares apresentaram o fenômeno da bioacumulação para os metais Cd e Zn, contrapondo-se aos baixos teores destes elementos quantificados nas águas coletadas durante as duas campanhas do trabalho atual.

Comparando-se os teores de Al encontrados por Pereira et al. (2007 e 2004), observa-se que os valores médios encontrados no rio Murucupi (356,0 $\mu\text{g/L}$), Canal Sul (208,6 $\mu\text{g/L}$) e Canal Norte (1654,2 $\mu\text{g/L}$), encontram-se acima dos valores deste trabalho (248,7 $\mu\text{g/L}$), indicando que aqueles locais estão impactados. Os valores encontrados por Pereira et al. (2004) no Canal sul, registraram valores abaixo da média do presente estudo para o mesmo elemento.

Em relação ao elemento Mn, a comparação com os valores médios encontrados por Pereira et al. (2004), permite observar que os valores médios de Mn encontrados no presente

trabalho (4,06 µg/L), estão muito abaixo dos reportados por aquele autor para o Canal Norte (148,55 µg/L), Canal Sul (261,38 µg/L) e Rio Pará (108,05 µg/L), estes rios possuem características diferenciadas em comparação ao rio Tocantins.

4.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS EM DOIS PERÍODOS SAZONAIS PARA TRÊS PROFUNDIDADES.

4.4.1 Análise descritiva das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades.

Os resultados da estatística descritiva para os elementos Al, Ba, Fe e Mn estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Relação entre as variáveis em termos de valores da média, máximo, mínimo e desvio padrão

<i>Variáveis</i>	<i>Padrão Conama^(*)</i>	<i>Valor Mínimo</i>	<i>Valor Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Al	100	1,50	584,19	136,83	169,40
Ba	700	14,20	78,54	34,98	12,85
Fe	300	22,90	719,91	318,86	206,09
Mn	100	2,24	78,08	16,67	18,78
Temperatura	--	28,00	31,20	29,69	0,82
pH	6 a 9	5,90	7,55	6,66	0,40
OD	≥ 5	0,70	8,90	5,60	1,78
Turbidez	<100	2,60	36,40	17,04	8,92

(*) Valores máximos permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução n^o 357/2005 que enquadra as águas do Rio Tocantins, onde está localizada a UHE de Tucuruí como sendo águas doce de classe II.

Em relação ao resultado do Al (média igual a 136,83 µg/L), foi observado que ele encontra-se acima da média considerada como limite máximo permitido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, entretanto, não foi possível afirmar que está havendo uma

contaminação por Al haja vista que o resultado da análise de desvio padrão (169,40 µg/L) apresentou-se bastante elevado, fato semelhante ocorreu no resultado da média do elemento Fe que apresentou uma média de 318,86 µg/L e um desvio padrão de 206,09 µg/L, ambos os elementos encontram-se em abundância na região amazônica. Os demais teores encontram-se abaixo dos valores médios preconizados pela legislação, notadamente os valores da média e desvio padrão, respectivamente das variáveis Ba ($34,98 \pm 12,85$), Mn ($16,67 \pm 18,78$), temperatura ($29,69 \pm 0,82$), pH ($6,66 \pm 0,40$), condutividade ($50,58 \pm 7,55$) e turbidez ($17,04 \pm 8,92$), não apresentando risco ambiental.

4.4.2 Análise da correlação bivariada das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades.

A correlação bivariada indica por meio de um fator denominado correlação de Pearson, se duas variáveis estão relacionadas linearmente. Essa correlação pode ser positiva ou negativa, indicando uma relação direta ou inversa respectivamente. Como critérios preliminares para realização da análise de correlação bivariada neste trabalho, foram selecionados as variáveis químicas e físico-químicas investigadas em dois períodos sazonais. Já para os metais, além do critério antes mencionado, selecionaram-se os metais em concentrações significativas (acima do limite de detecção), a fim de se obter uma representatividade estatística.

Na Tabela T.1 (apêndice 3 - pag.135) estão apresentadas as variáveis selecionadas na análise de correlação, notadamente, os elementos (Al, Fe, Ba e Mn) e as variáveis (pH, temperatura, condutividade e turbidez), analisadas durante dois períodos sazonais para três profundidades.

O coeficiente de correlação mede o grau de associação entre valores pela representação de pontos num sistema de coordenadas e suas respectivas posições em relação a uma linha reta.

Dentre as correlações obtidas observa-se excelente correlação positiva entre Al e Fe (0,80), confirmando a possibilidade da existência de uma afinidade entre os dois elementos, no que refere ao ambiente geoquímico. Comportamento semelhante pode ser observado na correlação moderada entre Al e Ba (-0,44), onde foi constatada uma relação linear inversa

entre as variáveis, indicando que o crescimento de uma variável depende do decréscimo da outra, demonstrando um grau de significância de 99%.

A partir da análise bivariada, constatou-se uma excelente correlação entre pH e Fe (-0,71) e uma boa correlação entre pH e Al (-0,54). Ambos os valores, demonstram que o pH pode influenciar no processo de dissolução de algumas rochas que compõem o material geológico, onde estão presentes diversos metais dentre os quais ocorre o Al e Fe. A diminuição do pH das águas naturais provoca um aumento da concentração de íons metálicos dissolvidos na água ligeiramente ácida. Dessa forma, durante o período chuvoso, observou-se um incremento dos elementos Fe e Al em algumas estações de monitoramento que apresentaram valores de $\text{pH} < 6$, notadamente, verificados na camada superficial C2 (5,98), na camada de fundo ML (5,95), C2 (5,54) e MI (5,90). Já no período de estiagem, verificou-se um comportamento inverso nos teores de Al e Fe para as referidas estações de monitoramento.

Além disso, outras relações importantes ocorreram entre as variáveis, com destaque as correlações excelentes entre o Al e a temperatura (-0,720), temperatura e Fe (-0,726), temperatura e pH (0,600), condutividade e temperatura (0,641), condutividade e Al (-0,581), condutividade e Fe (-0,559), condutividade e pH (0,508), turbidez e Al (0,576) correlações moderadas entre e turbidez e Fe (0,475).

4.4.3 Análise de variância (ANOVA) das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades.

Na tentativa de determinar se as amostras do espaço amostral surgem de populações com médias iguais, a análise de variância emprega uma medida dependente, ao passo que a análise multivariada de variância compara amostras com base em duas ou mais variáveis dependentes (DOWNING & CLARK, 2000).

A análise de variância busca relações lineares entre as variáveis em função das médias. Esse teste foi realizado com base nos resultados da correlação bivariada, onde foram selecionadas as variáveis Al, Ba, Fe, Mn, pH e temperatura, como as mais importantes quanto aos valores de correlação (Tabela 29).

Por meio da ANOVA foram testadas as variáveis selecionadas e a partir delas foi observado que a melhor relação se deu entre as variáveis em função da temperatura, onde

puderam ser observados os valores de significância de 95% entre temperatura e Ba, temperatura e Al, temperatura e Fe, temperatura e pH e temperatura e condutividade, confirmando as relações observadas na correlação bivariada de Pearson.

Tabela 29. Análise de variância (ANOVA) em função da temperatura

<i>Variáveis</i>	<i>Significância</i>
Turbidez	0,4090
Ba	0,0001
Al	0,0001
Fe	0,0001
Mn	0,0890
pH	0,0030
Condutividade	0,0001

Os valores em vermelho destacam as variáveis com significância de 99%.

4.4.4 Estatística multivariada das variáveis físico-químicas e metais em diferentes profundidades para dois períodos sazonais.

4.4.4.1- Análise das componentes principais (PCA)

Este método estatístico serve para criar coordenadas em um sistema de eixo mais conveniente para visualização e interpretação de dados. Para tanto foi necessário uma análise preliminar dos dados, onde se utilizou a correlação de Pearson e posteriormente, a análise de variância (ANOVA), a fim de se obter resultados com elevado grau de segurança e confiabilidade, durante a análise multivariada. A análise dos componentes principais selecionou quatro variáveis (temperatura e os metais Al, Ba, Fe), que continham ao mesmo tempo, informações dos dois períodos sazonais.

As variáveis (temperatura, Al, Fe e Ba) através de suas combinações lineares, geraram n-componentes as quais tem ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 (PC1) detém mais informações estatísticas que a componente principal 2 (PC2) e

assim por diante. As variáveis (Tabela 30) (Tabela 31) e (Figura 48) (Figura 49) tratam ao mesmo tempo, das informações de três profundidades e para dois períodos sazonais.

Para a análise dos autos valores da PCA realizada nas variáveis, constatou-se que a PC1 está sendo influenciada pela relação entre Al, Fe e a temperatura, já a PC2 é influenciada pela variável Ba e a PC3 é influenciada de pela temperatura. Dessa forma, 66,78% da variação explicada pela componente principal (PC1) são influenciadas pelas seguintes variáveis: Al (0,934), Fe (0,869) e temperatura (0,888). A segunda componente principal (PC2) explica 22,67% das informações contidas no sistema, sendo influenciada pela variável Ba (0,857) e por fim a influência da temperatura sobre a componente principal PC3 que explica 7,47% das informações, totalizando uma variação acumulada entre as três componentes de 96,93% de explicação dos dados.

Tabela 30. Variância das componentes selecionadas pela análise multivariada

<i>Componente</i>	<i>Variância Total (%)</i>	<i>Variância Acumulada (%)</i>
1	66,782	66,782
2	22,671	89,453
3	7,472	96,925
4	3,075	100,000

Tabela 31. Pesos das variáveis para as componentes selecionadas pela análise multivariada

<i>Variáveis</i>	<i>Pesos das components principais</i>		
	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>	<i>PC3</i>
<i>Al</i>	0,934	6,266E ⁻⁰³	0,274
<i>Ba</i>	0,503	0,857	2,991E ⁻⁰²
<i>Fe</i>	0,869	0,408	0,147
<i>Temperatura</i>	0,888	8,029E ⁻⁰²	0,449

(PC1) Primeira componente principal; (PC2) Segunda componente principal; (PC3) Terceira componente principal.

Ao realizar a análise exploratória PCA, verificou-se um agrupamento (Al e Fe) que pode ser explicado, pela disponibilidade desses elementos provenientes da decomposição da matriz mineralógica do local, que devido à formação do lago, causou modificação na qualidade química das águas, tanto a montante, quanto a jusante do reservatório de Tucuruí.

No período de chuvoso, o metal Ba ocorreu em baixas concentrações na maioria das estações. As componentes principais foram influenciadas pelos valores encontrados nas camadas de fundo das estações MT (51,38 $\mu\text{g/L}$), C2 (51,52 $\mu\text{g/L}$) e MR (51,36 $\mu\text{g/L}$) esses teores elevam-se durante a estiagem para as mesmas estações MT (67,88 $\mu\text{g/L}$) e C2 (62,27 $\mu\text{g/L}$), MR (100,19 $\mu\text{g/L}$). Este fato pode estar relacionado à contaminação de origem antrópica, devido existência de moradias às margens dos rios e igarapés na região, cuja ausência de infra-estrutura e saneamento que aliada ao uso de herbicidas e praguicidas como o fluossilicato de Ba (BaSF_6), bastante utilizado para neutralizar a acidez do solo, podem causar variações químicas, sobretudo do pH, que é um importante controlador da disponibilidade do elemento Ba para a biota (ROCHA & SILVA, 2003; SOUSA, 2007).

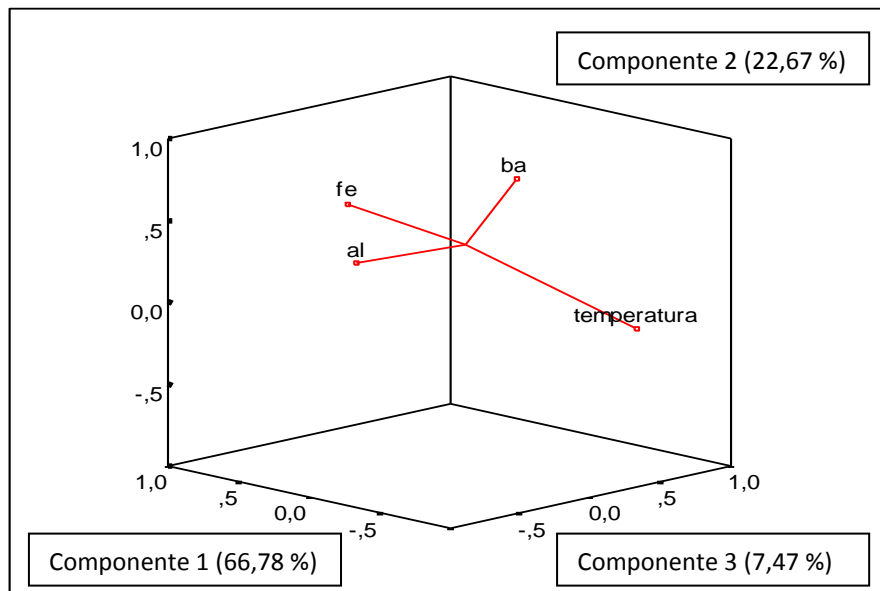


Figura 48. Gráfico das componentes principais no reservatório da UHE Tucuruí

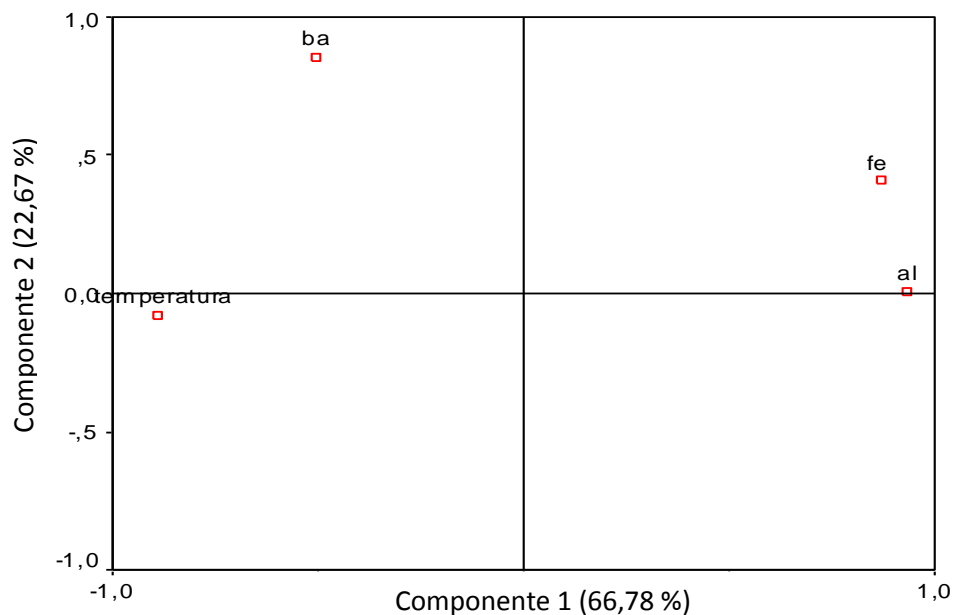


Figura 49. Gráfico das componentes PC1 e PC2 no reservatório da UHE Tucuruí.

Durante o período de estiagem, houve um incremento nas concentrações de Ba em quase todas as estações, exceto nos pontos M3 (houve decréscimo nas três profundidades). Já as concentrações de Al diminuíram em todas as estações de monitoramento. A partir da validação das amostras pela análise das componentes principais, observa-se que os referidos elementos formam dois grupos distintos, presentes nas Figuras 47 e 48, além de confirmar a correlação inversa entre as concentrações dos elementos Al e Ba (-0,449), expressos na Tabela T.1 (apêndice 3 - pag. 135).

4.4.4.2 Análise de agrupamento hierárquico (HCA)

A análise de agrupamento hierárquico consiste no tratamento matemático de um conjunto de amostra como um ponto no espaço multidimensional descrito pelas variáveis escolhidas. As medidas de distância expressam o grau de similaridade como distância em um espaço multidimensional, nesse sentido, quanto menor à distância, maior o grau de similaridade e vice-versa.

A partir da análise de agrupamentos (Figura 50) realizada, foi possível dividir o conjunto de variáveis em dois grupos, destacando os melhores graus de similaridade entre as variáveis: no primeiro grupo verifica-se a similaridade Al e Fe. O segundo grupo mostra a

similaridade, simultânea entre os metais Fe e Al e destes com as estações, obedecendo à seguinte ordem: relação entre o Fe e as estações (Fe-estações) e o Al e as estações (Al-estações), expressos na Figura A.9 (apêndice 4 - pag. 137).

A análise de agrupamentos realizada a partir do dendrograma demonstra que o primeiro grupo apresenta um alto grau de similaridade entre as variáveis (Fe-Al), que possuem menores distâncias de ligação. Este fato pode estar relacionado às transformações no ambiente aquático, causadas pela formação do lago de Tucuruí, que aliado a outras ações de origem natural ou antropogênica, aceleram os processos intempéris que acometem as matrizes geológicas, sobretudo no período de maior precipitação, comprovando que existe influência da sazonalidade no controle da disponibilidade destes metais para o corpo hídrico, confirmando a análise da matriz de correlação.

A partir do dendrograma, constatou-se que a similaridade entre as variáveis Fe e Al, possui como característica comum, as altas concentrações dos referidos elementos, seja nas camadas superficiais (1), seja na camada intermediária (2), ou mesmo na camada de fundo (3), tanto no período chuvoso (ch), quanto no período de estiagem (est).

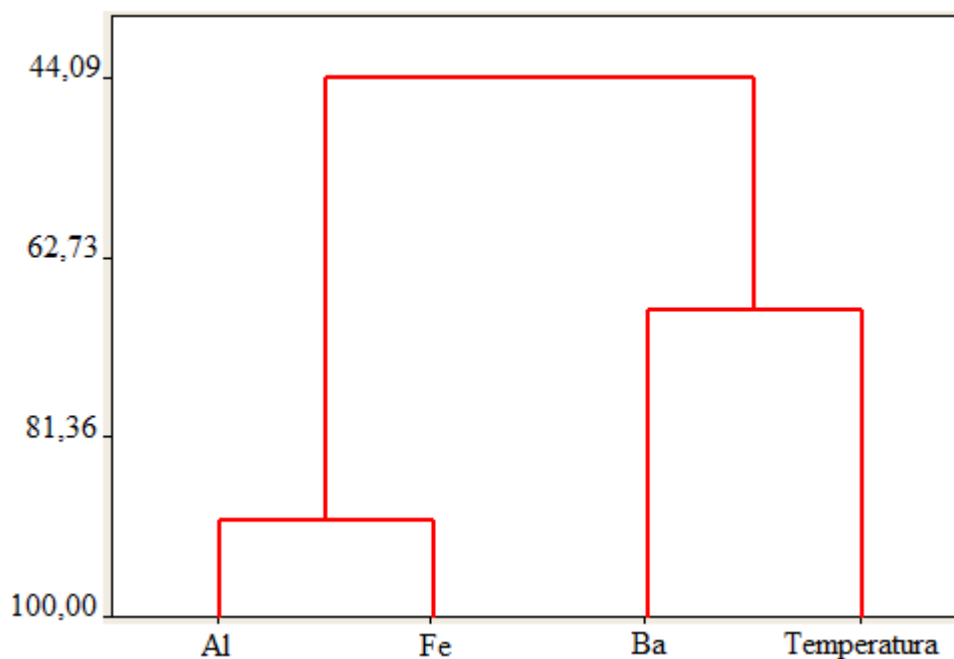


Figura 50. Dendrograma representando a similaridade entre as variáveis Al, Fe, Ba e temperatura

O segundo grupo informa que existe alta similaridade entre os teores Fe-estações e Al-estações, que se relacionam da seguinte forma, respectivamente: Fe-(C21est)-(MI3ch-MR3est) e Fe-(NP3ch-B13ch-C11est). Já o elemento Al também expressa alta similaridade

com as estações, notadamente: Al-(MR3est-MI3est-MBB1est), Al-(M12ch-B13est), Al-(MB1est-B13est), Al-(MI3est-MR3est), Al-(MB3est-C22est).

As melhores similaridades ocorreram no período de estiagem, verificadas nas estações que apresentaram como característica comum, uma diminuição dos teores de Fe e Al, sobretudo nas estações onde ocorra variação nos valores de pH, mostrando a relação inversa desta variável com os teores dos metais Fe e Al, validando os valores da correlação de Pearson.

Nas estações onde houve aumento dos valores do pH, observou-se a diminuição das concentrações de Al para as mesmas estações. O elemento Fe comportou-se de maneira semelhante, exceto na camada superficial da estação Caraiapé 2, a qual apresentou no período chuvoso uma concentração de 224,05 µg/L, aumentando para 384,03 µg/L no período de estiagem.

Além disso, o elemento Fe apresentou alta similaridade com outras estações, notadamente, Fe-(C21est)-(MI3ch-MR3est). Esta relação pode ser justificada pelo elevado teor de Fe nas referidas estações sugerindo como fonte de contaminação a dissolução dos metais provenientes tanto das drenagens continentais (matriz mineralógica) quanto de atividades antrópicas, favorecendo a disponibilidade de íons metálicos dissolvidos das águas naturais.

5. CONCLUSÕES

- A partir dos resultados propostos neste estudo, chegou-se a conclusão que existe influência da sazonalidade e da profundidade da coluna d'água sobre as características físicas, químicas e dos metais Al, Fe, Ba, Mn, Zn e Cd nas diferentes estações de monitoramento resultante, principalmente, de fatores climatológicos, particularmente da precipitação pluviométrica.
- As maiores concentrações para os metais foram verificadas na camada de fundo das estações de monitoramento, durante o mês de maio, período de maiores índices pluviométricos, justificado pelas características do solo, devido ao carreamento intenso de partículas para o sistema aquático. Este impacto pode estar relacionado à ocupação irregular e a erosão ao longo das margens das microbacias do rio Tocantins.
- A partir das análises realizadas na água do rio Tocantins, pôde-se verificar o percentual de amostras nos dois períodos sazonais que estão em desacordo com os padrões adotados pela Resolução Federal nº 357 de 17/03/2005 do CONAMA. No período chuvoso observaram-se as seguintes porcentagens: Al (38%), Fe (51,2%), Ba (1,2%), Mn (1,2%) e Cd (não apresentou nenhum valor fora do limite da legislação). Já durante o período de estiagem ocorreu uma diminuição nas concentrações de Al e Fe em quase todas as estações. Porém os elementos Ba, Mn, Zn e Cd, apesar de estarem em conformidade com a legislação, apresentaram um incremento em suas concentrações neste período. O aumento nos teores dos elementos pode estar relacionado à possibilidade de alguns rios carrearem efluentes domésticos e industriais e defensivos agrícolas para a calha do rio Tocantins, principalmente no período chuvoso.
- Avaliando-se os teores dos metais analisados por ICPAES (espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado), verificou-se que alguns valores ficaram abaixo do limite de detecção da metodologia aplicada (Cd e Zn). Dessa forma, para realização da análise estatística descritiva, utilizou-se como valor medido o limite de detecção do método. Estes valores não detectados não refletem exatamente as concentrações dos referidos elementos, mas indica que seus teores são bastante baixos, o que dificulta a determinação de sua origem que poderá ser natural ou antropogênica.

- A partir dos resultados obtidos neste estudo, constatou-se que os testes de validação mostraram-se eficientes para a análise das variáveis na maioria das estações de monitoramento, exceto na estação Montante Repartimento, que apresentou valores dispersos em relação à média das variáveis (Fe, Mn, condutividade e OD), as quais apresentaram um elevado desvio padrão e intervalos de frequência afastados da curva padrão de Gauss do teste Q de Dixon em ambos os períodos sazonais, necessitando de uma investigação mais ampla a fim de detectarem-se as possíveis fontes de contaminação a partir de fontes naturais ou antropogênicas.
- A partir da análise de correlação linear de Pearson, observou-se alta correlação (80%) entre os elementos Al e Fe com 99% de significância. Esta forte correlação pode ser justificada pelas suas associações aos argilominerais existente na região (por exemplo, caulinita, illita e esmectita) ou ainda estejam adsorvidos aos óxidos hidratados e hidróxidos de metais mais abundantes na região como o Al, Fe e Mn. Essas informações foram validadas pelas análises multivariadas, PCA e HCA.
- No período de estiagem verificou-se um incremento nos teores de Zn e Cd, causando à incorporação destes elementos metálicos estranhos a biota aquática. Fato este comprovado em outros estudos, que utilizaram como matriz alguns peixes, capturados no lago da represa de Tucuruí, na qual se constatou o fenômeno da bioacumulação para os referidos metais.
- Espera-se que as informações técnicas abordadas neste trabalho venham auxiliar no uso racional dos recursos hídricos pelas comunidades tanto a montante quanto a jusante do reservatório, além de aperfeiçoar a implantação de futuros empreendimentos, no que se refere aos recursos hídricos na bacia na Hidrográfica do rio Tocantins.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. A. **Degradação sócio ambiental: um estudo sobre a população residente a proximidade da foz do igarapé Tucunduba (Belém/Pará)**. Trabalho de Monografia do Curso de Especialização em Educação Ambiental do Núcleo de Meio Ambiente da UFPA, 2000, 49p.

ALVES, C. S. L. **Avaliação sazonal e temporal de variáveis físico-químicas no Reservatório de Tucuruí-PA**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005. 111p.

AMARAL, P. **Introdução à quimiometria**. Um Livro de texto eletrônico. 1996, 135p.

AMAT - **Associação dos Municípios do Araguaia e Tocantins do Estado do Pará**. Municípios Associados. 2005. 3p. Disponível em: <<http://www.amat.org.br>>. Acesso em: 14 março 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A Região Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia**. Brasília-DF, 2006. 1-8p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso dia 27 de agosto de 2009.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Caderno de Recursos Hídricos: Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília-DF, 2005. 16-34p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acessado em 10 de janeiro de 2010.

ANGHER, A. J. **Legislação de direito administrativo, ambiental e constituição federal** editora Rideel, 2ª edição, 2004, 1350p.

APHA American Public Health Association. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 16 Th ed. Washington, 1995, 1268p.

ARFI, R. **The effects of climate and hydrology on the trophic status of Séligué Reservoir, Mali, West Africa.** *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 8(3-4):243-260, 2003.

BABBIE, E. **Métodos de Pesquisa de Survey.** Belo Horizonte, UFMG, 1999. 2ª Edição de Survey Research Methods, EUA, Wadsworth, 1988, 509p.

BASSO, E. **Alteration of the water balance of lakes.** *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 5(1):5-9, 2000.

BLASCO, J.; SÁENZ, V.; GÓMEZ-PANA, A. **Heavy metal fluxes at the sediment-water interface of three coastal ecosystems from South-west of Iberian Peninsula.** *The Science of the Total Environment*, 247:189-199, 2000.

BOURG, A. C. M . & LOCH, J. P. G. **Mobilization of heavy metals as affected by pH and redox conditions.** In: SALOMONS, W. & STIGLIANI, W. M. (Eds). **Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments: risk assessment of delayed and non-linear responses.** Springer, Germany, p. 87-102, 1995.

BRAGA, E. S. **Nutrientes Dissolvidos e Produção Primária do Fitoplâncton em dois Sistemas Costeiros do Estado de São Paulo.** IOUSP, São Paulo, v.1, 1995, 199p.

BUNYARD, P. **Dam Building in the tropics: some environmental and social consequences.** In: DICKINSON, R. E. Ed. **The Geophysiology of Amazonian vegetation and climate interactions.** New York, Wiley & Sons. p. 63-68, 1987.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia.** 4 ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1988. 280p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **"Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo"**. São Paulo: CETESB. São Paulo-SP, 2004, 297p.

CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de águas,** 1998, 150p.

CLARKE, S. C.; JACKSON, A. P.; NEFF, J. **Development of a risk assessment methodology for evaluating potential impacts associated with contaminated mud disposal in the marine environment.** Chemosphere, 41:69-76, 2000.

CHAPMAN, R. M. **A quantitative survey of kappa and alpha EEG activity.** Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 14: 858-68, 1992.

CLEMENT, R. E. & YANG, P. W. **Environmental Analysis - Review.** Analytical Chemistry 69:251R-287R, 1995.

CMB. **Estudo de caso Brasileiro, UHE Tucuruí, relatório final - Anexos.** - Agosto de 1999a, 37p. Disponível em: <<http://www.dams.org>>. Acesso em: 28/02/2010.

CMB. **Relatório final da fase de escopo da UHE Tucuruí (Brasil).** Agosto de 1999, 31p. Disponível em: <<http://www.dams.org>>. 1999b. Acesso em: 17/08/2009.

CMB. **Comissão Mundial de Barragens, Estudo de Caso Brasileiro, UHE Tucuruí, Relatório de Escopo** - Agosto de 1999c, 47p.

CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, nº 357 de 17 de março de 2005**, p. 9-24, 2005.

CORREA, M.P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas.** Rio de Janeiro, IBDF, 1975. 6v.

COSTA, V. R. **Tucuruí quinze anos depois.** Revista Ciência Hoje, 27(159):48-51, 2000.

COUTINHO, S. da C. & PIRES, M. J. P. **Um banco genético para o futuro.** Monte Dourado-PA: MAGO, 1996. 243p.

CROOK, D. S. **The historical impacts of hydroelectric power development on traditional mountain irrigation in the Valais, Switzerland Mountain.** Research and Development, 21:(1)46-53, 2001.

DIONNE, D. & THERIEN, N. **Minimizing environmental impacts of hydroelectric reservoirs through operational control: a generic approach to reservoirs in Northern Quebec.** *Ecological Modelling*, 105(1):41-63, 1997.

DIXON, W. J. & MASSEY JR, F. J. M. **Introduction to Statistical Analysis.** Third edition, 1951, 638p.

DIXON, W. J. **Processing data for outliers.** *Biometrics*. 9:74-89, 1953.

DORNELLES, L. M. A. **Análise comparativa entre mapas de risco de poluição por metais pesados em sedimentos da Baía de Sebetiba, RJ-Brasil. Gerados com uso do SGI SAGA/UFRJ.** Anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa & VII Congresso Brasileiro de Geoquímica/Porto Seguro-Bahia-Brasil, p.88-90, 1999.

DOWNING, D. & CLARK, J. **Estatística aplicada.** São Paulo: Saraiva, 2000, 456p.

ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. **UHE Tucuruí. Plano de utilização do reservatório. Programa de qualidade da água. Relatório interpretativo das variáveis limnológicas** (maio/ 85 a abril/ 88). Brasília. 1989a, 44p.

ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. **UHE Tucuruí - Relatório interpretativo das Variáveis Limnológicas** (maio/85 a abril/88), 1989b. 67p.

ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. **UHE Tucuruí. Plano de utilização do reservatório. Caracterização e diagnóstico do reservatório e de sua área de influência** (TUC-10-26346-RE). Brasília. v. 1, 1988, 236p.

ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. **Relatório síntese dos estudos limnológicos na região da usina hidrelétrica de Tucuruí** (TUC-10-26514-RE). Brasília. 1987, 109p.

ELETRONORTE. **Usina Hidrelétrica de Tucuruí - Caracterização ambiental**, 2005, 49p.
Disponível em: < <http://www.eln.gov.br/meiotuc.htm>>. Acesso em: 28 agosto 2009.

ELETRONORTE. **UHE Tucuruí: Plano de utilização do reservatório: caracterização e diagnóstico do reservatório e de sua área de influência.** TUC-10-26346-RE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 3 Vols. 1988. 87p.

ELETRONORTE. **Tabelas de áreas e volumes do reservatório de Tucuruí;** documento 10-15.589-RE. Brasília: Consórcio Engevix-Themag, 1984. 127p.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de estudos de efeitos ambientais dos sistemas elétricos.** São Paulo. 1986, 112p.

ELLIS, P. A.; RIVETT, M. O.; MACKAY, R. **Geophysical Research Abstracts, 5, 12,063. Environment.** 2ed. Berlin: Springer-Verlag. New York, 2003, 486p.

ENGEVIX-THEMAG. **UHE Tucuruí, etapa final - unidades 13 a 23, projeto executivo; programa de limnologia/qualidade da água; diagnóstico das atuais condições limnológicas e de qualidade da água;** TUC-MAN-805-0003-RE. Brasília: 2002. 94p.

ENGEVIX-THEMAG **UHE Tucuruí, etapa final- unidades 13 a 23, projeto executivo;** plano de ações ambientais; programa de recuperação de áreas degradadas; relatório de acompanhamento-fevereiro/2000; TUC.-E-MAN-819-0006-RA: Consórcio Engevix-Themag, 2000a, 29p.

ENGEVIX-THEMAG. **Proposta de aplicação dos recursos da compensação ambiental na região de influência da UHE Tucuruí;** TUC-E-MAN-800-0001-RC. Brasília, 2000b. 112p.

ENGEVIX-THEMAG. **UHE Tucuruí, etapa final - unidades 13 a 23, projeto executivo; programa de limnologia/qualidade da água; diagnóstico das atuais condições limnológicas e de qualidade da água;** TUC-MAN-805-0003-RE. Brasília, 1988a, 94p.

ENGEVIX-THEMAG **UHE Tucuruí Programa de Recuperação de Áreas Degradadas,** 1998b, 188p.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States). **Water quality criteria**. Washington: 1972. 408p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, FINEP, 1988. 575p.

EVANGELISTA, R. A. O. **Estudo limnoquímico do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia). Belém: Centro de Geociências/Universidade Federal do Pará UFPA, 1993. 199p.

FEARNSIDE, P.M. **Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications**. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96, 2002.

FEARNSIDE, P. M. **Environmental impacts of Brazil's Tucuruí dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia**. *Environmental Management*, 27(3):377-396, 2001.

FEARNSIDE, P. M. **Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: the example of Brazil's Tucuruí dam as compared to fossil fuel alternatives**. *Environmental Conservation*, 24(1):64-75, 1997.

FENZL, N. **Introdução a Hidrogeoquímica**. Universidade Federal do Pará. 1986, 189p.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto rico, PR**. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP/Campus de Rio Claro, 1990, 96p.

FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S.; SANTOS, G. M. **Peixes comerciais do médio Amazonas: Região de Santarém, Pará**. Edição do IBAMA, Divisão de Divulgação Técnico-Científica, Brasília, 1999, 211p.

FISCH, G. F.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R. C. **Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia.** Acta Amazônica, 20(Único):49-60, 1990.

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic.** 1983, 254p.

GIBBS, R. J. **Transport phase of transition metals in the Amazon and Yukon rivers.** Bull. Geol. Soc. Am., 88: 829-843, 1977.

GILL, R. **Chemical fundamentals of geology.** 2ª Ed. London: Chapman & Hall, 1996. 298p.

GOVERNO DO PARÁ. **Conheça o Pará.** Disponível em: <<http://www.pa.gov.br/turismo/>>. Acesso em: 14 março 2010.

HOLT, M. S. **Sources of chemical contaminants and routes into the freshwater environment.** Food and Chemical Toxicology, 38:S21-S27, 2000.

HUNT, D. & WILSON, A. **The Chemical Analysis of Water** (2nd ed.). London: The Royal Society of Chemistry, 1986.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 07 de Março 2010.

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. **Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE Tucuruí. Relatório de avanço e acompanhamento semestral. Segmento: estudos meteorológicos;** Manaus, janeiro-julho de 1987a, 30p.

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. **Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Tucuruí; relatório semestral de avanço e acompanhamento. Segmento: ictiofauna;** Manaus, julho-dezembro de 1987b, 90p.

INPA-ELETRONORTE. **Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Tucuruí; Impacto do reservatório no aumento de doenças endêmicas - Leishmaniose e doença de Chagas.** Relatório Técnico. Manaus, 1985. 75p.

INPA-ELETRONORTE. **Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Tucuruí; Impacto do reservatório no aumento de doenças endêmicas (Leishmaniose e doença de Chagas com comentários sobre o encontro de fungos causadores de micoses profundas),** Relatório Técnico. Manaus, 1984. 123p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 05/12/2009.

INMETRO. **Procedimento do Programa de Análise de Produtos: NIG-DQUAL-002.** Rio de Janeiro, 2003. 22p.

JUNK, W. J. & MELLO, J.A.S.N. **Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira.** p. 367-385 In: KOHLHEPP, G. & SCHRADER, A. (eds.) **Homem e Natureza na Amazônia.** Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerika-Forschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha. 1987, 507p.

KARTHIKEYAN, S.; PRASADA, R. T.; IYER, C. S. P. **Determination of arsenic in sea water by sorbent extraction with hydride generation atomic absorption spectrometry.** Talanta, 49:523-530, 1999.

KROONENBERG, S. B. & MELITZ, P. J. **Summit Levels Bedrock Control and the Etchplain Concept n the Basement of Suriname.** Geol. Mijn., 62:389-399, 1993.

KÜCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B. R. A. **Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil.** Journal of the Brazilian Chemical Society, 11(3):286-292, 2000.

LA ROVERE, E. L. & MENDES, F. E. et al. **Estudo de Caso da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil): relatório final - anexos.** Comissão Mundial de Barragens. Rio de Janeiro: LIMA/COPPE/UFRJ, fev. 2000. 244p. Disponível em: <<http://www.dams.org>> Acesso em: 25 outubro 2009.

LA ROVERE, E. L. **Estudo de Caso da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil): relatório final da fase de escopo.** Comissão Mundial de Barragens. Rio de Janeiro: LIMA/COPPE/UFRJ, ago. 1999. 43p. Disponível em: <<http://www.dams.org>> Acesso em: 28 outubro 2009.

LAPPONI, J. C. **Estatística Usando o Excel.** São Paulo: Lapponi, 2000, 181p.

LEITE, F. **Validação em análise química.** 4ª Ed. Campinas, 2002. 278p.

LIMA, J. E. F. W. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins. Planaltina, DF:** Embrapa Cerrados, Brasília, DF: ANEEL/ANA, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 26 outubro 2009.

LIMA/COPPE/UFRJ. **Estudo de Caso Brasileiro - UHE Tucuruí: relatório final. Comissão Mundial de Barragens.** Rio de Janeiro: abril, 2000.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. da C. **Essências madeireiras da Amazônia:** Manaus: INPA, 2v.1979, 188p.

MACKAY, D & CLARK, K.E. **Predicting the environmental partitioning of organic contaminants and their transfer to biota.** In: Jones, K.C. **Organic Contaminants in the environment.** Management. Series, Elsevier Science Pub, New York, 1991, 254p.

MALM, O. **Estudo da poluição ambiental por metais pesados no sistema Rio Paraíba do Sul-rio Guandu (RPS-RG) através da metodologia de abordagem pelos parâmetros críticos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1986, 127 p.

MATTA, M.A.S. & HASUI, Y. **Modelamento estratigráfico da região de Tucuruí-Pará.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais. SBG, 2:821-831, 1984.

MATTA, M.A.S. **Evolução geológica da região de Tucuruí, Pará.** Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado), 1982, 109p.

MICHAEL, F. & DAVID, C. **Hoaglin and Boris Iglewicz. "Some Implementations of the Boxplot".** The American Statistician, 43(1):50-54, 1989.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; OLIVEIRA, G. R.; ALVES, D. T. V. **Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos.** Revista Ambiente & Água, 4:75-92, 2009.

MIRANDA, R. G. **Avaliação da presença de metais tóxicos na água da represa de Tucuruí.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial). Instituto de Ciências Exatas e Naturais - UFPA. Belém, 2009, 21-24p.

MOITA, J. M. & MOITA, G. C. **Estudo Multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina.** Química Nova, 3:429-435, 2006.

MOITA, J. M. & MOITA, G. C. **Uma Introdução a análise exploratória de dados multivariados.** Química Nova, V.4, 467-469p, 1995.

MORGAN, M.G. & HENRION, M. **Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis.** Cambridge University Press, New York, 126p. 1993.

NAKANO, O. & ZUCCHI, R. A. **Guia de identificação de pragas agrícolas.** Piracicaba: FEALQ, 2002, 139p.

O ESTADO DE SÃO PAULO. **Tucuruí terá mosaico de unidades de conservação** - Edição Digital, São Paulo, 28 fev. 2002. Disponível em:

<<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/>>. Acesso em: 25 out. 2009.

OLIVEIRA, G. R. F. **Estudo dos teores e da bioacumulação de metais traço em tecido de peixes capturados no reservatório da hidrelétrica de Tucuruí-PA**. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal do Pará, Belém, 22-36; 116-125p. 2008

OTOBO, A. O. & LIMA, W. N. de **The influence of Pirabas Formation sediments on natural waters (Physiographic Zones of Salgado and Bragantina)**. Proceedings of the International Symposium on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries, held in Niteroi (RJ), p. 27-31, 1993.

PAIVA, M. P. **Peixes e Pescas de Águas Interiores do Brasil**, Editora Editerra, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 1983, 55p.

PEREIRA, S. F. P. **Estudo Preliminar dos níveis de contaminação ambiental no rio Murucupi provocados por vazamento de efluente da ALUNORTE na região de Vila do Conde em Barcarena (PA)**. Relatório Técnico. Universidade Federal do Pará - LAQUANAM. Belém, 2009, 120p.

PEREIRA, S. F. P.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. **Estudo químico ambiental do rio Murucupi - Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio**. Revista Ambi-Água, Taubaté, 2(3):62-82, 2007.

PEREIRA, S. F. P.; SARAIVA, A.C.F.; SIQUEIRA, G.W.; FREITAS, K.H. ; LIMA, M.A. de. **Avaliação de teores de elementos traço nas águas do rio Xingu - Região impactada pela garimpagem de ouro**. Traços, Belém, 7(16):53-60, 2005.

PEREIRA, S. F. P.; SARAIVA, A. C. F.; SIQUEIRA, G.; PIRES, O. O.; LIMA, M. A. de. **Avaliação da qualidade das águas superficiais do delta do rio Amazonas, com relação aos teores de metais pesados**. In: IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, Santos. Anais do CBPAS, São Vicente: Council of Researches in Education and Sciences. 1:1-5, 2004.

PEREIRA, S. F. P.; PIRES, O. O.; MENDONÇA, A. M. G.; LIMA, G.; SANTOS, J. **Estudo de Parâmetros Ambientais na Bacia do Tucunduba/Região metropolitana de Belém-Pa.** In: XL Congresso Brasileiro de Química, Recife. ABQ, 1:29-29, 2000a.

PEREIRA, S. F. P.; FREITAS, P.; BARBOSA, J.; RAMOS, R.; EDNEI, J. **Avaliação da poluição hídrica na bacia do Una - Uma década depois.** In: XL CBQ, Recife. 1:385-385, 2000b.

PESTANA, M. H. D.; LECHLER, P.; FORMOSO, M. L. L.; MILLER, J. **Mercury in sediments from gold and copper exploitation areas in the Camaquã River Basin, Southern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 13:537-547, 2000.

PIRES, N. M.; OLIVEIRA, W. R. **Alelopatia.** In: OLIVEIRA J. R.; CONSTANTIN, J. (Coord.) **Plantas Daninhas e seu Manejo.** Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária. p. 145-185, 2000.

RIBEIRO, H. M. C. **Avaliação atual da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-PA).** Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). Belém, 1992, 109p.

RIBEIRO, M. N. G & MARTINELLI, L. A. **Descarga de sólidos dissolvidos totais do rio Amazonas e seus principais tributários.** Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, 3(2):141-148, 1979.

RILEY, J. P. E. & CHESTER, R. **Introducción a la química Marina.** Ed 2º México: 1989, 457p.

ROCHA, G. de M. & SILVA, M.S. da. Projeto de pesquisa **“A produção da informação geográfica e a gestão municipal da água: o uso da tecnologia SIG na caracterização e monitoramento do uso múltiplo dos recursos hídricos na cidade de Tucuruí (PA)”**. A experiência local da gestão da água na cidade de Tucuruí (PA), 2003, 165p.

SALGADO-LABORIAU, Maria Léa. **História ecológica da Terra.** São Paulo: Edgard Blücher, 1996, 125p.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Trace metal analysis on polluted sediments. Part II: Evalution of environmental impact.** Environmental. Technol. Lett, 1:506-517, 1980.

SANTOS, G. M & MÉRONA, B. **Impactos imediatos da UHE Tucuruí sobre as comunidades de peixes e a pesca. Energia na Amazônia.** vol. I. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi/ Universidade Federal do Pará/ Associação de Universidades Amazônicas, p. 251-257, 1996.

SANTOS, M. J. M & RAMOS, J. F. F. **Hidroquímica do lago da UHE Tucuruí (PA).** In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 9. Anais. Belém: UFPA, p. 338-340, 2003.

SANTOS, M. J. M. **Aspectos limnoquímicos do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí (PA): uma avaliação temporal entre 1986 a 2001.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia). Belém: Centro de Geociências/Universidade Federal do Pará UFPA, 2003. 122p.

SCHIO, R. **Caracterização toxicológica de produtos domésticos que geram resíduos sólidos perigosos e sua destinação no município de Campo Grande-MS,** Dissertação (Mestrado) - SARH, PPG-TA-UFMS, Campo Grande, 2003, 102p.

SEILER, H. G. & SIGEL, H. **Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds,** Marcel Dekker Inc. New York, 1998, 45p.

SETTI, A. A.; LIMA, W. F. E. J.; CHAVES. M. **Introdução ao Gerencialmente dos Recursos Hídricos,** 2001. 225p.

SEPOF. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - **Estatística Municipal:** Tucuruí. 2008. Disponível em www.sepof.pa.gov.br/. Acessado em 25/02/2010.

SILVA, A. K. G.; MACHADO, D. A.; NALINI Jr, H. A.; LENA, J. C. **A qualidade das águas na região dos garimpos de topázio imperial na sub-bacia do rio da Ponte, Ouro Preto-MG.** REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(4): 603-611, 2007.

SIOLI, H. & KLINGE, H. **Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 1:27-41, 1969.

SIQUEIRA, G. W. **Parâmetros ambientais das águas costeiras a noroeste da Plataforma Amazônica, entre as latitudes de 040 20'00''N e longitude de 010 40'00''N.** Anais do VII Congresso Brasileiro de Geoquímica & I Simpósio de Geoquímica do Mercosul, Curitiba/Paraná, (CD-ROM), 125p. 2001a.

SIQUEIRA, G. W.; DUCATTI, G. M.; BRAGA, E. S. **Avaliação de metais pesados (Pb, Cr, Cu, Fe) no sistema estuarino de Santos/São Vicente e Baía de Santos (São Paulo/Brasil).** Anais do IX Congresso Latino Americano sobre Ciencia del Mar. Colômbia, (CD-ROM), 157p. 2001b.

SIQUEIRA, G. W. & E. S. BRAGA. **Availability of Fe, Mn, Cr and Zn in the muddy sediments on the Amazonian Continental Shelf.** Anais do VIII Congresso Latino Americano sobre Ciencia del Mar. Trujillo/Peru, 825-826p, 1999.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Principles of instrumental analysis.** 5^a ed. Florida. Ed. Saunders College Publishing, 1998, 849p.

SOUSA, E. D. M. **500 Anos de Cerâmica na Madeira. Estudo tipológico de vinte e cinco peças arqueológicas.** Associação de Arqueologia e Defesa do Patrimônio da Madeira. Machico, 58p. 2007.

STRASKRABA, M.; TUNDIZI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento de qualidade de água nas represas.** Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos-SP, v. 9, 2000, 258p.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. **Quaternary Marine Formations of the States of São Paulo and Southern Rio de Janeiro.** International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary - São Paulo - 1980, 1-55p.

TUNDISI, J. G. **Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos.** In: Desafio amazônico: o futuro da civilização dos trópicos. Brasília: Editora Universidade de Brasília; CNPq, 1990.

VARIAN Ind. & Com. Ltda. **Manual de Espectrometria com fontes de plasma.** 2000, 75p. Disponível em: <<http://www.varianinc.com/cgi-bin/nav?/>>. Acesso em 11 de dezembro de 2009.

VERMA, S. P. E & QUIROZ-RUIZ, A. **Critical values for six Dixon tests for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23(2):133-161, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1995, 240p.

WEINER E. R. **Applications of environmental chemistry: a practical guide for environmental professionals.** Florida: CRC Press, Lewis Publishers, 2000. 288p.

ZINGARO, R. A. **How certain trace elements behave.** Environmental Science and Technology, v. 2 , h282-287, 1979.

APÊNDICE 1

Histogramas para validação das variáveis físicas, físico-químicas.

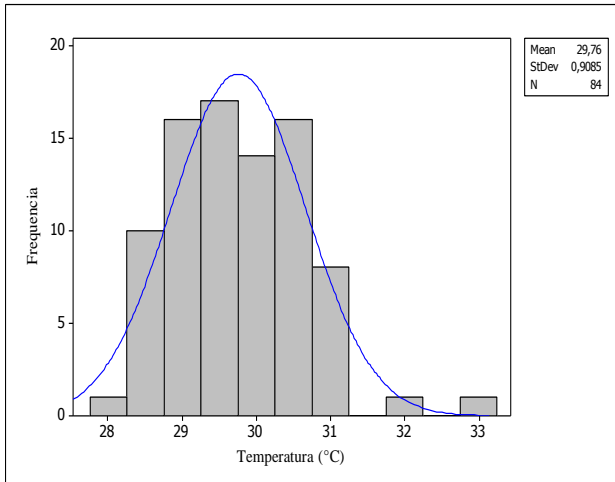


Figura A.1 - Validação da matriz para temperatura

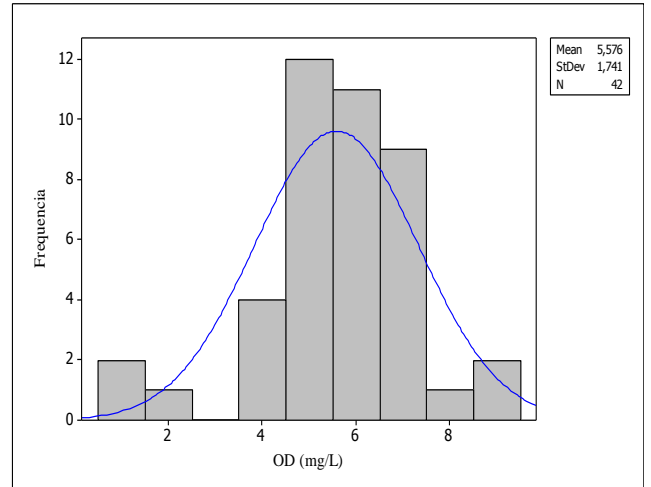


Figura A.2 - Validação da matriz para OD

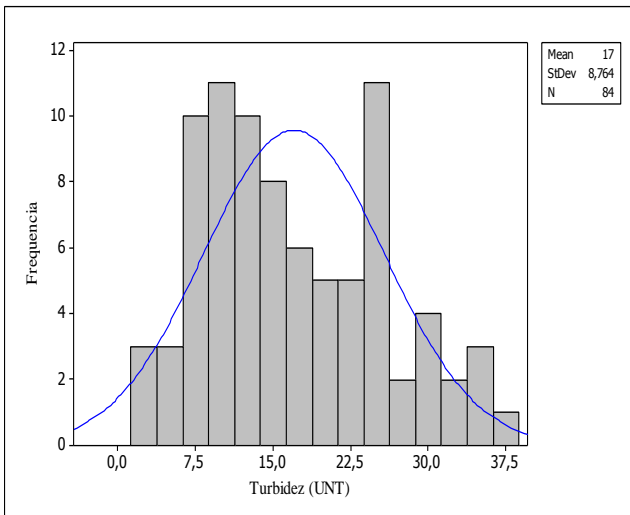


Figura A.3 - Validação da matriz para turbidez

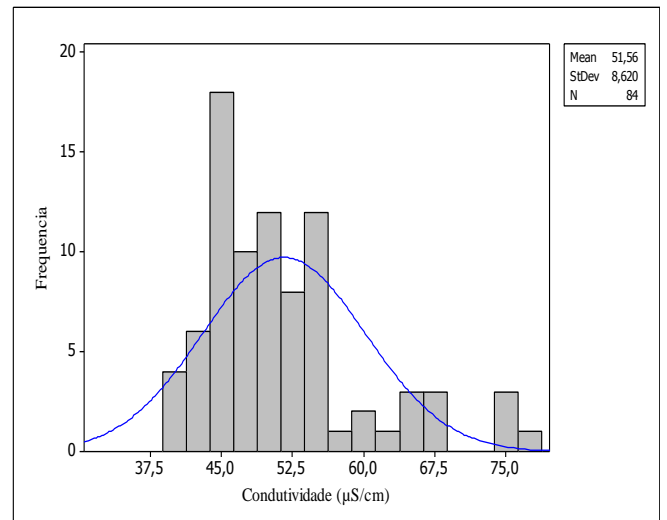


Figura A.4 - Validação da matriz para condutividade

APÊNDICE 2

Histogramas para validação dos elementos maiores, menores e traço.

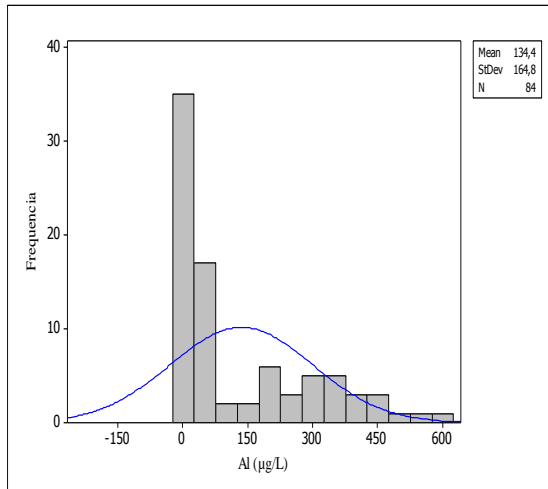


Figura A.5 - Validação da matriz para o Al

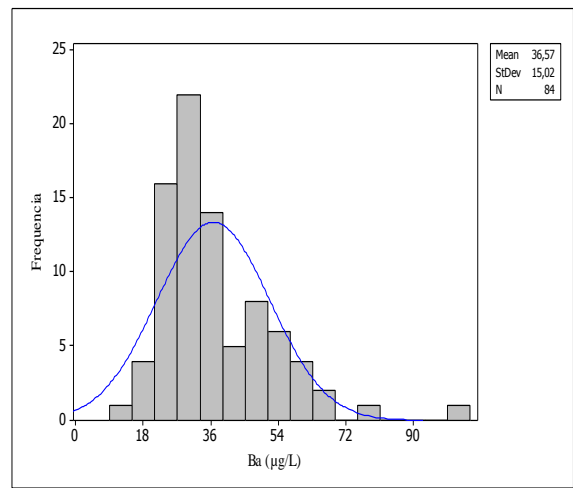


Figura A.6 - Validação da matriz para o Ba

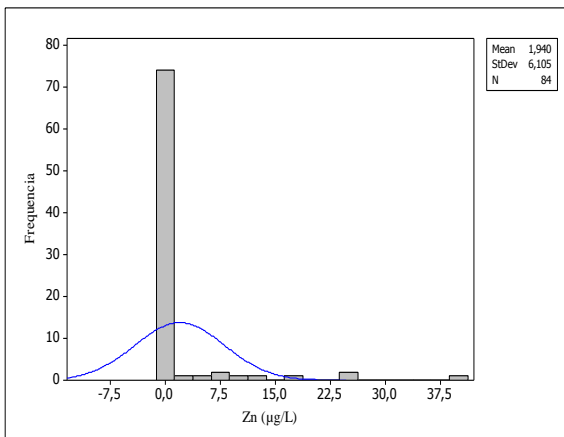


Figura A.7 - Validação da matriz para o Zn

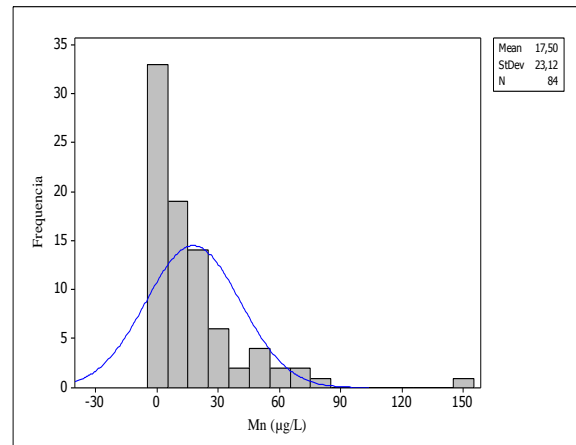


Figura A.8 - Validação da matriz para o Mn

APÊNDICE 3

Tabela T.1 - Correlação bivariada para dois períodos sazonais em três profundidades no lago da UHE de Tucuruí.

<i>Variáveis</i>	<i>Fator de correlação</i>	<i>Al</i>	<i>Ba</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Temperatura</i>	<i>pH</i>	<i>Condutividade</i>	<i>Turbidez</i>
<i>Al</i>	C. P	1,000							
	Sig.	-							
<i>Ba</i>	C. P	-0,449**	1,000						
	Sig.	0,000	-						
<i>Fe</i>	C. P	0,801**	-0,118**	1,000					
	Sig.	0,000	0,306	-					
<i>Mn</i>	C. P	-0,435**	0,432	-0,222	1,000				
	Sig.	0,000	0,000	0,052	-				
<i>Temperatura</i>	C. P	-0,720**	0,359**	-0,726**	0,240	1,000			
	Sig.	0,000	0,001	0,000	0,036	-			
<i>pH</i>	C. P	-0,546**	0,078	-0,716**	0,352	0,600**	1,000		
	Sig.	0,000	0,501	0,000	0,002	0,000	-		
<i>Condutividade</i>	C. P	-0,581**	0,331**	-0,559**	0,344**	0,641**	0,508**	1,000	
	Sig.	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	-	
<i>Turbidez</i>	C. P	0,576**	-0,104	0,475**	0,089	-0,344**	-0,114**	-0,252*	1,000
	Sig.	0,000	0,366	0,000	0,441	0,002	0,325	0,027	-

(Sig) Significância; (**) Correlação com nível de significância de 0.01 ou 99%; (*) Correlação com nível de significância 0.05 ou 95%; (C.P) Correlação de Pearson.

APÊNDICE 4

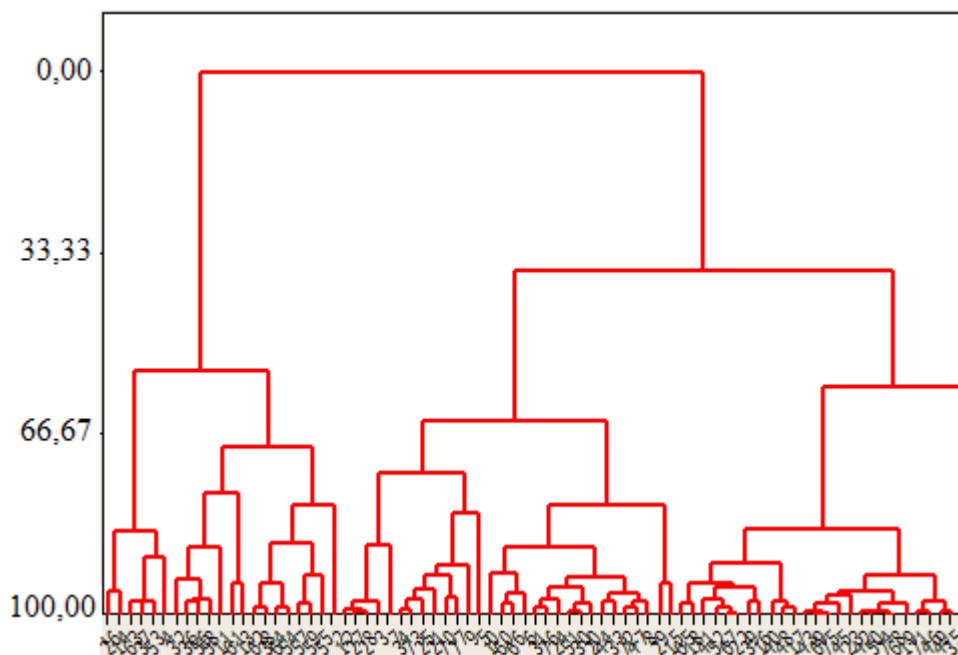


Figura A.9 - Dendrograma representando a similaridade entre as variáveis Al, Fe, Ba e temperatura e as estações de monitoramento.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)