

JOÃO BATISTA PEREIRA CABRAL

**ANÁLISE DA SEDIMENTAÇÃO E APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE
PREVISÃO PARA TOMADA DE MEDIDAS MITIGADORAS QUANTO AO
PROCESSO DE ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DE CACHOEIRA
DOURADA – GO/MG**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Dr Luiz Alberto Fernandes - UFPR

Co-orientadores:

Dr. Alberto Pio Fiori – UFPR

Dr. Iraci Scopel - UFG

CURITIBA

2006

TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO BATISTA PEREIRA CABRAL

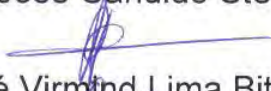
“ANÁLISE DA SEDIMENTAÇÃO E APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO PARA TOMADA DE MEDIDAS MITIGADORAS QUANTO AO PROCESSO DE ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DE CACHOEIRA DOURADA – GO/MG”

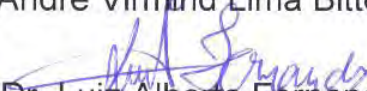
Tese de Doutorado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, no Programa de Pós-Graduação em Geologia, com área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos doutores:


Prof. Dr. Mário Sérgio de Melo - UEPG


Prof. Dr. Wilson Shoji Iyomasa - IPT/SP


Prof. Dr. José Cândido Stevaux - UEM


Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt - UFPR


Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes - UFPR
Presidente

Curitiba, 30 de outubro de 2006.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Manoel Orlando Cabral (in memoriam), a minha mãe Alides Pereira Cabral, ao quais agradeço pelo amor, dedicação e todos os ensinamentos da vida. Aos meus irmãos José Antonio Pereira Cabral e Maria Obiaia Pereira Cabral, e a minha esposa Regina Maria Lopes pelo amor, incentivo e por sempre acreditarem nos meus sonhos.

Dedico em especial este trabalho a Dra. Cláudia Zuccari Fernandes Braga (in memoriam) pelo incentivo e por ter demonstrado no percurso da minha vida profissional que eu tenho capacidade para lutar e vencer barreiras.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de viver, ter saúde e por ter me dado a capacidade de poder me dedicar a busca de conhecimento, por mais difícil que seja este caminho;

Ao Dr. Luiz Alberto Fernandes pela amizade, incansáveis correções dos textos, incentivo no desenvolvimento deste trabalho e aceitar orientar uma pessoa que não conhecia, contribuindo para a minha formação profissional e pessoal;

Ao Dr. Iraci Scopel pela co-orientação, críticas construtivas e amizade;

Ao Dr. Alberto Pio Fiori pela co-orientação;

Ao Dr. Hildeu Ferreira de Assunção, pelas dicas e apoio no trabalho de montagem das planilhas e geração dos dados no sistema de informação geográfica;

Ao Dr. Julio Cezar Rubin de Rubin e a Dra Rosicler Teodoro, pelas sugestões no aprimoramento desta pesquisa;

Ao colega e amigo Dr. Valter Antonio Becegato pelas críticas construtivas e inúmeras contribuições feitas no decorrer do nosso aperfeiçoamento profissional no programa de Pós-Graduação em Geologia;

Ao amigo Sebastião Alves da Silva (geógrafo e futuro mestre em Geologia) pelo companheirismo e apoio nos trabalhos de gabinete e campo;

À Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelas condições e oportunidade de aprimoramento científico, para a obtenção do título de Doutor em Geologia;

À Cachoeira Dourada S.A (CDSA) nas pessoas do Sr. Stanlin, Sra. Cidinha e ao companheiro Lobo pelo apoio técnico, e pela concessão de dados para realização desta pesquisa;

A Secretaria de Ciências e Tecnologia de Goiás (SECTEC) pelo apoio financeiro por intermédio do Programa de Incentivo a Pesquisa (PROINPE), que possibilitou a realização de parte desta pesquisa;

Aos colegas, Romário Rosa de Sousa, Volnan Vieira de Freitas, Raquel Moraes e Thiago Morato pelo apoio nas pesquisas a campo;

Aos professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Geologia pelo intercâmbio de idéias e amizade cultivada;

Aos colegas e alunos do curso de Geografia do CAJ/UFG, pelo apoio;

A minha esposa Regina Maria Lopes, pela compreensão, paciência, amor, incentivo, por estar do meu lado e me fazer feliz.

SUMÁRIO

	Pág
DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
LISTA DE SIGLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE QUADROS	XV
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII
1 – Introdução	1
2 – Objetivo Geral	3
2.1 – Objetivos específicos	3
3 – Conhecimento Prévio	4
3.1 – Assoreamento de reservatórios	4
3.2 – Previsão e quantificação do processo de assoreamento	11
3.3 – Exemplos de estudos de assoreamento em reservatórios brasileiros	15
4 – Caracterizações da área de estudo	20
4.1 – Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, histórico e localização da usina Hidrelétrica de cachoeira Dourada/GO-MG	20
4.2 – Aspectos Físicos da Bacia Hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG	23
4.2.1 – Geologia	23
4.2.1.1 – Formação Serra Geral	23
4.2.1.2 – Complexo Granítico-Gnaissico	25
4.2.1.3 – Grupo Bauru	25
4.2.1.3.1 – Formação Vale do Rio do Peixe	25
4.2.1.3.2 – Formação Marília – Membro Echaporã	26
4.2.2 – Geomorfologia	26
4.2.3 – Pedologia	27
4.2.4 – Clima	30
5 - Materiais e Metodos	31
5.1 – Trabalhos de escritório	31
5.1.1 – Revisão Bibliográfica	31

5.1.2 – Base Cartográfica pedológica e geológica	31
5.2 – Amostragem e caracterização dos sedimentos	31
5.3 – Granulometria e parâmetro textuais	33
4 – Pluviometrias, intensidade Pluviométrica e Erosividade da bacia	36
5.5 – Análises dos parâmetros limnológicos	39
5.6 – Levantamento batimétrico e calculo do volume do material assoreado	41
5.7 – Análises dos depósitos	45
5.8 – Difratometria de raios X	46
5.9 – Preparação do banco de dados para gerar-se os mapas pelo método do inverso do quadrado da distância	46
6 – Discussão dos resultados	49
6.1 – Variabilidade pluviométrica, erosividade da chuva e intensidade Pluviométrica	49
6.1.1 – Análise dos dados pluviométricos de 30 anos (1973 a 2002)	49
6.1.2 – Análise dos dados pluviométricos do primeiro decênio: 1973-1982	63
6.1.3 – Análise dos dados pluviométricos do segundo decênio: 1983-1992	65
6.1.4 – Análise dos dados pluviométricos do terceiro decênio: 1993-2002	66
6.2 – Análises do processo de assoreamento e previsão de vida útil para o reservatório	68
6.2.1 – Análise da sedimentação no reservatório na sua totalidade	73
6.2.2 – Análise das associações de fácies do reservatório de Cachoeira Dourada	96
6.2.3 – Setor 1 – trecho compreendido entre a barragem e o córrego do Corgão	113
6.2.4 – Setor 2 – Trecho compreendido entre o córrego do Corgão e Flecha	123
6.2.5 – Setor 3 – Trecho compreendido entre o córrego da Flecha e Candango	130
6.2.6 – Setor 4 – Trecho compreendido entre o córrego do Candango e dos Patos	138
6.2.7 – Setor 5 – Trecho compreendido entre o córrego dos Patos e rio Piedade	144
7 – Conclusões	153
8 – Recomendações	156

9 – Referências bibliográficas	157
Anexo 1 – Perfil esquemático da barragem e da casa de maquina a serem implantadas em Cachoeira Dourada no ano de 1959 (fonte:DNAEE, 1958)	170
Anexo 2 – Perfis esquemáticos com a distribuição dos perfis verticais mostrando a variação nas espessuras, profundidade e possíveis depósitos para o reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG	171
Anexo 3 – Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1973 a 2002	172
Anexo 4 – Valores médios mensais e anuais de erosividade no período de 1973 a 2002	173
Anexo 5 – Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1973 a 2002	174
Anexo 6 – Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1973 a 1982	175
Anexo 7 – Valores médios, mensais e anuais de erosividade no período de 1973 a 1982	176
Anexo 8 – Valores médios anuais de intensidade pluviométricas referente ao período de 1973 a 1982	177
Anexo 9 – Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1983 a 1992	178
Anexo 10 – Valores médios e anuais de erosividade no período de 1983 a 1992	179
Anexo 11 – Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1983 a 1992	180
Anexo 12 – Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1993 a 2002	181
Anexo 13 – Valores médios e anuais de erosividade no período de 1993 a 2002	182
Anexo 14 – Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referentes ao período de 1993 a 2002	183
Anexo 15 – Histogramas das amostras do primeiro levantamento a campo (06/02/03 e 07/02/03 – período úmido)	184
Anexo 16 – Histograma das amostras do segundo levantamento a campo (03	186

e 04/05/05 – período seco)

Anexo 17 – lei nº 4.777/65 do código florestal	188
Anexo 18 – Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 2, 3A, 3C e 3D.	190
Anexo 19 – Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 8C e 9B	191
Anexo 20 – Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 11 e 13A	192
Anexo 21 – Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 13B e 14	193
Anexo 22 – Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 15 e 17	194

LISTA DE SIGLAS

AGIN - Agência Goiânia de Indústria e Mineração
C.S.S - Concentração de Sedimentos em Suspensão
CBDB - Brazilian Committee on Dams
CDSA - Cachoeira Dourada Sociedade Anônima
CELG - Companhia Energética de Goiás
CPRM - Companhia de pesquisa e Recursos Minerais
DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DRX - Difratometria de raios-X
EMBRAPA - Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS - Equação Universal de Perdas de Solos
FVRP - Formação Vale do Rio do Peixe
GO – Goiás
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOLD - International Commission of Large Dams
MDT - Modelo Digital do Terreno
MG - Minas Gerais
MO - Matéria orgânica
PH - Potencial Hidrogeônico
RLS - Relação de liberação de sedimentos
SEC - Disco de Secchi
SECTEC - Secretária de Estado de Ciências e Tecnologia de Goiás
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SP - São Paulo
TIN - Triangular Irregular Network
UHE - Usina Hidrelétrica

LISTA DE FIGURAS

	pag
1 - Relação de cotas e área no método da planimetria das curvas batimétricas	12
2 - Bacia hidrográfica do rio Paranaíba	21
3 - Mapa geológico da área de estudo, adaptado da Agencia Goiânia de Indústria e Mineração/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (AGIM/CPRM - 2002)	24
4 - Mapa de solos da área de estudo, adaptado dos solos do estado de Goiás/SIG-Goiás (2003)	29
5 - A) amostrador, adaptado do modelo <i>Piston Core</i> preparado para obtenção de testemunhos verticais; B) Amostrador modelo Peterson (draga)	32
6 - Croqui esquemático de como foram obtidos os perfis verticais	32
7 - Escala de bolso utilizada para realizar a descrição granulométrica dos perfis verticais	33
8 - Processo de desagregação do material coletado em campo: A) após secagem em estufa, B) com a utilização de almofariz de porcelana e pistilo de madeira com ponta de borracha	34
9 - A) Pesagem do material B) Processo de realização da queima de matéria orgânica com a utilização de peróxido de hidrogênio	34
10 - Equipamentos utilizados no método de pipetagem: A) misturador Mecânico para preparação das amostras de sedimentos com pirofosfato de sódio e água destilada, B) provetas e béquers para a realização da pipetagem	35
11 - Etapas do método de peneiramento: A) elutriação do material após a Pipetagem B) agitador mecânico com jogos de peneira utilizado para separar as frações de areias	35
12 - Garrafa de <i>Van Dorn</i> - equipamento utilizado para coletar as amostras de água	40
13 - Disco de Secchi - equipamento utilizado para avaliar a turbidez da água	41
14 - A) EcoSSonda modelo Furuno GP-1650F, B) <i>Sistema de Posicionamento Global</i> (GPS), acoplados a um computador portátil utilizado na realização do levantamento batimétrico	42

15 - Linhas de perfilagem ecobatimétrica utilizada no levantamento do processo de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada	44
16 – Precipitação média anual, em mm, na bacia de drenagem do reservatório de Cachoeira Dourada, GO/MG, no período total e nos três decênios estudados	50
17 – Valores médios anual das precipitações no período de 1973 a 2002, de acordo com dados dos dez postos pluviométricos localizados na área de influência da UHE de Cachoeira Dourada, GO/MG	52
18 – Valores de erosividade médios anual no período de 1973 – 2002, na área de influência da UHE de Cachoeira Dourada	55
19 - Índices médios anuais de erosividade para o período total, estação úmida e seca	57
20 – Gráfico de correlação entre erosividade e precipitação referente ao período de 1973 – 2002	58
21 – Mapa de vulnerabilidade à perdas de solos, com base nos índices de intensidade pluviométrica do período 1973 a 2002	61
22 – Valores médios mensais de precipitação nos locais de coleta de dados de 1973 a 1982 na área de estudo	64
23 – Índice médio anual de erosividade nos períodos úmido e seco de 1983 a 1992 na área de estudo	66
24 – Valores médios de intensidade pluviométrica no período de 1993 a 2002 nas estações úmida e seca	67
25 - Divisão do reservatório em setores para análise dos resultados	68
26 – Distribuições dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período úmido	76
27 – Distribuições dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período seco	76
28 – Distribuições dos valores de visibilidade d'água no reservatório, referente a amostragem no período úmido	77
29 – Distribuições dos valores de visibilidade d'água no reservatório, Referente a amostragem no período seco	77
30 - Gráfico de correlação entre medidas de turbidez e CSS referente ao Período úmido	79

31 – Gráfico de correlação entre medidas de turbidez e CSS referente ao período seco	79
32 – Distribuição dos valores da média granulométrica dos sedimentos de fundo, referente ao período úmido	84
33 – Distribuição dos valores da media granulométrica dos sedimentos de fundo referente ao período seco	84
34 – distribuição dos valores do grau de seleção dos sedimentos de fundo, referente a amostragem no período úmido	87
35 – Distribuição dos valores do grau de seleção dos sedimentos de fundo, Referente a amostragem no período seco	87
36 – Distribuição dos valores do grau de assimetria, referente a amostragem no período úmido	90
37 – Distribuição dos valores do grau de assimetria, referente a amostragem no período seco	90
38 – A) Exemplos de áreas ocupadas por agricultura B) Áreas de pastagem Nas margens do reservatório devido a retirada das matas ciliares	92
39 – Perfil topográfico com indicação de erosão lateral nas margens, Processo de sedimentação junto a antiga ilha grande e associações de Fácies da terceira seção transversal	103
40 – A) Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente leito B) seção colunar para o deposito de leito	104
41 – Perfil topográfico com indicação da sedimentação do córrego do Paiol ao córrego da flecha e associações de fácies da seção tranversal longitudinal	106
42 – Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente de corrente, B) seção colunar para o depósito de corrente apresentando granocrescência e granodescrescência da base para o topo	107
43 – Perfil topográfico com indicação de sedimentação no ribeirão Piratininga ao córrego Paiol e associações de fácies da seção transversal 24	108
44 – A) Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente de Delta, B) seção colunar para o ambiente delta	109
45 – Mapa esquemático de distribuição dos tipos de depósito de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG	110
46 – Mapa geológico do setor 1	114

47 – Mapa geológico do setor 3	109
48 – Antiga planície de inundação na margem esquerda do rio Paranaíba próximo ao barramento, antes da fase de enchimento do lago no ano de 1959 (Fonte Cachoeira Dourada Sociedade Anônima – CDSA, 2003)	116
49 – Perfis verticais da amostragem no local 3B	117
50 – Modelo digital do terreno referente ao período anterior a formação do lago e ao período atual, após a fase de enchimento com a deposição de sedimentos.	120
51 – Mapa geológico do setor 2	123
52 – Depósito de material localizado na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Escondida devido a restauração de estradas vicinais	124
53 – Perfil topográfico/batimétrico transversal com representação de depósito de corrente próximo ao córrego Flecha	125
54 – Perfis verticais das amostras 4A e 4B	127
55 – Exemplo de exposição do terreno e favorecimento da erosão na margem, causada pela pecuária e ação das ondas do lago na margem direita do reservatório próximo ao córrego da Flecha	132
56 – Exemplo da possibilidade de contribuição de sedimentos, dado ao uso agrícola, na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Baixadinha	132
57 – Mapa geológico do setor 3	133
58 – Modelo digital do terreno do setor 3, referente ao período anterior a formação do lago e período atual após a fase de enchimento do lago	134
59 – Materiais amostrados nos perfis verticais 10A e 10B	136
60 – Exemplos de macrófitas aquáticas (A: paliteiros, B: ilhas) verificadas entre os córregos do Candango e dos Patos	138
61 – Perfil topográfico/batimétrico latitudinal apresentando erosão de margem e processo de sedimentação junto à ilha do Orlandão	139
62 – Mapa geológico do setor 4	140
63 – Antiga ilha do Orlandão, existente antes da fase de enchimento do lago (fonte: CDSA, 2003)	141
64 – Exemplo de antigas planícies de inundações, formadas nos períodos das cheias, antes da fase de enchimento do reservatório entre o córrego	143

Quebra Ferro e Lajeado (fonte – CDSA, 2003)

- 65 – Exposição do substrato basáltico alterado nas margens do reservatório próximo ao córrego das Cabaças 144
- 66 – Exemplo de possíveis oscilações nos valores da CSS e visibilidade SEC ocasionadas pela remobilização do material de fundo a partir da exploração de areia entre o córrego do Balsamo e o rio Piedade 145
- 67 – Diferenças de cor da água devido à concentração distinta de sedimentos em suspensão no rio Piedade (A) e no encontro com o reservatório de Cachoeira Dourada (B) 146
- 68 – Mapa geológico do setor 5 147
- 69 – Exemplo de rebaixamento na antiga superfície de fundo do rio ocasionado pelo processo de exploração de areia pelas dragas, próximo à área de abrangência do rio Piedade 148
- 70 – Material amostrado no perfil vertical 16 150
- 71 – Amostra de basalto coletado na área de exploração de areia por uma draga 151

LISTA DE QUADROS

	Pág
1 - Nome e localizações dos postos pluviométricos, no período de 1973 a 2002	36
2 - Índices de intensidade pluviométrica	38
3 - Classes de erosividade da chuva média anual de MJ mm há ⁻¹ ano ⁻¹ para tm mm há ⁻¹ ano ⁻¹ - Carvalho (1994)	39
4 – Siglas utilizadas para identificação textural e estrutural dos sedimentos, adaptado de Miall (1996)	45
5 - Classes de erosividade da chuva média anual da bacia hidrográfica da área de estudo, conforme critérios da classificação de Carvalho (1994)	56
6 – Valores de vulnerabilidade às perdas de solos relacionados aos valores de intensidade pluviométrica, com grau de vulnerabilidade segundo a proposta de Crepani <i>et al.</i> (1996)	59
7 – Parâmetros limnológicos medidos no primeiro levantamento de campo (06/02/03 e 07/02/03) período úmido	69
8 – Parâmetros limnológicos medidos no primeiro levantamento de campo (03 e 04/05/05) período seco	70
9 – Parâmetros texturais obtidos nas análises granulométricas das amostras do primeiro levantamento de campo (06/02/03 e 07/02/03) período úmido	72
10 – Parâmetros texturais obtidos nas análises granulométricas das amostras do primeiro levantamento de campo (03 e 04/05/05) período seco	73
11 – Comparação do volume de água entre os período estudados	74
12 – Comparação de características de rios, reservatórios e lagos (adaptado de Thornton <i>et al.</i> 1990)	95
13 – Códigos utilizados para descrição dos modelos deposicionais do reservatório de Cachoeira Dourada	102

RESUMO

Os materiais particulados transportados por cursos d' água, quando depositados em um reservatório, reduzem o seu volume útil, o que pode danificar turbinas e bloquear as tomadas de água e comportas. Para que medidas preventivas possam ser viabilizadas, a capacidade de prever o volume de material sedimentado e sua distribuição não uniforme em reservatórios é muito importante. Neste trabalho objetivou-se avaliar o estado de sedimentação. Visando-se aplicar métodos de previsão para a tomada de medidas mitigadoras em relação ao assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada, localizado no rio Paranaíba, divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais. Os métodos utilizados na pesquisa consistiram em determinar parâmetros sedimentológicos, pluviométricos e limnológicos. Os conjuntos de dados utilizados provêm de arquivos históricos e de duas campanhas a campo, realizadas no ano de 2003 e 2005, ao longo dos 57 Km de extensão do reservatório. A partir da análise dos dados foi possível verificar que as principais áreas-fontes de sedimentos da bacia hidrográfica do reservatório, indicadas pelos parâmetros pluviométricos encontram-se na região de abrangência do posto Avantiguara, que fornece material a partir da alteração e erosão das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe e da área de abrangência do posto brilhante, que fornece material proveniente da alteração das rochas da formação Marília. Conforme os dados limnológicos, os principais locais de aporte de sedimentos em suspensão ocorrem entre os córregos do Paiol e do Candango e na desembocadura do rio Piedade com o reservatório, influenciados pelos materiais oriundos das Formações Vale do Rio do peixe e Marília. A análise granulométrica do material de fundo do reservatório indica a deposição de silte e argila no setor próximo ao barramento, material arenoso fino a muito fino no setor médio do reservatório e a deposição, desde silte a areia grossa, no setor à montante. A análise das fácies e associações de fácies indicam a existência de três tipos de modelos deposicionais que são: deltas, leito e corrente. Pela comparação dos dados topográficos da época da construção do reservatório, com os dados batimétricos atuais, a usina de Cachoeira Dourada perdeu 38,5% de sua capacidade de armazenamento original, e a expectativa de vida útil calculada, a continuar o atual ritmo de assoreamento é de aproximadamente 145 anos.

Palavras chaves: Assoreamento, dado batimétrico, reservatório

ABSTRACT**SEDIMENTATION ANALYSIS AND PREVENTING METHODS ADRESSED TO IMPLEMENT MITIGATION MEASURES ABOUT OVER SEDIMENTATION IN CACHOEIRA DOURADA RESERVOIR (BRAZIL)**

Sediment transport by Rivers may cause serious problems to reservoirs, such as decreasing its storage volume, cause damage to hydropower turbines, and blockage of gates and intakes. The capacity of predicting sedimentation and its non-uniform distribution pattern inside reservoirs is crucial. The aim of this paper is to evaluate Cachoeira Dourada current sedimentation stage in order to apply preventing methods addressed to implement mitigation measures about over sedimentation in the reservoir. This dam is located in the Paranaíba River, which marks the border between the states of Goiás and Minas Gerais in Brazil. The methods used in order to carry out this research, consisted in determining sedimentological, pluviometrical and limnological parameters. Data sets come from historical archives and two field campaigns that were conducted in 2003 and 2005 along the whole 57 kilometers long reservoir. According to rainfall parameters and data analysis, it was possible to verify that the main sediment sources of the reservoir's basin are located in two distinct input areas. The first one is Avantiguara Station and its surroundings, where material is supplied by alteration and erosion of rocks from Vale do Rio do Peixe Formation. The second one is Brilhante Station, whose material is provided by alteration of rocks from Marília Formation. According to limnological data, the main floating sediments input sites are located between Paiol and Candango streams, and where Piedade River meets the reservoir. The nature of these sediments is determined by the composition of the rocks that constitute Rio do Peixe and Marília formations. Granulometric analysis of material placed at the the botton of the whole reservoir indicates deposition of silte and clay near the dam wall, which varies to fine very fine arenaceous material towards the central parto f the reservoir, and fine-medium sand in the upper part of itself. The reservoir fácies analysis shows the existence of three types of deposition trends: deltas, riverbed and stream. Comparisons between topographical data from the time the reservoir was built, and the current bathymetric data show that Cachoeira Dourada Reservoir has lost 38,5% of its original storage capacity. If over sedimentation continues this way, it Will shorten the reservoir life span, which Will probally not last more than 145 years

Key words: Over sedimentation, bathymetric data, reservoir

1. Introdução

A demanda energética, em constante aumento, tem sido o motivo principal para a construção de grandes reservatórios destinados à produção de energia elétrica no Brasil. Todavia, a despeito dos benefícios, tais obras de engenharia modificam as condições naturais do curso fluvial para o ambiente lacustre e provocam vários impactos, dentre os quais o desequilíbrio no balanço de material transportado no curso d'água afetado, com a retenção de maior quantidade de material particulado.

A construção de um reservatório de um canal fluvial por meio de barramento faz com que a velocidade do escoamento seja drasticamente reduzida devido ao aumento da seção transversal da corrente. Isto provoca queda acentuada ou mesmo eliminação da turbulência do escoamento, reduzindo a capacidade de transporte de sedimentos no rio e no reservatório. Também pode ter como consequência a sedimentação da carga de arrasto e em suspensão, a qual determina, quase sempre, o encurtamento da vida útil do reservatório (Vanoni, 1977; Carvalho, 1994).

O assoreamento é um processo inevitável, embora passível de algum controle e afeta os reservatórios, implicando a diminuição do seu volume de água utilizável e reduzindo a quantidade de energia gerada. Vêm se desenvolvendo nas últimas décadas estudos relacionados ao assoreamento de reservatórios que visam sua manutenção e preservação da vida útil dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

Normalmente, os estudos sobre a produção de sedimentos em bacias são feitos a partir de programas de monitoramento da descarga sólida ou por meio de medição do volume de sedimentos acumulados. Ignora-se, assim, a distribuição granulométrica, a análise espacial e temporal dessa distribuição no reservatório e os locais na bacia hidrográfica de onde provieram os sedimentos e volumes produzidos. Até hoje, a análise de vida útil restringe-se ao estudo individualizado dos empreendimentos, mesmo quando estes pertençam a um rio que já apresenta usinas ou quando estas ainda serão instaladas.

Na atualidade, um grande número de reservatórios brasileiros se encontra total ou parcialmente assoreados, principalmente os de pequeno e médio porte. Isto acontece devido ao fato de não se considerar o potencial de erosão das bacias hidrográficas, bem como os estudos prospectivos sobre o processo de sedimentação que ocorre nos reservatórios, ampliando-se, dessa forma, a probabilidade de vida útil dos mesmos (Carvalho, 2000; Carvalho *et al.* 2000).

A escolha do reservatório de Cachoeira Dourada para o estudo do processo de assoreamento deve-se ao fato de ser a menor usina em extensão e armazenamento de água no complexo de barragens construídas ao longo do rio Paranaíba. Situa-se a jusante dos reservatórios de Itumbiara e Emborcação. Tal escolha deve-se, ainda, ao fato de constituir-se no único reservatório que opera a fio d'água no presente rio, com profundidade média de até 15 m. Isso permite a obtenção de perfis verticais com equipamento de mergulho autônomo.

A vegetação original da área circundante ao reservatório de Cachoeira Dourada, praticamente foi destruída devido ao processo de expansão das fronteiras agrícolas a partir da década de 70. Atualmente verifica-se crescente interesse imobiliário pela região, com o avanço de loteamentos de recreio, conjuntamente com atividades de exploração de areia, que vêm remobilizando e alterando as condições artificiais do lago (CELG, 1984).

Neste contexto, este estudo visou aplicar métodos de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG), analisando, de forma integrada, os processos erosivos e sedimentológicos; e procurou determinar os principais locais de aporte de sedimentos, construindo-se em um, constituindo-se em um conjunto de dados importantes para o planejamento e gerenciamentos futuros dos recursos hídricos e hidrelétricos da bacia do rio Paranaíba.

2. Objetivo Geral

Caracterizar o estado de sedimentação no lago, tipos de depósitos, suas distribuição, aplicar métodos de previsão da geração de material particulado na bacia hidrográfica, para a tomada de medidas mitigadoras do processo de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a constituição granulométrica da parte superior dos depósitos com amostras obtidas na superfície de fundo do reservatório;
- Analisar a variação dos parâmetros textuais dos sedimentos acumulados no fundo do lago;
- Classificar qualitativamente a bacia hidrográfica quanto à potencialidade de perdas de solos em relação aos índices de pluviosidade, erosividade e intensidade pluviométrica, destacando-se às possíveis áreas-fonte quanto a contribuição de material erodido e sua relação com o processo de sedimentação no lago;
- Relacionar a concentração de sedimentos em suspensão e a visibilidade da água com o processo de sedimentação do lago;
- Avaliar o estado de assoreamento do reservatório e sua relação com as áreas de maior aporte de sedimentos.

3 – Conhecimento Prévio

3.1 - Assoreamento de reservatórios

Barragens em cursos d'água para formação de reservatórios são construídas para diversas finalidades como, por exemplo, geração de energia elétrica, abastecimento de água, irrigação, recreação ou lazer. Este tipo de empreendimento modifica as condições naturais do ambiente fluvial para lacustre, provocando diversos problemas. Uma das principais causas disso é a redução da velocidade da água, pelo aumento da seção transversal, o que proporciona a quebra do equilíbrio fluvial em relação a dinâmica de transporte no sistema, ocasionando o processo de assoreamento.

As pesquisas, especificamente as relacionadas ao assoreamento de reservatórios, surgiram na literatura internacional durante a década de 30, com os trabalhos de Fiock (1934), Grover e Howards (1938) e Eakin (1939). No Brasil, a partir de 1981 houve maior ênfase nesse sentido, conforme se verifica nos trabalhos desenvolvidos por Ponçano *et al.* (1981); Gimenez *et al.* (1981); Carlstron Filho *et al.* (1981). Esses trabalhos apresentam resultados de estudos desenvolvidos pelo IPT, (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), em convênio com a ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A), nos reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS), com métodos de análise de assoreamento de reservatórios.

De acordo com Villela e Mattos (1975), Morris e Fan (1997) existem duas escolas que estudam o transporte de sedimentos e sua deposição: a) escola determinista, que procura equacionar o fenômeno físico do transporte de sedimentos; b) escola estocástica, que procura relações entre as variáveis, mediante e diretamente, de dados medidos em campo.

Na atualidade, os estudos para previsão e medida do processo de assoreamento em reservatórios são feitos a partir de métodos diretos e indiretos.

Os métodos diretos estão relacionados ao processamento de dados básicos obtidos pelo monitoramento da bacia por meio das medidas de descarga sólida dos cursos d'água, por um longo período de tempo; do levantamento topobatimétrico do reservatório e da amostragem do material de assoreamento. Os métodos indiretos são em geral aplicados em caráter complementar e consistem, basicamente, na aplicação de fórmulas empíricas desenvolvidas em regiões semelhantes à da bacia em estudo (Vanoni, 1977; Morris e Fan, 1997).

A sedimentação é um processo resultante da remoção de partículas

desagregadas de uma bacia. Decorrem de erosão, transporte e depósito dessas partículas, bem como a dinâmica da compactação das mesmas em rios e reservatórios. É comum, entretanto, referir-se à sedimentação unicamente como processo de assoreamento de reservatórios. No estudo de assoreamento, busca-se compreender as etapas e a evolução do processo, ao longo dos anos, visando determinar a vida útil do reservatório.

O equacionamento do problema exige o conhecimento sobre a origem e os processos de produção de sedimentos. A produção de material particulado de interesse corresponde a parcela das perdas de solo da bacia, que chega ao curso d'água ou ao reservatório, por unidade de tempo. O volume de produção de sedimentos é, portanto, função da erosão e, conseqüentemente, depende da intensidade das chuvas, das propriedades físicas e químicas do solo, da constituição litológica, do relevo e da cobertura vegetal (Morris e Fan, 1997; Carvalho 2000).

O transporte e a velocidade de sedimentação do material particulado pelos cursos d'águas ocorrem de maneira complexa e sua eficiência de retenção está relacionada com a velocidade da corrente, vazão, tempo de residência e seção transversal do rio (Glymph, 1973; Suguio, 1973).

Os fatores que contribuem para o transporte dos sedimentos são vários, podem-se citar como principais: quantidade e intensidade das chuvas; tipo de solo e litologia; tipo de cobertura e uso do solo; topografia; escoamento superficial; características do material de alteração da rocha; e as condições morfológicas do canal.

Podem-se agrupar os modos de transporte do material particulado em três categorias, assim relacionadas: transporte em suspensão; transporte por arrasto; transporte por saltação. A definição desses modos é a seguinte:

- Transporte em suspensão – processa-se em razão das forças decorrentes da turbulência da corrente líquida. Neste caso, as partículas são carreadas de forma completamente independente do leito fluvial. A velocidade de deslocamento da partícula no corpo líquido é diretamente proporcional a velocidade da corrente e inversamente proporcional ao seu peso, e a energia de transporte, com relação ao tamanho e forma da partícula. Isso permite que ela seja mantida em suspensão sem ocorrer saltação nem arrasto;
- Transporte por arrasto - relaciona-se com as tensões, tangenciais provocadas pela água em movimento. As partículas estão em contato com o leito

praticamente todo o tempo. Isso porque, a energia de transporte, com relação ao tamanho e peso da partícula, não é capaz de promover suspensão nem saltação da partícula;

- Transporte por saltação - esta é uma forma na quais as partículas avançam ao longo do leito, saltando de ponto a ponto. O movimento por saltação pode ser considerado como fase intermediária entre o transporte em suspensão e arrasto. A ativação do processo de saltação depende, além da intensidade do fluxo da corrente, das características de densidade, forma e tamanho da partícula.

A construção de um reservatório altera as características hidráulicas do trecho compreendido entre a barragem e a seção natural do rio à montante. O curso de água, ao entrar no reservatório, tem as áreas das seções transversais aumentadas, enquanto as velocidades da corrente decrescem, criando condições de deposição do material particulado.

Com as modificações do estado de equilíbrio do fluxo, ocasionado pela construção da barragem, ocorre uma série de transformações no processo fluvial, por exemplo, induz a desaceleração do movimento das partículas na direção da corrente, e faz com que as partículas, como seixos e areias grossas, se depositem mais próximas da entrada do reservatório (final do remanso e desembocadura de tributários), enquanto o sedimento mais fino adentra ao reservatório (Vanoni, 1977; Carvalho, 1994 e 2000).

De acordo com Brune e Allen (1941) e Carvalho (2000), os fatores principais que influenciam a formação dos depósitos são: quantidade de sedimentos afluentes; eficiência de retenção dos sedimentos no reservatório; densidade dos depósitos e o volume de sedimentos depositados.

À medida que o volume de material assoreado cresce, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui e a influência do remanso aumenta para montante. No período chuvoso uma maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante, diminuindo a eficiência de retenção das partículas, devido ao aumento da velocidade de escoamento da água, o que demonstra que a evolução de fundo do reservatório esta condicionada a geometria do reservatório do tamanho dos sedimentos depositados e a intensidade de chuva que ocorre na bacia.

Vanoni (1977), Tarela e Menéndez (1999), concluíram que a deposição e a distribuição dos sedimentos num reservatório, de forma geral, dependem de fatores

como da declividade de escoamento; da geometria (forma) do reservatório; do modo como este é operado; das características/natureza do material particulado; das características químicas das águas e da relação entre os fluxos de entrada e saída.

Para Lopes (1993), Carvalho (1994 e 2000), os parâmetros envolvidos nas estimativas de assoreamento são:

- carga de material particulado: “é a quantidade de material sólido afluyente de uma dada seção num curso d’água, podendo ser dividida em carga de leito (fundo e suspensão) e carga de lavagem”;
- eficiência de retenção do material particulado: “é a razão entre a carga sólida que se deposita no leito do reservatório e a carga sólida total afluyente. O valor da eficiência de retenção de sedimentos num reservatório pode ser obtido a partir de medições sistemáticas das descargas sólidas afluentes e a jusante da barragem”;
- peso específico dos depósitos de material particulado: “é a relação entre o peso seco do material e o volume ocupado pelo depósito. A estimativa desse parâmetro é necessária para a transformação da carga sólida retida em volume sedimentado”.

A localização dos depósitos no reservatório é específica e são, geralmente, classificados, de acordo com os modelos deposicionais de Carvalho (1994, 2000), Morris e Fan (1997) como:

- Depósito de remanso: que se constituem, em princípio, dos materiais de maior diâmetro, como seixos e areias grossas, que se depositam no final do remanso, ligeiramente acima do nível máximo do reservatório. Teoricamente, esses depósitos podem progredir tanto para dentro do lago como a montante, pois, conforme o depósito cresce, o efeito de remanso se estende. Esse crescimento será limitado, entretanto, à medida que o escoamento ajusta seu canal nos depósitos, atingindo uma relação largura–profundidade ótima, seja pela eliminação dos meandros, seja pela variação da forma do fundo. Os impactos causados por este tipo de depósito são as enchentes à montante;
- Depósito de delta: este tipo de depósito reduz gradualmente a capacidade útil do reservatório. Ocorre ao longo do reservatório, na desembocadura, no encontro com os afluentes, formado por sedimentos em geral mais finos e grossos (silte-argiloso e arenoso), que são condicionados pelas variações do

nível d'água, e geralmente, se depositam logo que o escoamento penetra no reservatório, e;

- Depósito de leito: que reduz o volume morto do lago pelo acúmulo de silte e argila que são, geralmente, transportadas para jusante dos deltas e se depositam no trecho mais profundo do reservatório.
- Depósito de margem: são formados pela deposição dos sedimentos trazidos pelas ondas da água e pelo vento, podendo intercalar material silte-argiloso e arenoso;
- Depósito de várzea ou de planícies de inundações: são produzidos nas enchentes, ocorre ao longo do curso d'água e do reservatório, e é, formado por sedimentos finos e grossos.
- Depósito de corrente de densidade: pode ser definido como o movimento de um fluido sobre, através ou sob outro fluido com densidades muito parecidas entre si. As correntes de densidade ocorrem quando um fluxo carregado de sedimentos entra em um reservatório com água limpa, e move-se para jusante ao longo de um talvegue submerso, pode ser dividida em: a) corrente de deposição, que deposita sedimentos sobre o leito; b) corrente de erosão, que remove materiais do leito, e corrente de auto-suspensão, que não remove nem deposita materiais.

Para Lopes (1993) mesmo quando não se verificam volumes significativos de depósitos na porção útil do reservatório, o assoreamento traz dois outros problemas principais: a) a impossibilidade de operação de comportas, de órgãos de adução e descarga, devido ao acúmulo de material junto a barragem; b) o prolongamento do efeito de remanso, com conseqüente elevação de níveis de enchente a montante, devido à deposição de material grosso na entrada do reservatório, uma vez que o prolongamento de remanso implica na perda efetiva de capacidade útil.

Mendes (2005) destaca que os principais problemas à montante em relação ao processo de assoreamento são:

- Perda de capacidade do reservatório – a gradual deposição de sedimentos reduz o volume do reservatório e sua capacidade de regularização;
- Deposição no delta – a maior parte dos depósitos ocorre na entrada do reservatório, causando redução no volume útil e outros efeitos como, por exemplo, a agradação da área do remanso, que se estende para a montante.

Criam-se assim diversos problemas tais como: dificuldade para navegação, enchentes, danos às estruturas hidráulicas e pontes; facilidade para aumento da vegetação em áreas rasas e aparentes; levantamento do lençol freático etc;

- Desgaste dos equipamentos – partículas com diâmetros maiores que 0,10 mm podem provocar abrasão em turbinas, máquinas e estruturas, quando dotadas de grandes velocidades, e apresentar dificuldades de operação devido ao fluxo de sedimentos;
- Perda na produção de energia – a redução do volume útil de uma hidrelétrica, pelos depósitos na área do delta e margens, tem como consequência a perda da sua capacidade de geração inicial.

Carvalho *et al.* (2000) e Mendes (2005) destacam que os efeitos no remanso em reservatório são sentidos principalmente devido à formação de deltas, que avançam tanto para dentro do reservatório quanto para montante. O lençol d'água subterrâneo tem seu nível elevado devido ao barramento da água, às vezes produz áreas encharcadas nas áreas vizinhas. Além disso, as cheias locais se tornam mais freqüentes pela elevação do nível d'água do rio na região do remanso.

Alem dos efeitos físicos causados pelo assoreamento do reservatório, há diversos outros impactos secundários (qualidade da água e etc que serão discutidos posteriormente) que devem ser considerados, que podem se estender além dos limites do reservatório e, também, da própria atuação da empresa responsável. Esses impactos secundários, sempre devem ser previstos avaliados e conciliados tanto no planejamento, no projeto e na construção, quanto na fase de operação (ICOLD, 1989)

A construção de represas provoca inundações em áreas de matas, interfere no fluxo dos rios, destrói espécies vegetais, prejudica a fauna e interfere na ocupação humana.

As mudanças na qualidade da água pode se caracterizar pela eutrofização, devido a não retirada da vegetação no período de preenchimento. A vegetação encoberta pelas águas entra em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e rarefação da camada de ozônio. Também pode ocorrer a elevação da concentração de matéria orgânica e, conseqüente, a diminuição do oxigênio, produzindo gás sulfídrico, que provoca odores e elevação de carbono na atmosfera (Esteves, 1988).

Em relação à flora, pode-se citar o desenvolvimento de macrófitas nas margens dos reservatórios, causadas pela deposição de sedimentos finos com nutrientes. A vegetação prolifera rapidamente, sendo arrancada do solo pela elevação do nível d'água do lago e, em seguida, arrastada pelo fluxo em direção às tomadas d'água, constituindo-se num problema quando de sua remoção (Sperling, 1996).

Já os efeitos na fauna são sentidos pela perda de biodiversidade. O assoreamento de reservatório modifica o leito do curso d' água e afeta a vida dos peixes devido a mudanças do meio natural, como a temperatura da água e nível de oxigênio. As espécies vão desaparecendo, só resistindo aquelas adaptadas às novas condições. As partículas em suspensão na água dificultam a penetração da luz solar e as reações físicas, químicas e biológicas necessárias à manutenção da vida aquática (Esteves e Barbosa, 1986).

A formação natural de barras nos rios permite a recreação da população ribeirinha e de turistas. Os efeitos do reservatório são sentidos nessas praias de areias tanto no alagamento dessas áreas pelo lago, fazendo-as desaparecer, quanto nos efeitos à jusante. Uma vez formado o reservatório e, tendo grande parte do material particulado lá confinado, ocorre um desequilíbrio no fornecimento de material sólido à jusante, o que ocasiona o desaparecimento dos bancos de areias no referido trecho (Carvalho *et al.* 2000).

A erosão nas margens do reservatório é ocasionada por quedas de taludes encharcados e/ou por embate de ondas. Quando ocorrem abaixo do nível máximo do reservatório, fica difícil a proteção. No entanto, a margem erodida acima do nível máximo deve ser protegida por vegetação ciliar ou outro tipo de proteção que seja viável.

Segundo Carvalho (1994), Mendes (2005), a erosão dos depósitos dentro do reservatório ocorre normalmente quando a formação do delta atinge um volume grande. Na ocasião, os sedimentos são remobilizados para maiores profundidades, provocando sérios problemas em curto prazo em pequenas barragens. Os efeitos à jusante de barragens são provocados pelo escoamento da água limpa, sem material particulado, e pela regularização das vazões, que produzem maiores impactos nos leitos e margens do canal. Esses dois efeitos somados, além de outros, podem aprofundar o leito e erodir as margens do canal de jusante da barragem. Em pequenos aproveitamentos, esses efeitos são menores, e podem ser sentidos no

canal mais próximo, enquanto em maiores aproveitamentos com grandes reservatórios pode ser sentido tanto imediatamente abaixo da barragem quanto a centenas de quilômetros a jusante.

O aumento do volume e armazenamento da água modifica o microclima da bacia, alterando temperaturas, umidade relativa, evaporação, precipitação e ventos (Esteves e Barbosa, 1986).

3.2 – Previsão e quantificação do processo de assoreamento

Quanto ao cálculo do volume do material sedimentado, podem-se utilizar vários métodos de previsão de assoreamento proposto por Carvalho (1994), que destaca que o final da vida útil de um reservatório, do ponto de vista de assoreamentos, quando os depósitos passam a perturbar a operação regular da usina ou da finalidade para a qual foi formado o reservatório.

Para o cálculo preliminar de assoreamento, Carvalho (1994) utiliza as seguintes expressões:

$$(1)$$

$$(2)$$

sendo:

S = material particulado retido no reservatório (m^3 /ano);

Dst = deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (t/ano);

Er = eficiência de retenção de sedimentos afluentes ao reservatório (% e fração);

γ_{ap} = peso específico aparente médio dos depósitos (t/m^3);

Qst = descarga sólida total média afluente ao reservatório (t/dia);

T = tempo de assoreamento de um determinado volume (anos);

V_{res} = volume do reservatório, total ou volume morto (m^3),

O método da planimetria das curvas batimétricas descrito por Vanoni (1977), Morris e Fan (1997) e Carvalho *et al.* (2000), usa planimetrar as curvas batimétricas inteiras traçadas no mapa, e, em seguida, efetua-se um cálculo para se conhecer o volume da água entre duas isóbatas. O volume de material particulado depositado

no reservatório é calculado pela diferença entre a capacidade original de armazenamento e a capacidade atual.

Um dos cálculos de volume destacado por esses autores, é a relação cota (E) por áreas (A), que utiliza a seguinte fórmula: $V=E \times A$, cujos símbolos estão ilustrados na figura 1. A área hachurada (A), é igual ao volume (V) entre as duas curvas batimétricas. Somando-se o volume entre as curvas batimétricas, obter-se-á o volume de água do reservatório.

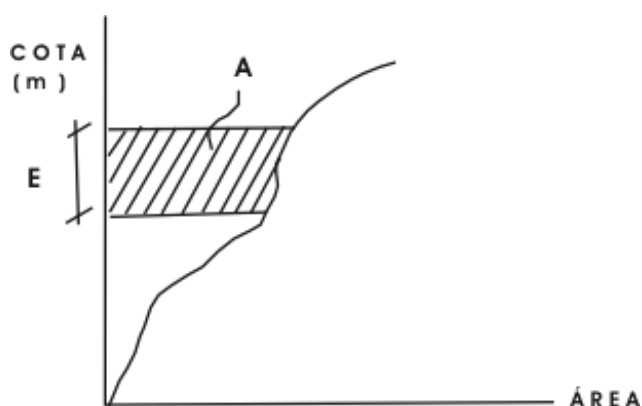


Figura 1: Relação de cotas e área no método da planimetria das curvas batimétricas.

Subtraindo-se o volume atual, do volume de água estimado no período da construção, obter-se-á o volume de material particulado depositado no lago.

No método da planimetria das seções transversais. O volume do material particulado pode ser obtido pelo processo da plotagem das áreas das seções transversais versus distância da barragem, que usa a seguinte equação: $V=A \times D$, sendo "A" a área entre duas seções transversais e "D" a distância entre elas. O volume total do reservatório irá corresponder às áreas do gráfico, compreendidas entre a curva e o eixo das distâncias.

Vilhena *et al.* (2003) fez uso dos métodos anteriormente descrito, implicando no uso do sistema de informação geográfica. O método consiste na execução de quatro etapas:

- a) rasterização das cartas topográficas da época da construção e das cartas batimétricas atuais;
- b) digitalização do material rasterizado, ou seja, criação de linhas e pontos (curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados);
- c) edição, que consiste na limpeza, suavização e intersecção das curvas de

nível e das linhas de drenagem;

- d) geração de modelo digital do terreno (MDT) por intermédio do modelo de triangulação de Delauny (TIN - *triangular irregular network*), é possível determinar a área para o cálculo do volume por intervalos de cotas do reservatório em duas épocas distintas.

O método proposto por Ponçano *et al.*(1981), Gimenez *et al.*(1981) e Carlstron Filho *et al.*(1981), consta de cinco etapas básicas:

- a) reconhecimento de formas e processos de erosão na bacia hidrográfica a montante do reservatório;
- b) coleta de sedimentos de fundo com amostradores tipo *Van Veen* e *Piston Core*;
- c) detecção das principais áreas-fonte de material depositado;
- d) prognóstico a respeito da área de assoreamento; e
- e) indicação preliminar de medidas preventivas nas possíveis áreas fontes de sedimentos.

O método apresentado por Ponçano *et al.*(1981) para o estudo de assoreamento de reservatórios, foi aplicado por Lopes (1993) no reservatório de Americana, Saunitti (2003) e Saunitti *et al.* (2004) no reservatório de Passaúna (PR), obtendo-se testemunhos verticais poucos deformados, que mostra que é possível correlacionar o material depositado com as áreas-fonte, além de conhecer a espessura da camada depositada por meio de amostragem com amostrador tipo *Piston Core*.

Após o conhecimento do volume de material sedimentado, por intermédio de um dos métodos de medidas, podem-se levar em consideração as recomendações da ICOLD (1989), para o controle do assoreamento de reservatórios, que são: conhecer os locais da produção (áreas-fonte) e da deposição dos sedimentos, controlar a deposição.

Ponçano *et al.* (1981) afirmaram que as medidas corretivas e preventivas do processo de assoreamento requerem estudos específicos, considerando-se a dinâmica sedimentar desde as áreas-fonte até as áreas de deposição.

Os estudos sobre assoreamento devem contemplar amostragem direta que estão relacionadas ao processamento de dados básicos obtidos pelo monitoramento da bacia hidrográfica. Isso se dá por meio das medidas de descargas sólidas nos cursos d'água, levantamentos topobatimétricos do reservatório e prospecção para

amostragem do material de assoreamento, a partir de testemunhos obtidos por amostragem, como nos trabalhos desenvolvidos por Ponçano *et al.* (1981) e Saunitti (2003) entre outros, assim como a obtenção de dados geofísicos.

Os métodos indiretos são aplicados em caráter complementar e consistem basicamente em uso de fórmulas empíricas desenvolvidas em regiões semelhantes a da bacia em estudo, como no método do cálculo da descarga sólida, por meio das fórmulas de Einstein (1950) ou dos métodos desenvolvidos por Meyer-Peter e Muller (1948), entre outros.

As medidas preventivas pressupõem o controle e a prevenção da erosão nas áreas de produção de sedimentos, e a corretiva pressupõe a dragagem, com aproveitamento comercial e industrial dos depósitos ou não, ou outras obras hidráulicas específicas.

A partir do conhecimento dos principais pontos receptores de sedimentos, de acordo com Shen e Lai (1996), o processo de assoreamento pode ser controlado e reduzido por meio de três medidas: redução da quantidade final de sedimentos, que entra no reservatório por meio do controle da erosão na bacia e da retenção de sedimentos; remoção dos sedimentos por meios mecânicos, como dragagem, e; passagem da água carregada de sedimentos pelo reservatório e posterior liberação por descarga de fundo localizada na barragem.

Segundo Vanoni (1977), Morris e Fan (1997) e Chella (2002), existem várias maneiras de prevenir a acumulação de sedimentos em reservatórios, mas raramente isto é levado em consideração em projetos de barragens. As medidas de controle e recuperação são colocadas em prática, quando o processo de sedimentação já tem um volume considerável e começa a comprometer a finalidade inicial do empreendimento hidráulico. As medidas que podem ser empregadas no controle da sedimentação em reservatórios são:

- a) práticas de conservação de solos: são medidas que, em longo prazo, recuperam a vegetação das matas ciliares dos rios afluentes e do reservatório, desmatadas pela práticas agrícolas realizadas de forma indiscriminada;
- b) controle da distribuição dos depósitos: pode ser feito por intermédio do monitoramento dos depósitos em forma de delta, que podem indicar o avanço do material em direção a barragem;
- c) controle dos depósitos de remanso: esses depósitos são normalmente auto-

controlados pelo menos durante uma grande parte da vida útil, desde que o material depositado no canal durante as cheias, seja erodido e transportado para dentro do reservatório quando o nível do reservatório é baixo;

- d) construções de bacias de escombros: são valas que capturam o sedimento afluente, também é considerada uma medida de controle da sedimentação.

3.3 – Exemplos de estudos de assoreamento em reservatórios brasileiros.

O Brasil possui reservatórios parcialmente ou totalmente assoreados. A maior parte deles continua em operação, mas com problemas diversos decorrentes da sedimentação do material particulado (Carvalho, 2000; e Carvalho *et al.* 2000). Como exemplo pode-se citar o estudo realizado por Coelho (1993) na represa de Salto Grande, em Americana (SP). O pesquisador encontrou um volume morto de aproximadamente 65% do seu volume total e perda anual média de 0,22% deste volume, equivalente a cerca de 235.000 m³.

O método empregado para calcular o volume de material depositado no reservatório, foi baseado no método da interpolação de perfis por intermédio da média das espessuras das seções verticais (testemunhos de sondagem) obtidos com equipamento *Piston Core*. Segundo o autor, seriam necessários 240 anos para o preenchimento por sedimentos de um volume equivalente ao seu volume morto e, aproximadamente, 400 anos para o assoreamento total. Leite (1998) pesquisou o mesmo reservatório que Coelho (1993). Leite utilizou o método das câmaras de sedimentação e verificou que 87% do material em suspensão, que entra pelo rio Atibaia, são retidos no reservatório, principalmente na parte da montante, onde 72,0 kg.m⁻¹.ano são depositados, tornando-se, assim, o local mais suscetível ao assoreamento, com uma previsão de vida útil de 31 anos.

Na descrição das seções verticais feitas por Coelho (1993) não foi discriminado o material depositado, antes da fase de enchimento e após o enchimento. Não é possível saber se todo o material amostrado numa dada seção vertical atingiu o substrato rochoso, o que poderia ocasionar numa menor acuracidade dos resultados, pois o cálculo de assoreamento foi feito, multiplicando-se a área de cada seção, pela espessura média da seção vertical amostrada.

Alvim e Chaudhry (1987) desenvolveram um modelo matemático de cálculo de assoreamento de reservatórios que tem por objetivo a previsão da distribuição dos sedimentos e, conseqüentemente, a modificação da forma do fundo de

reservatórios ao longo do tempo. O algoritmo matemático desenvolvido utiliza o método de balanço de massa aplicada em um escoamento permanente, bidimensional e de fundo inclinado. Esta equação foi resolvida pelo método das diferenças finitas, para a obtenção dos perfis de concentração ao longo do eixo longitudinal do reservatório.

A integração de tais perfis possibilitou a determinação de curvas que expressam as remoções longitudinais de material particulado em suspensão utilizado para avaliação dos depósitos de fundo. A localização definitiva dos depósitos foi condicionada à ocorrência da condição crítica de tensão de cisalhamento no fundo do reservatório, segundo critério de Shields (1936).

O programa desenvolvido pelos autores é válido para se estudar pontos fixos do reservatório, desde que se tenha uma série histórica de sedimentos particulados em suspensão. Assim, a partir das amostragens feitas pode-se realizar uma extrapolação dos dados para apresentar as possíveis modificações no fundo.

Na simulação do transporte de material particulado no reservatório de Pirapora (MG), Alvim e Righetto (1993) apresentaram uma estimativa das alterações nas configurações dos depósitos do reservatório, que seriam decorrentes de um rebaixamento do nível de água. Utilizaram um modelo matemático do processo de arraste sólido em escoamento permanente e parcialmente tridimensional para simulação da distribuição da velocidade e tensão de atrito e indicação dos depósitos que estariam sujeitos à erosão, quando o nível d'água estivesse rebaixado.

A partir de levantamentos aerofotogramétricos anteriores à construção da barragem de Pirapora, estimaram-se também a evolução dos depósitos de fundo, ao longo do tempo, buscando a geometria estável das seções transversais.

Os resultados obtidos foram comparados com levantamentos batimétricos recentes, que indicaram um estágio avançado de assoreamento do reservatório. Este possui aproximadamente 40 anos de existência.

A pesquisa realizada por Alvim e Righetto (1993) pode ser considerada um marco no estudo de assoreamento de reservatório, pois utiliza métodos diretos e indiretos na busca da compreensão do processo de deposição, mas não avalia o tipo de depósito que será formado e as prováveis áreas-fonte.

Destaca-se ainda o trabalho de Carvalho e Catharino (1993), que desenvolveram um programa de estudos sedimentológicos para o reservatório de Itaipu (PR). Apresentaram a previsão do assoreamento e vida útil do reservatório,

por intermédio de novas curvas cota-área-volume, com indicação da altura de sedimentos no pé da barragem para 100 anos, tempo em que o depósito alcançaria a soleira da tomada d'água.

O método empregado na pesquisa foi o de redução de área de Borland e Muller (1958). Fez-se também uso dos critérios de Brune e Allen (1941) para obtenção da eficiência de retenção de sedimentos do lago, e dos critérios de Lara e Pemberton (1963) para avaliação do peso específico aparente dos depósitos, que foi apresentado por Strand (1974) na publicação "Design of Small Dams", do U. S. Bureau of Reclamation.

Por fim, os resultados foram comparados aos valores avaliados por Einsten e Harder citados por Carvalho e Catharino (1993) no estudo de viabilidade e que apresenta uma crítica sobre a qualidade dos dados utilizados para cálculo dos deflúvios sólidos.

O método empregado por Carvalho e Catharino (1993) não levou em consideração as possíveis modificações do ambiente fluvial para lacustre, e não faz correlação do material particulado transportado com a provável área-fonte. As amostras utilizadas para calcular o volume do material a ser depositado são obtidas de estações fluviométricas à montante e à jusante, descartando-se possíveis oscilações no transporte do material, e a produção de material erodido na bacia hidrográfica.

No estudo realizado por Paiva (1993) no reservatório da barragem de Taquaruçu – MG, entre 1935 – 1992 (58 anos) foi apresentado um acúmulo de 1.530.000 m³ de sedimentos, correspondendo a uma taxa de 45 m³ /km² /ano, ou 450 litros/hectares/ano. O reservatório perdeu 70% da sua capacidade útil (80% da capacidade total), restando 230.000 m³, com uma expectativa de vida útil entre 8 a 10 anos, e prazo previsto para assoreamento total do reservatório em 25 anos.

Os métodos utilizados no cálculo de assoreamento de Taquaruçu – MG foram: Equação Universal de Perdas de solos (EUPS), batimetria, densidade real e aparente dos sedimentos. Atualmente este reservatório se encontra em funcionamento e após o estudo realizado por Paiva (1993) não foram feitas outras pesquisas para verificar se a taxa de sedimentação aumentou.

Oliveira (1994) e Reis (1995) utilizaram a EUPS, aliada à Relação de Liberação de Sedimentos (RLS) e o estudo da evolução espacial e temporal das feições erosivas das sub-bacias, para calcular o volume de material erodido e

depositado no reservatório de Capivara. Segundo Reis (1995), na sub-bacia Água da Fábula o volume estimado de assoreamento para o período de 1976 a 1990, obtido pelo método de prospecção direta, foi da ordem de 216.000 m³. Oliveira (1994) calculou um volume de 200,000 m³, para o mesmo setor.

O emprego da EUPS e RLS para as sub-bacias do reservatório de Capivari foi feita de maneira a conter os resultados quantitativos. Os resultados obtidos para este tipo de pesquisas, com o método proposto, podem apresentar certas deficiências devido a compilação e transformação de mapas com escala 1:100.000 para 1:50.000, devendo-se transformar dados quantitativo em qualitativos.

Bufon (1999), por meio de levantamentos batimétricos, estudou o tempo de vida útil da represa Velha em Pirassununga (SP). Foram comparadas medidas efetuadas em 1998 com as obtidas na construção da represa em 1940, obtendo-se uma perda de profundidade máxima de 5m e média de 2m, com um tempo de vida útil estimado para 230 anos.

Vilhena *et al.* (2003) apresentaram a importância da avaliação do estado de assoreamento em reservatórios, e avaliaram a perda da capacidade do reservatório Funil, localizado no Estado do Rio de Janeiro, após vinte e três anos de operação. Para isso, tomaram como base o projeto inicial do reservatório e o levantamento batimétrico, realizado em 1992. Foi então gerado um modelo digital do terreno a partir dos dois levantamentos de dados. Os resultados obtidos pelo estudo mostraram que o volume total inicial do trecho estudado em 1969 era de 82,19 milhões de m³ e em 1992 passou a ser de 63,74 milhões de m³. O que corresponde a uma perda da capacidade de armazenamento de 22,93 % para o período de análise.

O método empregado por Bufon (1999) e Vilhena *et al.* (2003) para calcular o volume de material depositado nos reservatórios de represa Velha e Funil, baseou-se na diferença entre volumes d'água, isto é, nos resultados da capacidade original e da capacidade calculada do segundo levantamento. A simples diferença entre as duas capacidades conhecidas, do levantamento original e do segundo, pode conduzir a um erro por desconhecer-se o fator de compactação do material depositado.

Conforme os trabalhos analisados, o emprego e utilização de métodos de avaliação de assoreamento devem ser feitos a partir de estudos planejados em gabinete com uma visita a campo, antes do início da coleta dos dados. Em vista da

precisão requerida é necessário, entretanto, considerar vários fatores, tais como a operação do reservatório, a eficiência de retenção de sedimentos, a evolução da densidade dos depósitos ao longo dos anos e características da bacia de contribuição.

4 – Caracterizações da área de estudo

4.1 – Bacia hidrográfica do rio Paranaíba, histórico e localização da usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada/GO-MG.

O rio Paranaíba (Figura 2) é um dos principais formadores do rio Paraná. Sua bacia hidrográfica tem uma área total de 223.524 km² (Secretária de Estado de Ciências e Tecnologia de Goiás (SECTEC, 2000). Nasce na serra da Mata da Corda, município de Rio Paranaíba, estado de Minas Gerais, na altitude de 1.148 m. Tem aproximadamente 1.070 km de curso até a junção ao rio Grande, onde ambos passam a formar o rio Paraná.

O rio Paranaíba é conhecido principalmente pelo seu potencial diamantífero e pelas grandes possibilidades hidrelétricas que apresenta, dividindo-se em três trechos distintos:

- Alto Paranaíba: das cabeceiras ao km 700, com 370 km de extensão, com orientação setentrional, que percorre o estado de Minas Gerais, cruzando o município de Patos de Minas. Próxima a localidade de Contendas (GO), o rio muda o seu curso, quase em ângulo reto, em direção sudoeste, tornando-se a divisa entre Minas Gerais e Goiás. Com altitude média de 760 m, o rio apresenta uma declividade média de 25 cm/km. Entre os km 700 e 800 apresenta uma declividade de 50 cm/km, e corre em vale com estreitamentos acentuados entre os km 730-732 e 783-790. Os terrenos marginais são suavemente ondulados e pouco cultivados.
- Médio Paranaíba: trecho que se estende do km 700 à barragem de Cachoeira Dourada (km 330), com 370 km de extensão. Entre os km 575 e 700, o rio corre com declividade média de 1,2 m/km em uma região de vales geralmente estreitos, bastantes encaixados, com margens íngremes, elevando-se entre 25 e 60 m. Entre os km 313 e 575 o rio apresenta calha relativamente larga, cultivada em 20 a 50% de sua área e flui, no km 400, por sobre rochas basálticas da Bacia do Paraná.
- Baixo Paranaíba: trecho do rio desde a jusante da barragem de Cachoeira Dourada à confluência com o rio Grande com 330 km de extensão. Entre os km 195 e 330, encontra-se o chamado Canal de São Simão, estreita garganta cortada em basalto, com 23 km de extensão e 35 m de profundidade. Apresenta uma declividade média de 33 cm/km, situada no limite dos estados

de Minas e Goiás. Neste trecho situa-se a hidrelétrica de São Simão, que está em operação e que gera 2.680 MW.

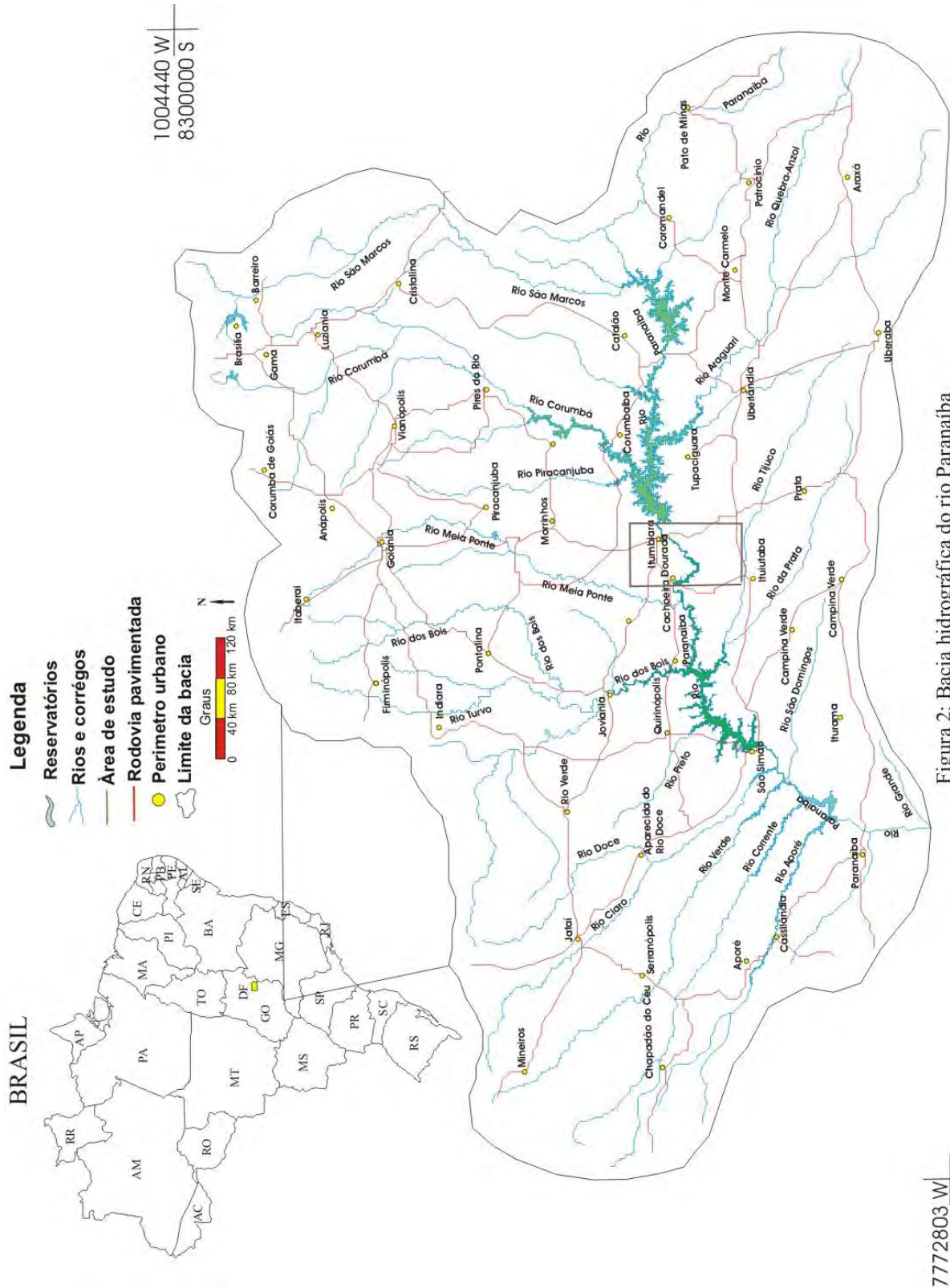


Figura 2: Bacia hidrográfica do rio Paranaíba

O rio Paranaíba é navegável apenas do remanso da barragem de Ilha Solteira, em uma extensão de 180 km, até a barragem de São Simão. Desde a foz até o final do remanso de Emborcação, vence um desnível de 262 m, com quatro aproveitamentos hidráulicos: São Simão, Cachoeira Dourada, Itumbiara e Emborcação.

O lago da Usina Hidrelétrica (UHE) de Cachoeira Dourada-GO/MG localiza-se no trecho do médio Paranaíba, divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais, entre as coordenadas de 658050 m a 685348 m de latitude Sul e 7936528 m a 7954533 m de longitude W, dentro do bioma cerrado.

O reservatório foi construído no ano de 1959, como parte do complexo de barragens situadas na bacia do rio Paranaíba. A finalidade principal é a de gerar energia elétrica. Seu lago foi construído com volume total de $519 \times 10^6 \text{m}^3$, e a bacia de drenagem abrange uma área de 5,111 km². O aproveitamento hidrelétrico de Cachoeira Dourada foi iniciado na década de 50 do século passado, sob a responsabilidade da Companhia Energética de Goiás (CELG), em etapas múltiplas, acompanhando a demanda energética da região. A primeira etapa, do total de quatro, concluída em 1959, consistiu na implantação de um conjunto de tomada d'água, e casa de força (Anexo 1), ladeada por dois pequenos diques com nível de água máximo normal na cota de 418.00 m. Nesta etapa, foram instaladas duas unidades de 17MW. Antes da instalação da usina o nível da água do rio Paranaíba tinha cota de 415 m no local do barramento.

A quarta e última etapa, prevista para aproveitamento dessa represa, teve início em fins de 1984 e terminou em 1994, com a colocação em operação da segunda unidade de geração de energia, de 105 MW. Para tanto, foram necessárias diversas obras de engenharia, envolvendo escavação em rocha, elevação da barragem de gravidade para a cota de 431,50 m, demolição de quatro blocos da barragem de gravidade antiga e construção de tomada d'água e casa de força. Hoje a usina opera, com queda de 34 metros, gerando 658 MW.

Com o processo de privatizações realizadas durante o governo do presidente Fernando Henrique Cardoso, entre 1995 a 2000, baseado na lei n° 8987/95, que estabelecia as bases normativas para a concessão de exploração de serviços públicos, notadamente nos setores de infra-estrutura, por terceiros, a usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada foi comprada pelo consórcio liderado pela empresa chilena ENDESA (Bérzin, 2002).

A usina hidrelétrica Centrais Elétricas Cachoeira Dourada S.A (CDSA) era responsável pela produção de 57,2 % da energia elétrica distribuída pela Companhia Energética de Goiás, que por ocasião da privatização, continuaria sendo seu único cliente. O preço mínimo estabelecido pelo edital de privatização foi de US\$ 497 milhões equivalente a 92,9% do capital votante da empresa. No dia 05/09/1997, o controle acionário da CDSA passou a ser da empresa chilena ENDESA, por um preço 43,49% superior ao preço mínimo ou o equivalente a US\$ 714 milhões, o que representou um ágio de 43,5% (Bérzin, 2002).

4.2 – Aspectos físicos da bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG

4.2.1 - Geologia

O substrato da bacia hidrográfica na área de estudo é constituído por basaltos da formação Serra Geral (Cretáceo Inferior), Grupo São Bento, arenitos das formações Vale do Rio do Peixe e Marília, Grupo Bauru, depositadas no Cretáceo Superior e rochas graníticas e gnáissicas do embasamento arqueano (Figura 3).

4.2.1.1 – Formação Serra Geral

As rochas da Formação Serra Geral ocorrem em 60% da área da bacia no lado de Goiás entre os vales do córrego das Araras e o ribeirão da Trindade. Na parte da bacia de Minas Gerais, ocorre entre os vales do córrego do Corgão e o barramento do reservatório de Itumbiara, e ocupa em torno de 45% da área. A espessura desta unidade, na região do reservatório de Cachoeira Dourada, pode atingir valores próximos a 180 m. A Formação Serra Geral foi formada de derrames de composição predominantemente básica. Rochas hipoabissais, sob a forma de diques ou *sills*, de composição básica são correlacionáveis a este evento extrusivo. São encontradas encaixadas em unidades litoestratigráficas mais antigas como nos basaltos (IBGE, 1983).

As rochas basálticas apresentam-se normalmente com aspecto maciço, cor cinza-escura, granulação fanerítica fina a média, ocasionalmente com a presença de amígdalas e fraturadas. Disjunções colunares estão também presentes, indicando tratar-se de derrames mais espessos. São comuns as ocorrências de *sills* e diques de diabásio associados a esta unidade, caracterizados por cor, normalmente escura,

granulação fanerítica média a fina, homogêneas, e presença de esfoliação esferoidal quando submetidos a intemperismo (AGIM/ CPRM, 2002).

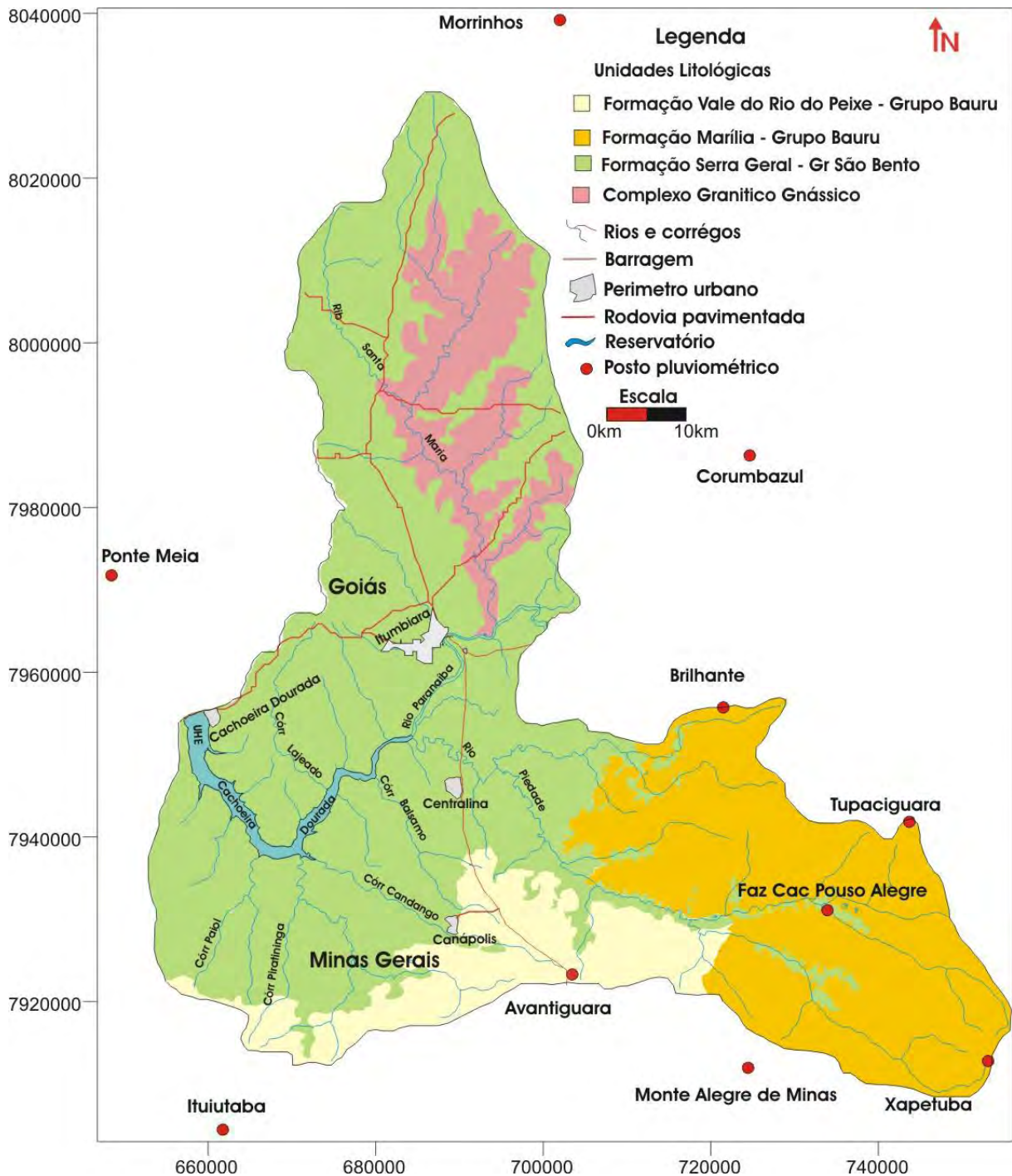


Figura 3: Mapa geológico da área de estudo, adaptado da Agência Goiana de Indústria e Mineração/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (AGIM/CPRM - 2002).

4.2.1.2 – Complexo Granítico – Gnáissico

As rochas designadas como Granito-Gnaissico Indiferenciados correspondem a granitóides homogêneos e/ou gnaissificados. São caracterizados como rochas do embasamento Arqueano, associados ao *Greenstone Belt* de Goiás e representados por ortognaisses graníticos, tonalíticos e granodioríticos, às vezes milonitizados e contêm fragmentos de rochas básicas a ultrabásicas, com freqüentes diques e *stocks* máfico-ultramáficos. Estes gnaisses são geralmente ricos em biotita e hornblenda, e estão representados predominantemente por tonalitos, biotita granito e um conjunto de gnaisses porfiríticos de granulação fanerítica média, com foliação e bandamento. Às vezes exibem expressivas zonas de cisalhamentos dúcteis e veios pegmatíticos.

4.2.1.3 - Grupo Bauru

A Bacia Bauru é uma bacia continental interior do Neocretáceo (Coniaciano-Maastrichtiano), desenvolvida no centro-sul da Plataforma Sul-Americana. Esta bacia acumula uma seqüência sedimentar essencialmente arenosa, que ocorre em área de cerca de 370.000 km². Tem por substrato rochas vulcânicas, sobretudo, basaltos da Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior).

Fernandes (2004) apresentou o Grupo Bauru composto pelas formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília. Incluem ainda, os Analcimitos Taiúva, rochas vulcânicas localmente intercaladas na seqüência. No lado oriental da bacia, ocorre principalmente em São Paulo, no Triângulo Mineiro (MG) e norte do Paraná. Assenta-se sobre basaltos da Formação Serra Geral, dos quais é separada por não-conformidade. Apresenta passagem lateral gradual para o Grupo Caiuá. A divisão litoestratigráfica adotada nesta tese, para a bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada, segue as proposições de Fernandes (1992, 1998 e 2004).

4.2.1.3.1 - Formação Vale do Rio do Peixe

A Formação Vale do Rio do Peixe repousa diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral. É composta por estratos de espessura submétrica, de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, de cores que variam do marrom claro, rosados a alaranjados; de seleção

moderada a boa. Têm aspecto maciço ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte. Tem espessura máxima preservada da ordem de 100 m.

Nos estratos “maciços”, podem ocorrer zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira, formadas por: a) superfícies onduladas (amplitude e comprimento de onda centimétricos), às vezes com laminação interna (*climbings* eólicos); b) ondulações de adesão; ou c) planos bem definidos, com lineação de partição (Fernandes, 2004).

4.2.1.3.2 Formação Marília – Membro Echaporã

Segundo Fernandes (2004), o membro Echaporã é constituído por arenitos finos a médios, predominantemente mal selecionados, imaturos, com frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, sobretudo, nas zonas marginais da bacia. Formam estratos de aspecto maciço, de cores beges a rosa (pálidas) características, com cimentação e nódulos carbonáticos. Poucas vezes, exibem estratificação cruzada de médio porte. As intercalações de lamitos e arenitos lamíticos têm cor marrom, espessuras centimétricas a decimétricas (até 1 m), que são mais freqüentes nas partes interiores da bacia.

Os componentes detríticos são principalmente o quartzo e feldspatos, com contribuição de rochas do embasamento (quartzitos, xistos) e de basaltos, com quantidades apenas subordinadas de detritos de rochas alcalinas.

4.2.2 - Geomorfologia

A bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada pertence a bacia hidrográfica do rio Paraná. Apresenta formas de dissecação tabulares e relevos de topo aplainado, com diferentes ordens de grandeza, que produz conjuntos de relevos de feições complexas. Apresenta sulcos adaptados às estruturas, bordas escarpadas em alcantis com reversos em rampas pouco declivosas, geralmente interrompidas por relevos residuais de topos tabulares e níveis topográficos embutidos na superfície geral dos planaltos.

As áreas com relevos residuais correspondem aos “testemunhos” arenítico da Formação Marília. Estes arenitos são agregados por cimento calcáreo ou argilas, o que lhes conferem maior resistência relativa ao intemperismo e à erosão. Por isso, destacam-se na paisagem pelas suas bordas irregulares e escarpadas por erosão diferencial. Apresentam desníveis locais de até 150 m, localizando-se nos divisores

dos cursos d'água que se dirigem para o vale do rio Paranaíba. Na bacia predomina a rede de drenagem com padrão dendrítico, nas áreas de relevos suavemente convexo e tabular, mas em alguns trechos de relevo, com declividade acentuada, predomina o padrão paralelo. (IBGE, 1983, Latrubesse *et al.* 2004).

Conforme as categorias de relevo proposta por Baccaro (1990), na bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada podem ocorrer:

- Área de relevo intensamente dissecado: que estão relacionadas ao substrato rochoso constituído pela Formação Serra Geral e pelas rochas do Grupo Araxá, predominantemente, com uma presença menos significativa de arenitos do Grupo Bauru e dos sedimentos cenozóicos;
- Área de relevo medianamente dissecado: caracteriza-se por apresentar topos nivelados entre 750 e 900 m, com formas convexas e vertentes com 3^o e 15^o graus de declividade. Nesta categoria encontram-se áreas de ocorrência de arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe;
- Área de relevo residual: apresenta bordas escarpadas, relevo dissecado com formas convexas nas vertentes, constituídas por arenitos da Formação Marília, mantendo as bordas escarpadas, sustentadas por rochas intensamente cimentadas por carbonato de cálcio;
- Áreas elevadas de cimeiras entre 950 e 1050 m: sustentadas por rochas da Formação Marília e recobertas por sedimentos cenozóicos, apresentam topos planos, amplos e largos com baixa densidade de drenagem e vales pouco ramificados, vertentes com declividade entre 3^o e 5^o.

4.2.3 – Pedologia

Os solos da área de estudo são muito intemperizados devido a agressividade dos fatores ativos de formação dos solos e a intensidade dos processos pedogenéticos. Por isto possui baixa fertilidade natural. Predominam nestes solos os Latossolos com horizonte "A", moderado e proeminentemente de textura muito argilosa e argilosa.

Em pequenas áreas ocorrem Argissolos, Nitossolos, Gleissolos Háplicos e

Neossolos, que apresentam pH variando de 4,3 a 6,2. Possui elevado conteúdo de alumínio, baixa disponibilidade de macro e micro nutrientes ainda, reduzido conteúdo de matéria orgânica e a fração argila, composta predominantemente por caulinita, goethita ou gibbsita. (IBGE, 1983; EMBRAPA, 1999).

De acordo com a EMBRAPA (1999), os solos da bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada (Figura 4) apresentam as seguintes características:

- Latossolo Vermelho distroférico: é um solo argiloso, constituído por caulinita, gibbsita e teores muito altos de óxidos de ferro. Seus grãos são principalmente de minerais opacos como a ilmenita e magnetita.
- Latossolo Vermelho distrófico: é um solo de textura média, constituído por caulinita, gibbsita e teores altos de óxidos de ferro. O quartzo e os minerais opacos constituem a fração areia;
- Latossolo Vermelho álico: Este agrupamento compreende solos que apresentam conteúdos elevados de alumínio, teores de Fe_2O_3 total superiores a 8% e menores que 18%, quando argilosos, e usualmente inferiores a 8%, quando de textura média e coloração vermelho-escura. Possuem textura argilosa (entre 35 e 60% de argila) sendo, provenientes da climatização química e do retrabalhamento das rochas;
- Nitossolo Vermelho eutroférico: são solos em geral mais rasos, com espessuras em torno de 2 m, e ocorrem geralmente em áreas de relevo mais acidentado e em setores de vertentes com maiores declividades;
- Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico: solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B nítico, com argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 40 cm do horizonte, textura argilosa ou muito argilosa;
- Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico: é um solo com “B” textural, constituído predominantemente, por caulinita, com teores intermediários a baixos de óxidos de ferro e também pequenas quantidades de illita e vermiculita. São solos férteis quanto aos grãos. Além do quartzo, ocorrem algumas vezes minerais menos resistentes ao intemperismo, como micas e feldspatos;

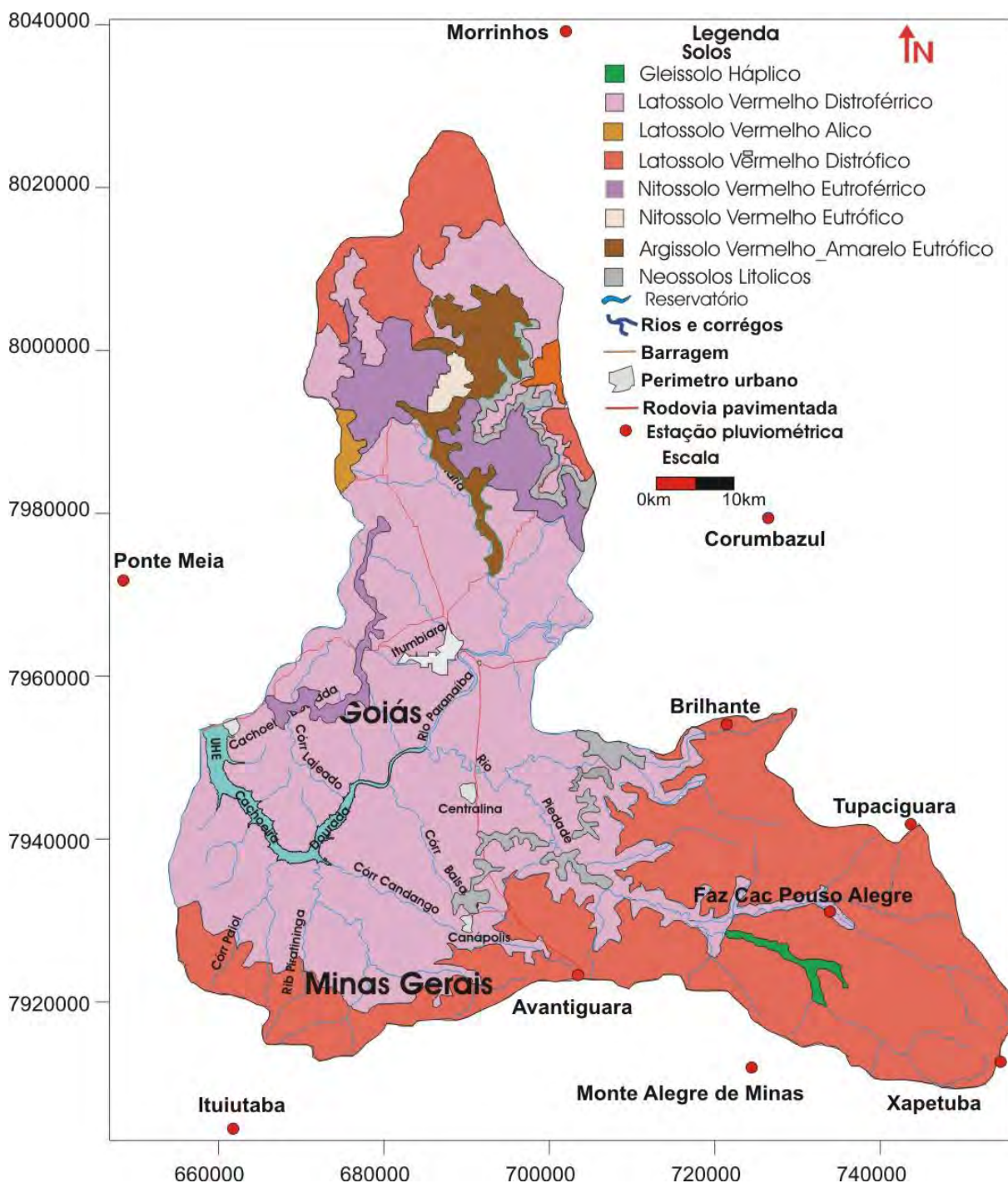


Figura 4: Mapa de solos da área de estudo, adaptado dos solos do estado de Goiás/ SIG-GOIAS (2003).

- Gleissolos Háplicos: compreendem solos hidromórficos, constituídos por materiais minerais que apresentem horizonte gley, dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo ou à profundidade entre 50 e 125 cm, desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E;
- Neossolos litólicos: corresponde, no antigo sistema, à classe dos solos Litólicos. São solos muito rasos, não alagados, em que a rocha de origem

está a menos de 50 cm da superfície. Suas propriedades são inteiramente dominadas pelas rochas de origem, poucos intemperizadas ou pouco evoluídos, com textura média a arenosa.

4.2.4 - Clima

Estudos climatológicos para a região Centro-Oeste e Triângulo Mineiro (Nimer, 1989), apontam diversos fatores físico-geográficos que explicam o comportamento termopluviométrico na região, como por exemplo: a localização continental, a extensão latitudinal, o relevo e os fatores dinâmicos como a circulação atmosférica, decorrente do posicionamento dos centros de alta e de baixa pressão.

O caráter do regime de chuvas se deve, quase exclusivamente, aos sistemas regionais de circulação atmosférica. No verão, o clima tropical é dominado, principalmente, pelas massas, Equatorial Continental (Ec) e Tropical Atlântica, responsáveis pelas chuvas de verão. A massa de ar “Ec” atinge a região Centro-Oeste e o interior (parte ocidental) das regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

Outro aspecto peculiar da região Centro-Oeste e Triângulo Mineiro é a variabilidade, anual do regime de chuvas. O principal reflexo desta irregularidade reside na precipitação de chuva, sujeita a uma inconstância, quer em ocorrências diárias, quer em volumes pluviométricos (Nimer, 1989).

Na região sudeste de Goiás e no Triângulo Mineiro, onde se localiza a área de estudo, pela classificação de Köppen, o clima dominante na área de estudo é do tipo Cwa, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno com temperatura média anual que oscila entre 22° C e 24° C, e temperatura máxima podendo ultrapassar 35° C.

A precipitação média anual está entre 1200 e 1600 mm, concentrando-se de outubro a abril (estação chuvosa). As médias mensais nesse período variam entre 100 e 350 mm, enquanto na estação seca, que ocorre de abril a setembro, o índice pluviométrico varia de 0 a 100 mm, o que caracteriza um período de deficiência hídrica e um período mais frio (Scopel e Assunção, 1999; SECTEC, 2000; Cabral *et al.*, 2005).

5 – Materiais e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizados os métodos e técnicas, descritas a seguir.

5.1 - Trabalhos de Escritório

5.1.1 - Revisão Bibliográfica

A pesquisa teve início pelo levantamento de informações referentes aos meios físicos e bióticos, à ocupação e ao uso do solo na área de entorno do reservatório de Cachoeira Dourada, constaram de revisão bibliográfica, relacionada com temas abordados na tese, destacadamente sobre assoreamento de reservatórios, propriedades dos sistemas lacustres, depósitos fluviais/lacustre e característica da precipitação pluvial.

5.1.2 - Base cartográfica, pedológica e geológica

A área da bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada foi cartografada em levantamentos planialtimétricos nas escalas 1:100.000, executados pelo IBGE (1973). A área de pesquisa foi delimitada em seis cartas topográficas, na escala 1:100.000, com a seguinte identificação: Folha SE-22-Z-A-III - Bom Jesus de Goiás; Folha SE-22-Z-A-VI - Cachoeira Dourada; Folha SE-22-Z-B-I – Itumbiara; Folha SE-22-Z-B-IV – Ituiutaba; Folha SE-22-Z-B-II – Corumbáiba; Folha SE-22-Z-B-V – Tupaciguara.

Para a caracterização pedológica e geológica da área de pesquisa, foram utilizadas três cartas topográficas, na escala 1:250.000, elaborados pela AGIM/CPRM (2002) e do Sistema de Informação Geográfica de Goiás (SIG-GOIÁS, 2003): -Folha SE-22-Z-D – Morrinhos; Folha SE-22-Z-B – Uberlândia; Folha SE-22-Z-A – Quirinópolis.

Na reconstituição topográfica da área de inundação do reservatório, foram utilizadas dezesseis cartas topográficas, na escala 1:10.000 elaborada pela empresa Engevix (1958): Folha A1, A2, A3 e A4; Folha B2, B3 e B4; Folha C3 e C4; Folha D3 e D4; Folha E2 e E3; Folha F2

5.2 - Amostragem e caracterização dos sedimentos

A amostragem dos sedimentos de fundo foi realizada com o intuito de se analisar a variação dos parâmetros textuais do material sedimentar acumulado no

reservatório, verificar sua distribuição no lago, e discutir possíveis modelos deposicionais atuantes.

A coleta de sedimentos de fundo foi efetuada com dois tipos de amostradores: CLS (Figura 5A) e draga de peterson (Figura 5B). O amostrador “CLS”, é uma adaptação do modelo *Piston Core* para obtenção de testemunhos em colunas verticais, por cravação de um tubo de PVC (50 mm por 50 cm a 150 cm de comprimento), no fundo do reservatório, conformes técnicas apresentadas por Ponçano *et al.* 1981. A amostragem foi executada por um mergulhador (Figura 6). Depois de cravado, o tubo foi fechado, ainda no fundo, antes de ser alçado ao barco.

A)



B)



Figura 5: A) Amostrador, adaptado do modelo *Piston Core* preparado para obtenção de testemunhos verticais B) Amostrador modelo Peterson (draga).

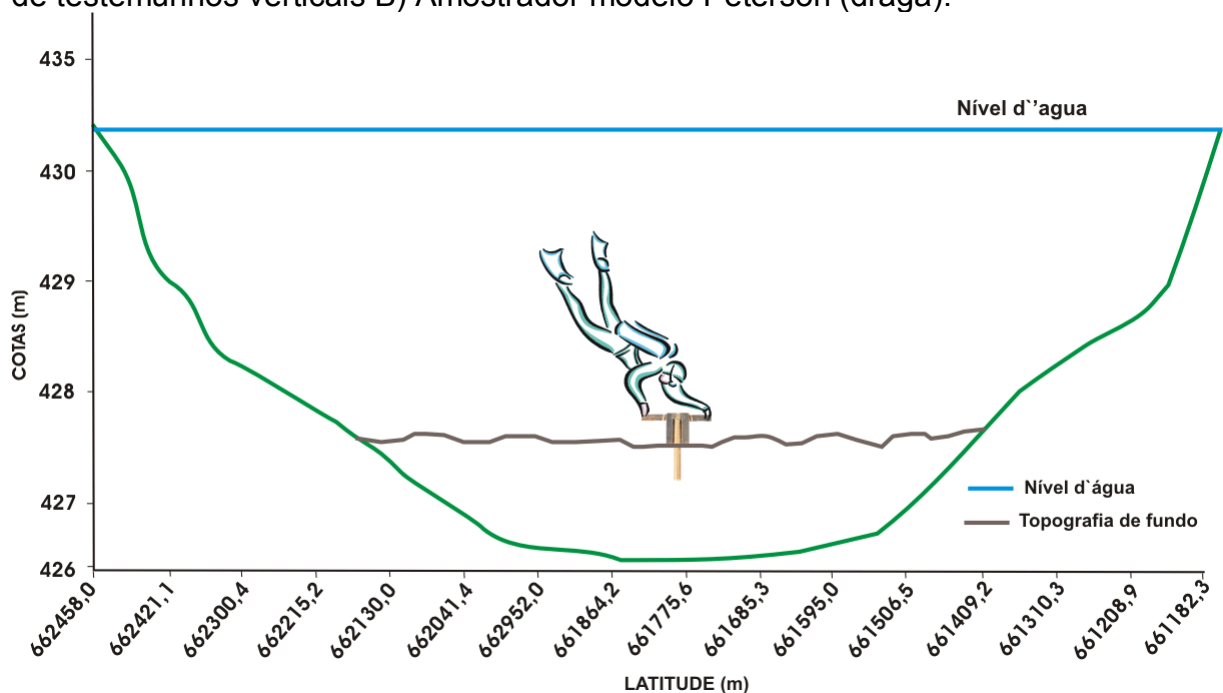


Figura 6: Croqui esquemático de como foram obtidos os perfis verticais.

As amostras de sedimentos dos perfis verticais foram analisadas com uma lupa e descritas segundo os seguintes parâmetros: cor, granulação, textura, seleção, composição mineralógica, estruturas sedimentares, uso de escala granulométrica de bolso (Figura 7), do laboratório de sedimentologia (Labsed) da UFPR, conforme a escala de Wentworth (1922).

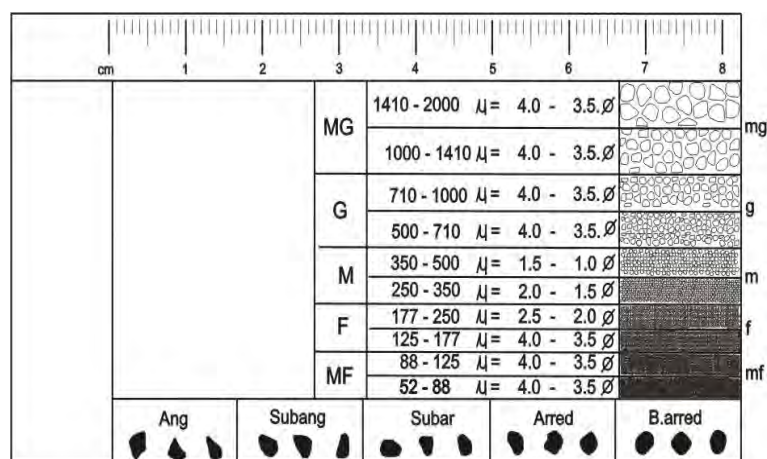


Figura 7: Escala de bolso utilizado para realizar a descrição granulométrica dos perfis verticais.

A coleta do material da porção superficial dos depósitos de fundo foi efetuada com amostrador tipo “draga de Peterson” (Figura 5B – página 32). A operação consistiu no lançamento da draga aberta que, ao tocar no fundo do reservatório, liberava um peso o qual determinava o fechamento das mandíbulas e fazia coleta do material. As operações de coleta de material foram realizadas com apoio de “barcaça” de 15 m² auxiliada por um barco de apoio, por questão de segurança, pois o lago apresenta local com mais de 15 m de profundidade e eventual formação de ondas de dimensões variadas de acordo com as condições do tempo.

5.3 – Granulometria e parâmetros texturais.

A análise granulométrica dos sedimentos obtidos com a draga de *Peterson* foi realizada, de acordo com o método baseado na lei de Stokes (1851) e escala de Wentworth (1922) método descrito em Suguio (1973). As amostras foram inicialmente secas em estufa, por 24 h, sob temperatura de 40° C, sendo, em seguida, retirada uma amostra de 50 gramas que foi desagregada manualmente, quando necessário, utilizando-se um almofariz de porcelana e pistilo de madeira com ponta de borracha (Figura 8A e B).

A)



B)



Figura 8: Processo de desagregação do material coletado em campo: A) após secagem em estufa, B) utilização de almofariz de porcelana e pistilo de madeira com ponta de borracha.

Com todas as amostras foi realizada a queima de matéria orgânica para evitar erros nas análises granulométrica. As amostras de 50 g do material foram colocadas em béqueres de 2000 ml (Figura 9A e B) para a queima (oxidação) da matéria orgânica (MO), com o uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 – 130 volumes).

A)



B)

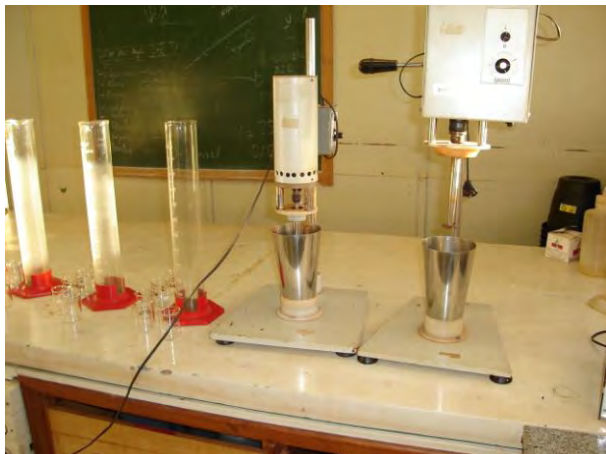


Figura 9 – A) Pesagem do material B) Processo de realização da queima de matéria orgânica com a utilização de peróxido de hidrogênio.

Após a eliminação da matéria orgânica, as amostras foram classificadas utilizando-se o método da pipetagem, seguida por peneiramento (Figuras 10 e 11). A pipetagem foi utilizada para dimensionamento de partículas entre 0,062 e 0,004 mm de diâmetro e o peneiramento para partículas entre 4,0 e 0,062 mm. No

peneiramento foram separadas frações com peneiras de malha 4,000; 2,830; 2,000; 1,410; 1,000; 0,707; 0,500; 0,354; 0,250; 0,177; 0,088 e 0,062mm.

A)



B)



Figura 10 – Equipamento utilizado no método de pipetagem: A) misturador mecânico para preparação das amostras de sedimentos com pirofosfato de sódio e água destilada, B) provetas e béqueres para a realização da pipetagem.

A)



B)



Figura 11 – Etapas do método de peneiramento: A) elutriação do material após a pipetagem B) agitador mecânico com jogo de peneiras utilizadas para separar as frações de areia.

Nos cálculos dos parâmetros estatísticos foram usadas as fórmulas propostas por Krumbein (1934), Folk e Ward (1957). Os cálculos foram efetuados com uso do programa *Sysgran*, desenvolvido por Camargo (1999). Neste programa é usado, como dados, o peso final das frações granulométrica.

De posse dos dados granulométricos, provenientes de duas campanhas de amostragens realizadas em 2003 e 2005, analisou-se comparativamente a

distribuição dos sedimentos da superfície de fundo do reservatório de Cachoeira Dourada. Ao todo, foram comparadas 33 amostras em 2003 e 37 amostras em 2005.

5.4 – Pluviometria, Intensidade Pluviométrica e Erosividade da bacia.

Para fins de comparação e análise do comportamento das chuvas na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada, a série histórica de 30 anos das precipitações foi dividida em três decênios: de 1973 a 1982; 1983 a 1992 e de 1993 a 2002, para se verificar a variabilidade, no intuito de detectar possíveis tendências de aumento ou diminuição da quantidade de chuva e/ou da erosividade.

Efetou-se, também, uma análise global para os dados de toda série histórica, ou seja, do intervalo de 30 anos (1973 a 2002). Consideraram-se as principais características da chuva, sua variabilidade, a precipitação pluviométrica anual e sazonal, períodos de menor e maior índice de precipitação, classificados como seco e úmido, considerando-se dez postos pluviométricos (Quadro 1).

Quadro 1: Nome e localizações dos postos pluviométricos, no período de 1973 a 2002

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude
Avantiguara	703467	7923302	791
Brilhante	721433	7954069	800
Corumbazul	726453	7981721	500
Faz Cachoeira Pouso Alegre	733914	7931098	793
Ituiutaba	660500	7900250	563
Monte Alegre de Minas	724452	7911960	730
Morrinhos	687486	8027795	680
Ponte Meia	646788	7971760	468
Tupaciguara	743696	7941832	887
Xapetuba	754563	7912650	890

A divisão entre período seco e úmido ocorreu em relação aos valores médios mensais pluviométricos em virtude das variações estacionais, onde se define o ano hidrológico, dividido em duas “estações”, o semestre úmido e semestre seco (Villela 1975). Esta escala permite uma investigação mais detalhada dos padrões e tendências apresentadas pela precipitação na área de estudo.

Inicialmente, foram calculadas as médias mensais de cada posto pluviométrico no período, possibilitando uma observação comparativa do

comportamento da precipitação ao longo dos meses, e a análise das diferenças espaciais da precipitação no local.

Foi considerado período seco, os meses onde os valores de precipitação foram inferiores a 100 mm mensais e choveu menos de 12 dias. As séries históricas de precipitação foram obtidas junto a Agência Nacional de Águas.

A distribuição espacial das chuvas na bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada obedeceu ao método que utiliza isoietas conforme proposto por Bertoni e Tucci (2000). As falhas nos registros pluviométricos mensais existentes foram preenchidas pelo método da ponderação regional. Isto foi necessário devido à exigência metodológica da existência de pelo menos três estações com, no mínimo, dez anos de dados mensais completos.

Para obtenção do dado a ser corrigido (preenchido), adotou-se a seguinte equação:

Onde:

Y = é a precipitação do posto Y a ser estimada;

X_1 , X_2 e X_3 = são as precipitações correspondentes aos meses (ou anos) que se deseja preencher, observada em três estações vizinhas;

Y_m = é a precipitação média do posto Y ;

X_{m1} , X_{m2} e X_{m3} = são as precipitações médias mensais nas três estações circunvizinhas.

Portanto, esta equação considera as precipitações registradas que ocorrem nos postos mais próximos, além dos registros do próprio posto pluviométrico.

Parte-se da idéia de que, num posto Y que apresenta falhas, estas seriam proporcionais às precipitações nas estações vizinhas X_1 , X_2 e X_3 , durante o mesmo período, com a seguinte ressalva: os postos vizinhos escolhidos devem estar numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido.

Os parâmetros estatísticos como, desvio padrão, média e coeficiente de variação, foram calculados conforme métodos tradicionais descritos em Lanna (1993).

Os valores de intensidade pluviométrica (Quadro 2) foram estimados, segundo método proposto por Pani *et al.* (1996), e os valores quantitativos de precipitação são considerados representativos de valores de energia potencial,

disponíveis para transformarem-se em energia cinética, responsável pela erosividade da chuva.

Quadro 2: Índices de intensidade pluviométrica

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Média de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Média de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade
<50	1,0	estável	300 – 325	2,1	medianamente estável/vulnerável
50 – 75	1,1		325 – 350	2,2	
75 – 100	1,2		350 – 375	2,3	moderadamente vulnerável
100 – 125	1,3		375 – 400	2,4	
125 – 150	1,4	moderadamente estável	400 – 425	2,5	vulnerável
150 – 175	1,5		425 – 450	2,6	
175 – 200	1,6		450 – 475	2,7	
200 – 225	1,7		475 – 500	2,8	
225 – 250	1,8	medianamente estável / vulnerável	500 – 525	2,9	
250 – 275	1,9		> 525	3,0	
275 – 300	2,0				

O cálculo do valor de intensidade pluviométrica para cada estação foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Intensidade Pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação média anual}}{\text{Número de dias com chuva}/30^*}$$

* O número de dias com chuva é transformado em meses dividindo-se seu total por 30.

Os valores de erosividade da chuva (fator - R) foram obtidos por intermédio do método proposto por Wischmeier e Smith (1978), e adaptados para as condições brasileiras por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977), citados por Bertoni e Lombardi Neto (1999), que propuseram a seguinte equação.

$$EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \text{ onde:}$$

EI_{30} = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

r = média dos totais mensais de precipitação, em mm;

P = média dos totais anuais de precipitação, em mm,

Para determinação do “R” local, soma-se o resultado dos valores mensais do índice de erosividade da estação pluviométrica, obtidos em mais de vinte anos de observações, da seguinte forma:

Sendo que “i” até “j” representam os dozes meses do ano. Bertoni e Lombardi Neto (1999).

O fator chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em um solo desnudo (sem cobertura vegetal). O potencial da chuva em causar erosão pode ser avaliado por meio de índices de erosividades, que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região.

Para classificar qualitativamente a bacia hidrográfica, quanto à possível produção de sedimentos, transformaram-se os valores quantitativos de erosividade de MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para tm mm ha⁻¹ ano⁻¹, convertendo-se o sistema métrico internacional, para o sistema métrico decimal, onde os valores em megajoules são divididos por 9,81 e adotando-se as classes definidas por Carvalho (1994) (Quadro 3).

Quadro 3: Classes de erosividade da chuva média anual de MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para tm mm ha⁻¹ ano⁻¹ - Carvalho (1994)

Classes de Erosividade	Valores de R (ton.m.mm/há.h.ano)
1 - Muito Baixa	R < 250
2 – Baixa	250 < R < 500
3 – Média	500 < R < 750
4 – Alta	750 < R < 1000
5 - Muito Alta	R > 1000

5.5 - Análise dos parâmetros limnológicos

As amostras de água foram coletadas com a garrafa de *Van Dorn* com volume de 2 l (Figura 12). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em frascos plásticos, e colocados em caixas de isopor para manter suas propriedades físicas/químicas e transportados para o Laboratório de Limnologia do curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás.

A concentração do material em suspensão na água foi determinada de acordo com o método gravimétrico de Wetzel e Likens. As amostras de água foram filtradas em filtros Whatman pesados em balança analítica. Após a obtenção do peso inicial, fez-se a filtração dos filtros foram colocados em estufas a 60° C por 24 h, obtendo-se o segundo peso dos filtros secos e calcinados a 550 g, sendo obtido

o peso 3. Por diferença de pesagem, obtém-se a concentração de sedimentos em suspensão.



Figura 12 – Garrafa de *Van Dorn* - equipamento utilizado para coletar as amostras de água.

As concentrações de sedimentos em suspensão foram determinadas por intermédio da equação:

Onde:

C.S.S. = Concentração de sedimentos em suspensão (mg.l^{-1});

P1 = peso inicial do filtro (g);

P2 = peso do filtro com material coletado após secagem em estufa (g);

V = volume de água utilizado para filtração (l)

1000 = fator conversão para miligramas

A transparência da água foi avaliada com o uso do disco de Secchi (Figura 13) que possui 20 cm de diâmetro, colorido alternando partes brancas e pretas. Esta medida foi obtida mergulhando-se o disco na água e na parte sombreado do barco,

através de uma corda graduada conforme descrito em Esteves (1988).



Figura 13 – Disco de Secchi – equipamento utilizado para avaliar a turbidez da água.

No local de amostragem o disco foi afundado até o seu completo desaparecimento; cuja profundidade foi anotada. Esta medida foi correlacionada com o material em suspensão na água, tanto mineral como orgânico, seguindo a proposta de Esteves (1988). As leituras de profundidade do disco de Secchi foram feitas entre as 9 e 15 horas.

Para o estudo da correlação entre os dados obtidos *in situ*, empregou-se o método de Pearson descrito em Lanna (2000), verificando-se a relação entre a CSS e a visibilidade da água. Calculou-se o coeficiente de correlação “r” para um nível de significância “p” (probabilidade) de 0,05. As retas de regressão obedeceram ao limite de confiança de 95%. “O coeficiente de correlação de Pearson foi usado como índice para indicar o grau de associação linear entre as variáveis com dados nas escalas de intervalos ou de razões”, a correlação pode variar de +1 a -1.

5.6 – Levantamento batimétrico e cálculo do volume do material assoreado.

O sistema utilizado para coleta dos dados batimétricos é constituído de uma ecosonda modelo Furuno GP-1650F e um *Sistema de Posicionamento Global* (GPS), acoplados a um computador portátil (Figuras 14 A e B). O *software Fugawi3* faz o processamento do sinal e o armazenamento dos dados, os quais puderam ser exportados em formato de quadros para outros *softwares*.

A)



B)



Figura 14: A) Ecosonda modelo Furuno GP-1650F, B) *Sistema de Posicionamento Global* (GPS), acoplados a um computador portátil utilizado na realização do levantamento batimétrico.

A ecosonda possui um dispositivo denominado transdutor que emite pulsos refletidos nas frequências de 50 kHz ou 200 kHz. Este transdutor calcula a profundidade pela diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal, estando apto a detectar profundidades entre 0,5 m e 800 m, com uma precisão de 0,1 m.

Em todo o percurso de coleta dos dados de profundidade foi estipulada uma velocidade máxima de deslocamento do barco de 6 km/h a 7 km/h, pois até esta velocidade consegue-se manter o transdutor e a antena GPS na posição vertical ortogonal à lamina d'água, evitando-se assim, uma inclinação do feixe de ondas acústicas e conseqüente erro de medida.

A correspondência entre os dados de profundidade, fornecidos pela ecosonda, e os dados de posição fornecida pelo GPS resultaram em um conjunto de medidas batimétricas georreferenciados, que foram transformados para o formato texto antes de ser utilizados para a geração do modelo topográfico e submetidos a uma série de processamentos, transformando-se as latitudes e longitudes relativas

ao sistema datum WGS-84 para o datum SAD-69 que é o sistema de referência das cartas topográficas trabalhadas a partir do programa Sistema de Cálculo Topográfico (1994). Esta padronização do datum permitiu a sobreposição das malhas amostrais sobre a base cartográfica georreferenciada.

A EcoSSonda / GPS forneceu os seguintes dados: latitude, longitude, coordenadas UTM, zona UTM, tempo, distância entre os pontos, distância acumulada e velocidade de deslocamento entre pontos.

A escala utilizada no levantamento batimétrico foi de 1:100.000. Foi adotado o distanciamento de 1cm no mapa entre os pontos levantados, conforme a proposta da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), descrita em Carvalho (1994, 2000), devido à não disponibilidade das cartas topográficas na escala 1:10.000, no período do primeiro trabalho de campo.

De posse das cartas na escala 1:10.000, obtidas para o segundo trabalho a campo, “digitalizou-se” as curvas de nível de dezesseis cartas topográficas, referentes ao início da construção do reservatório. Isso permitiu a elaboração dos mapas de contorno das isóbatas, bem como a confecção de perfis batimétricos, referentes ao ano de 1959.

Para facilitar o reconhecimento das mudanças ocorridas e procurar compreender os processos de sedimentação ao lago do intervalo de 56 anos foram elaborados modelos digitais do terreno para todo o reservatório e em cinco diferentes setores. A divisão em setores foi realizada a partir da integração dos dados que permitiram a identificação das áreas que apresentavam condições mais críticas, de acordo com os parâmetros abordados: Intensidade pluviométrica, erosividade, parâmetros limnológicos e levando-se em consideração o material depositado no lago de acordo com a geologia da bacia na área de estudo.

A malha de perfilagem ecobatimétrica (Figura 15) foi constituída de 53 linhas navegadas no sentido N-S, espaçadas aproximadamente de 1000 m. No sentido E-W foram navegadas 2 linhas com espaço aproximado de 1000 m entre elas, em uma distância de 3 km.

Para calcular a taxa de sedimentação no reservatório, fez-se uso das cotas altimétricas das cartas topográficas na escala 1:10.000 da época da construção do reservatório, comparando-se estas cotas com as informações batimétricas, obtidas no trabalho a campo. O cálculo do volume do material sedimentado foi realizado pelo método da planimetria das curvas batimétricas, descrita em Carvalho(1994) e com a

utilização do programa *Surfer 8* (Golden Software, 1999), conforme descrito em Vilhena *et al.* (2003).

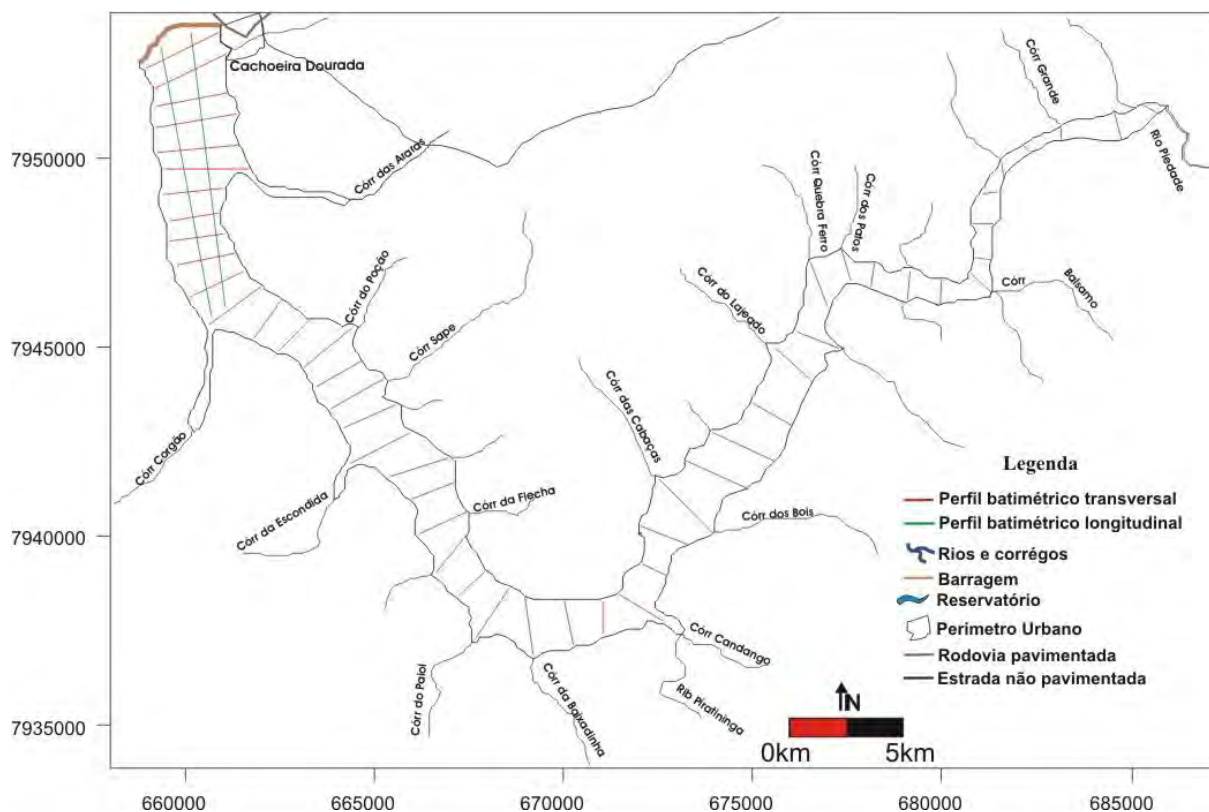


Figura 15: Linhas de perfilagem ecobatimétrica do levantamento do processo de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada.

A partir dos dados topográficos, obtidos da digitalização das cartas topográficas e dos dados batimétricos, foram gerados arquivos de leitura “grid” em que os dados da área de estudo são georeferenciados (coordenadas X, Y e Z), permitindo-se, dentro do subitem DATA, gerar linhas isobáticas e calcular o volume do material sedimentado, com base na média aritmética dos métodos de Simpson, 3/8 de Simpson e Trapezoidal, interpolando-se os dados por intermédio da *Triangulação com Interpolação Linear*.

A opção pelo método de triangulação foi devido à possibilidade de conectar-se pontos amostrados por meio de triângulos e interpolar-se os valores entre eles. Os pontos originais são conectados de tal maneira que nenhuma borda do triângulo seja cruzada por outros triângulos.

Todos os nós da grade, dentro de um triângulo dado, são definidos pela superfície triangular, pois os contornos derivam do padrão original dos dados. Não é permitida a extrapolação e as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada.

A comparação dos volumes obtidos pelos três métodos propiciou uma estimativa da acuracidade, pois, se os três volumes obtidos forem compatíveis, com diferença máxima de até 5% entre si, o volume verdadeiro é entendido como sendo o mais próximo dos três resultados (Kecler, 1995; Lamour, 2000).

5.7 – Análise dos depósitos.

A descrição fácies utilizadas nesta tese foi adaptada do ambiente fluvial formalizada por Miall (1996), que estabelece códigos combinados de letras maiúsculas e minúsculas para designar as fácies identificadas.

A partir de um código de combinação binária (Quadro 4), a classificação de fácies foi feita a partir da adaptação da proposta de Miall (1996) e dos trabalhos de Carvalho (1994, 2000), Morris e Fan (1997). Nas siglas utilizadas, a letra inicial maiúscula corresponde à granulação e as letras minúsculas seguintes às classes granulométricas e estruturas sedimentares. Vale ressaltar que até mesmo alguns autores brasileiros como Stevaux (1993), Souza Filho (1993) e Rubin (2002) se valeram das próprias siglas de Miall e, quando criaram novos códigos, continuaram a utilizar as iniciais das palavras em inglês (G, de *gravel*, para fácies conglomeráticas; S, de *sand*, para fácies arenosas etc.).

Quadro 4: Siglas utilizadas para identificação textural e estrutural dos sedimentos, adaptado de Miall (1996).

Siglas	Interpretação
F	Argila e Silte
S	Areia
G	Grânulos
(f)	Areia muito fina
(F)	Areia fina
(m)	Areia média
(g)	Areia grossa
(G)	Areia muito grossa
“S”	Estratificação

A caracterização e interpretação das fácies foram realizadas a partir do levantamento e descrição de 28 perfis verticais. Na caracterização foram descritas características sedimentológicas (composição mineralógica, granulometria e variações texturais), estruturas e feições arquitetônicas (espessura, forma e contato das camadas).

A partir do nivelamento dos perfis verticais em relação ao nível médio da cota máxima do reservatório, as sucessões de fácies foram correlacionadas para

determinar variações na espessura e no posicionamento de cada uma (Anexo 02). A partir da análise dos possíveis processos de sedimentação interpretados, as inter-relações entre as fácies e a definição de fácies geneticamente associadas, foram estabelecidas associações faciológicas. Tais associações foram denominadas de acordo com o ambiente de formação, baseado nos modelos deposicionais de Carvalho (1994, 2000), Morris e Fan (1997), e interpretadas como correspondente a: depósito de leito, delta e corrente, cujas descrições e discussões com detalhes se encontram no item 6.2.6.1.

5.8 Difractometria de raios X

A realização das análises de difratometria de raios X para as amostras, foram realizada com o objetivo de identificar os minerais depositados nos testemunhos verticais, na hipótese de correlacionar os mesmos com as áreas fontes do material depositado no. As amostras retiradas dos testemunhos foram pulverizadas em moinho excêntrico, para preparação das lâminas. A medição dos parâmetros cristalinos foi realizada pela difração de raios X, segundo método do Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR - 2005) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. O equipamento utilizado foi o difratômetro da marca PHILIPS, modelo PW 1830.

Para interpretação dos dados, utilizou-se o software *X Pert HighScore*, que possui um banco de dados de todos os minerais conhecidos e que possibilita, por comparação dos valores dos picos de difração, medidos em Angstrom, identificar os minerais.

5.9 – Preparação do banco de dados para gerar-se os mapas pelo método do Inverso do quadrado da distância.

Para efetuar uma comparação segura dos resultados das análises realizadas em datas distintas, a primeira precaução tomada foi à padronização dos dados brutos disponíveis, onde se procuraram corrigir eventuais distorções que possam ter sido causadas durante o processamento, manuseio e interpretação destes dados.

Para a confecção dos mapas de variação espaço-temporal, descritos na tese (erosividade, pluviometria, intensidade pluviométrica, parâmetros limnológicos e parâmetros granulométricos), criou-se um banco de dados geográficos georreferenciado, que corresponde fisicamente a um diretório onde foram

armazenados os dados das variáveis que se quer comparar (diâmetro médio das partículas, dados de precipitação e dados limnológicos), e as coordenadas geográficas do local onde a amostra foi coletada.

A primeira fase do trabalho consistiu em ordenar os dados numa planilha do software *MSEXCEL*. Com as tabelas prontas, executou-se a segunda etapa do trabalho, que consistiu na geração de mapas no programa software *surfer 8*. Para isto, num primeiro momento, utilizou-se o item “**GRID**” que é o núcleo do programa, onde se encontram os subitens mais importantes, utilizados para a geração de mapas de pontos (Landim, 2000; Landim et al., 2002). No subitem “**DATA**” do programa *surfer 8*, foram gerados os arquivos de leitura “grid” que georeferenciam as planilhas feitas com o software *Excel*, conforme a área de estudo (coordenadas X, Y e Z), permitindo-se assim, dentro do subitem **DATA**, através do modelo matemático “Inverso do quadrado da Distancia”, gerar os mapas. A equação do interpolador é a seguinte:

onde:

Z = valor interpolado para o nó do reticulado (grid);

Z_i = valor (resíduo) do ponto amostrado vizinho ao nó (pode ser Z_{res+}, Z_{res-} ou Z_{res0});

h_{ij} = distância entre o nó da grade e Z_i;

β = expoente de ponderação (peso);

n = número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó.

O método do “Inverso do quadrado da Distância” foi utilizado por levar em consideração as características espaciais de autocorrelação das variáveis regionalizadas, não estimando valores de Z_i maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; sendo que o peso dado durante a interpolação é tal que a influência de um ponto amostrado em relação a outro diminui exponencialmente conforme aumenta a distância ao nó da grade a ser estimado.

Com este método, ao se diminuir o expoente, os pesos tendem a igualar as amostras, e aumentando-se o expoente, os pesos tendem a diferenciar mais as amostras, não levando em consideração a anisotropia, o tamanho e a forma do bloco a avaliar (Andriotti, 2003).

Ao calcular o valor de um nó, a soma de todos os pesos dados aos pontos amostrados vizinhos é igual a 1, ou seja, é atribuído um peso proporcional à contribuição de cada peso vizinho. Quando a posição de uma observação coincide com um nó, seu valor recebe peso 1, enquanto todos os valores vizinhos recebem peso 0; o resultado será o nó recebendo o valor exato da observação ali situada.

6 – Discussão dos resultados

6.1 – Variabilidade pluviométrica, erosividade da chuva e intensidade pluviométrica

Como destacado no capítulo 5, item 5.4, foram analisados dados pluviométricos de uma série de 30 anos com o intuito de diagnosticar o comportamento das chuvas sobre a bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada. Para verificar possíveis tendências e ocorrências de eventos extremos, os dados foram subdivididos em três decênios e estudados nos períodos de 1973 a 1982, de 1983 a 1992 e de 1993 a 2002.

6.1.1. Análise dos dados pluviométricos de 30 anos (1973 a 2002)

A análise dos dados de precipitação de dez postos pluviométricos de influência na bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada indicou que, no período de 30 anos, a precipitação média anual foi de 1442 mm. O maior índice médio mensal ocorreu em janeiro, com 274,1 mm, e o menor em julho, com 7,6 mm (Anexo 03).

Em virtude das variações estacionais, onde se define o ano hidrológico conforme a proposta de Villela (1975), e a partir dos resultados foi possível reconhecer duas estações climáticas bem definidas: uma de outubro a março, com chuvas mensais, acima de 100 mm, caracterizando um período chuvoso ou estação úmida; outra estação entre abril e setembro, na qual os índices de precipitações são, em geral, inferiores a 100 mm mensais, o que caracteriza um período de estiagem, denominado estação seca.

Da precipitação total média anual (1442 mm), referente ao período de 1973 a 2002, a estação úmida (período chuvoso) contribui com 1237,1 mm (85,95%). A estação seca (período de estiagem) contribuiu com 214,9 mm (14,8%), ou seja, com médias mensais inferiores a 100 mm. Entretanto, os índices de precipitação analisados apresentam grande variação: o maior coeficiente de variação (CV) ocorreu nos dados do posto Brilhante, com 90,9%, e o menor CV, no posto Ituiutaba, com 76,4%.

Tais índices são explicados pela alta variabilidade e pelos valores extremos das precipitações médias mensais, que vão de 5,2 mm no posto Morrinhos a 339,7 mm no posto Brilhante. Outros autores, como Silva *et al.* (2003), também constataram variações semelhantes para o posto de Uberaba, MG, explicadas pela grande amplitude dos dados extremos.

Ao se analisar os dados pluviométricos referentes à série histórica de 1973 a 2002 e aos três decênios (Figura 16), verificou-se que a média anual apresentou tendência de diminuição do primeiro para o terceiro decênio em oito dos dez postos pluviométricos na área de drenagem do reservatório.

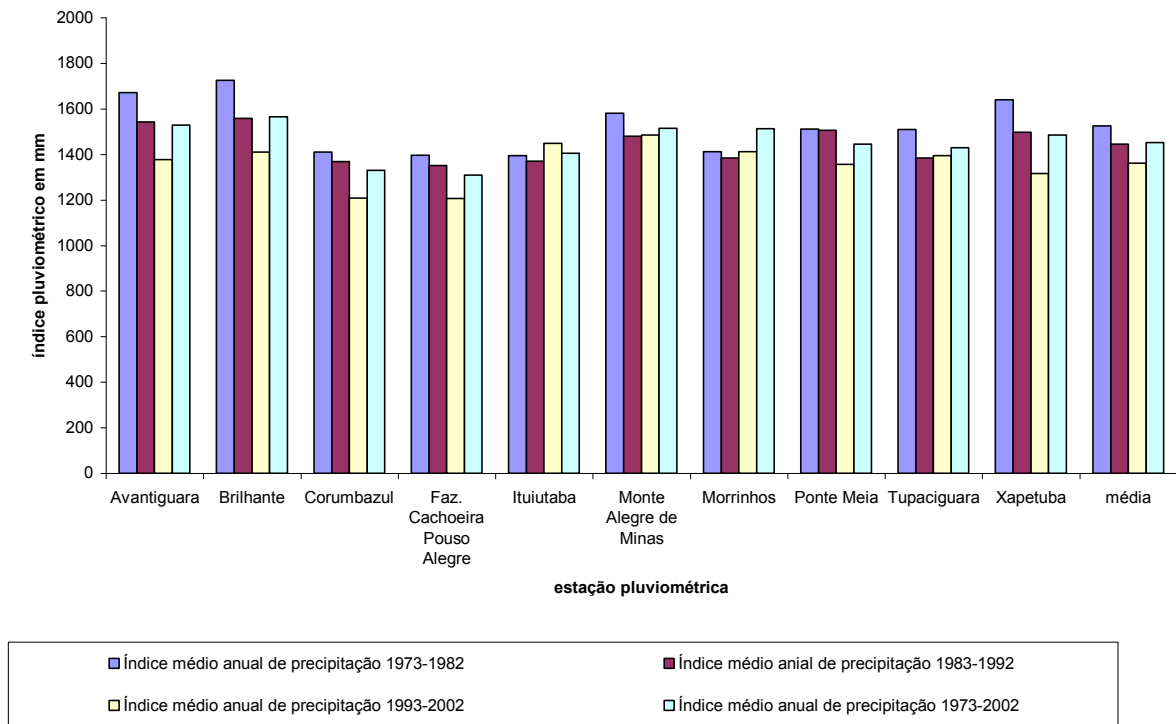


Figura 16: Precipitação média anual, em mm, na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada, GO/MG, no período total e nos três decênios estudados

A provável tendência de diminuição dos índices de precipitação, registrada nos oito postos estudados, não se explica facilmente, uma vez que dois postos (Morrinhos e Ituiutaba) não apresentaram a mesma tendência. A diminuição do volume de chuva nos oito postos verificado pode ter sido proporcionada por diversos fatores, tais como mudanças climáticas globais e intenso processo de mecanização da agricultura. Esses fatores podem ter sido ocasionados pela expansão das fronteiras agrícolas que devastou áreas e retirou a cobertura vegetal original, compactando o solo, reduzindo a taxa de infiltração e armazenamento de água no solo. Com isto, levou-se à extinção de cursos d'água antes existentes.

Segundo Minuzzi *et al*, (2005) durante o fenômeno El Niño de 1982/83 e 1997/98 ocorreram irregularidades na distribuição de chuvas no estado de Minas Gerais, proporcionando valores de precipitação abaixo da média na metade nordeste, enquanto ocorreu o oposto na metade sudoeste do estado, mas na região

da bacia hidrográfica do médio Paranaíba os valores de precipitações foram considerados normais.

Os fatores descritos no item anterior não serão analisados devido a não se constituírem objetivo principal desta tese, mas um caso semelhante ao da bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada pode ser constatado na pesquisa desenvolvida por Mariano (2005), na região sudoeste de Goiás, onde também foi constatado um decréscimo das médias anuais das precipitações em torno de 16% em mais de 30 postos pluviométricos estudados. Essa região também sofreu, nos últimos 50 anos, intenso processo de desmatamento em função das atividades agropecuárias.

A partir da espacialização dos índices de precipitação a cada 50 mm na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada (Figura 17), referente ao período de 1973 a 2002, verifica-se que a variabilidade pluviométrica situou-se na faixa de 1300 mm a 1600 mm média anual.

Os resultados, conforme se observa no mapa (Figura 17) indicaram que os menores índices de precipitação situam-se na área de alcance do posto Cachoeira Pouso Alegre (área com predomínio de substrato de rochas da Formação Marília) e crescem para o centro da bacia, de acordo com registros fornecidos pelo posto Avantiguara. Este posto, por sua vez, encontra-se localizado sobre os arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e o posto Brilhante, sobre os arenitos da Formação Marília.

Na área de abrangência da estação Avantiguara o tipo de solo presente é o latossolo vermelho distroférico. Essa é a classe de solos de maior expressão geográfica na bacia do rio Paranaíba, preferencialmente em condições de relevo pouco movimentado, que varia de plano a suave ondulado – raras são as áreas em que os declives excedem 8%. A granulometria desses solos é bastante variável, com ocorrência de textura desde média a muito argilosa.

A textura média – compreende composições granulométricas com menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca. A textura argilosa – compreende composições granulométricas com 35 a 60% de argila (SIG-Goiás, 2003).

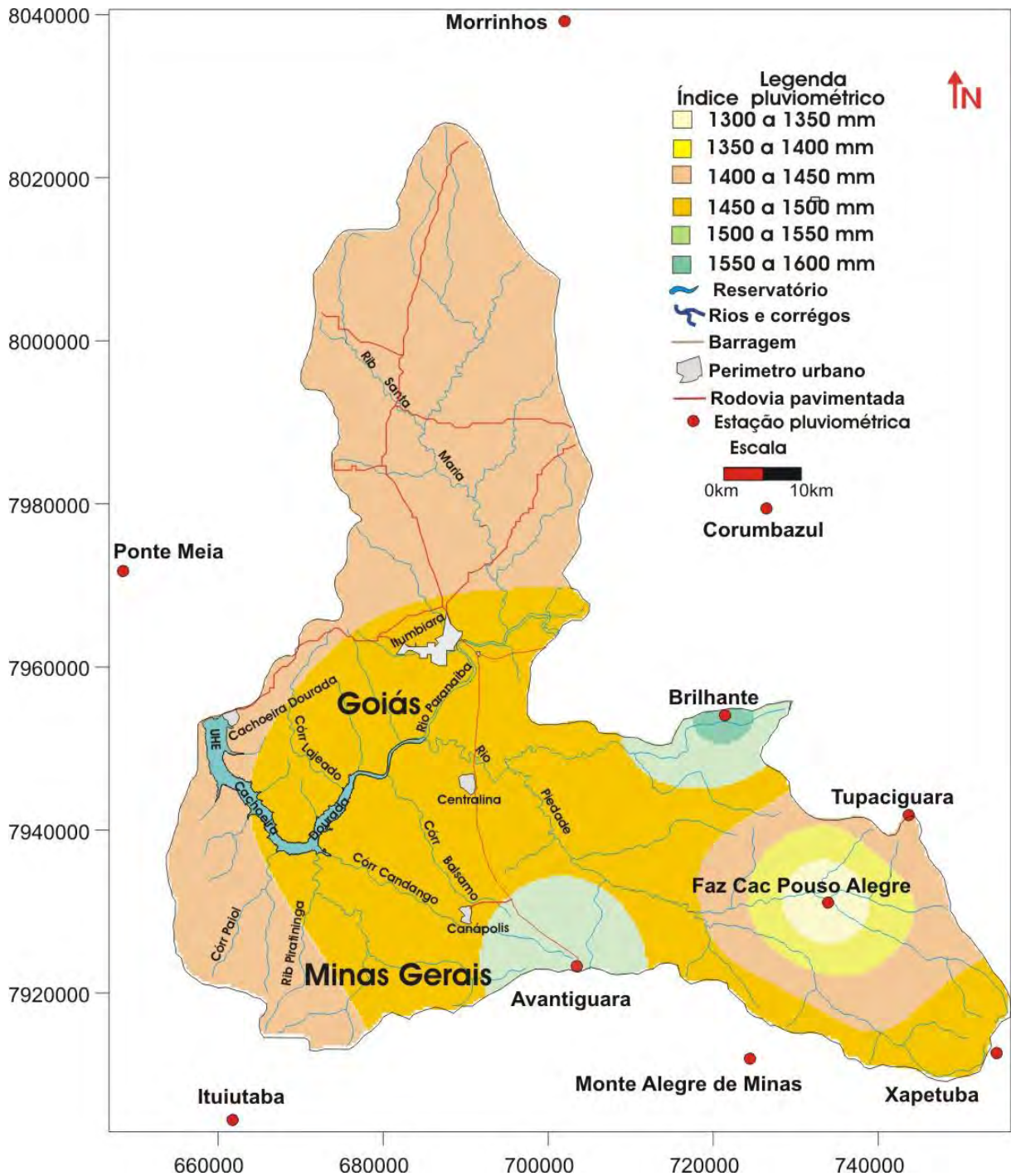


Figura 17: Valores médios anual das precipitações no período de 1973 a 2002, de acordo com dados dos dez postos pluviométricos localizados na área de influência da UHE de Cachoeira Dourada, GO/MG.

A incidência variada de chuvas na bacia hidrográfica e a constituição diferenciada do substrato litológico e pedológico criam diferentes potenciais de erosão e tipo de material fornecido. A Formação Vale do Rio do Peixe é constituída por arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, de cor marrom claro, rosados a alaranjados, de seleção moderada a

boa (Fernandes, 1998 e 2004) e tendem apresentar menor resistência à erosão em relação às rochas da Formação Marília, a qual possui arenitos com freqüente cimentação carbonática, característica que os torna mais resistentes à erosão quando menos intemperizados.

Conforme o mapa geológico (Figura 3), mapa de solos (Figura 4) e os valores de precipitação apresentados na Figura 17, o material de alteração das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe (FVRP) que apresenta menor resistência à erosão tende a ser carregado diretamente para o interior do reservatório pelo córrego do Candango e ribeirão Piratininga. Esse material tende a se misturar com os da Formação Marília trazida pelos tributários da margem esquerda do rio Piedade. Já o material oriundo da Formação Marília na área do posto Brilhante é carregado pelo rio Piedade e, posteriormente, depositado no interior do lago.

O posto pluviométrico Marília se encontra localizado sobre os Latossolos Vermelhos distroféricos que são em geral muito profundos, acentuadamente drenados, de textura argilosa ou muito argilosa, apresentando estrutura granular fortemente desenvolvida, o que confere a tais solos porosidade e permeabilidades elevadas, ocorrendo em superfícies planas e suavemente onduladas (SIG-Goiás, 2003).

Os valores médios de erosividade das chuvas (R), dados em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, foram calculados por intermédio da equação sugerida por Bertoni e Lombardi Neto (1999), conforme descrito no item 5.4.

A erosividade da chuva é o parâmetro que melhor se correlaciona com o potencial erosivo da chuva segundo Wischmeier e Smith (1978). Na área de estudo a erosividade média anual calculada para o período de 1973 a 2002 foi de $7887.7 \text{ MJ mm há}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A estação úmida, período em que ocorre a maior contribuição de pluviosidade, com médias mensais superiores a 100 mm, contribuiu com $7416,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ou seja, com 94% da erosividade, e a estação seca, com $470,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ou seja, 6% da erosividade que ocorre na área da bacia (Anexo 04).

O índice máximo médio anual de erosividade (Anexo 04) registrado para a bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada ($7,887 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) está próximo àqueles obtidos por Dedeczek (1978) para a região dos cerrados do Planalto Central de Brasília (DF), de $8,319 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, entretanto é inferior aos $10,420 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ do posto pluviométrico situado na cidade de Piracanjuba, GO (Cabral *et al.* 2005).

De acordo com os dados obtidos é possível verificar, ainda, que o período de maior erosividade na bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada coincide com o início do preparo dos solos, semeadura e estabelecimento das culturas anuais, como a soja e o milho. Quando se utiliza o preparo convencional do solo, corre-se o grave risco de perdas de solo por erosão, daí a necessidade de se tomar medidas conservacionistas que procurem minimizar essas perdas de solos, pois caso contrário estará contribuindo para o rápido assoreamento do lago da represa.

A partir da análise dos valores de erosividade na área de estudo (Figura 18), foi possível verificar no mapa a ocorrência de uma variação entre $7000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na região do posto pluviométrico Fazenda Cachoeira Pouso Alegre, e $9000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no posto Brilhante, ambos situados em solos oriundos da alteração da Formação Marília. Os arenitos da Formação Marília são imaturos, com cimentação carbonática e tendem a possuir maior resistência à erosão das chuvas em relação aos arenitos da FVRP.

Na maior parte da área de estudo, a erosividade proporcionada pela chuva oscila entre $7,750 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $8,250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Percebe-se que esses valores de erosividade se encontram dentro do intervalo das condições brasileiras já estudadas – de 5.000 a $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ – quando comparados aos de outros trabalhos da literatura nacional (Margolis *et al.* 1985; Scopel, 1988; Silva *et al.* 2003; Bertol *et al.* 2002; Cabral e Becegato, 2005). Os dados desses autores contemplam a região Sul, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

Confrontando-se o mapa geológico (Figura 3) com o mapa de erosividade (Figura 18) e a rede hidrográfica da bacia do reservatório de Cachoeira Dourada, é viável supor-se que o material oriundo das alterações e erosão das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe na área de abrangência do posto Avantiguara são carreados e depositados na porção média do reservatório por intermédio do córrego do Candango e do ribeirão Piratininga. Na porção a montante do reservatório, é razoável supor-se que o material oriundo da Formação Vale do Rio do Peixe pode ser transportado pelo do córrego do Bálsamo e rio Piedade, misturando-se com produtos de alteração da Formação Marília. Já os materiais erodidos, produtos da alteração dos arenitos da Formação Marília, na área de abrangência do posto Brilhante, são carreados para o reservatório pelo ribeirão Passa Três, que deságua no rio Piedade.

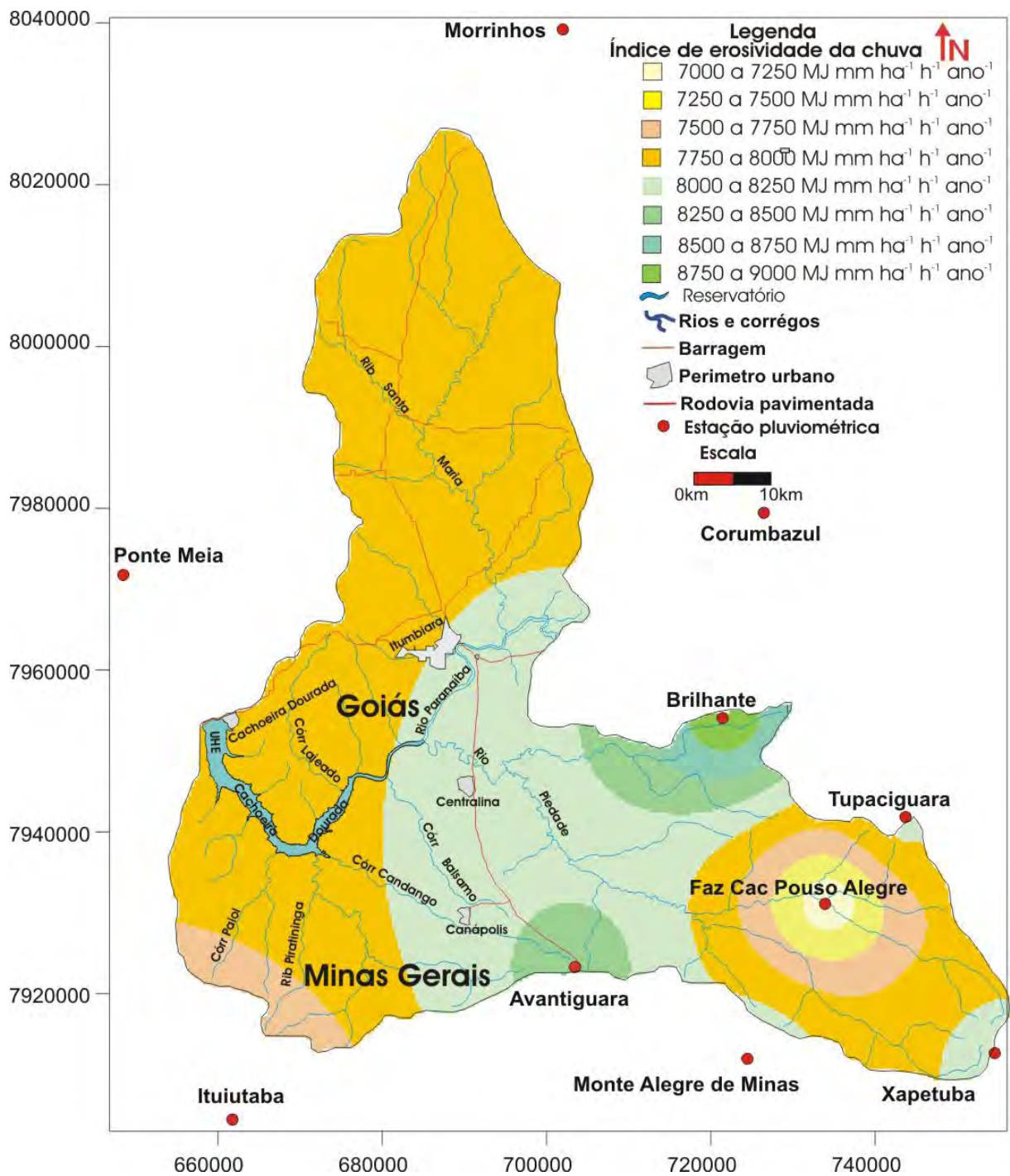


Figura 18: valores de erosividade média anual no período de 1973 a 2002 na área de influência da UHE Cachoeira Dourada, GO/MG.

Ainda conforme o mapa de erosividade (Figura 18) e de acordo com os dados do Quadro 5 e a constituição pedológica, a área de abrangência do posto pluviométrico Fazenda Cachoeira Pouso Alegre é a área-fonte que apresenta o menor potencial de fornecimento de material particulado erodido devido aos

menores valores de erosividade e índice de precipitação em relação aos postos pluviométricos Avantiguara e Brilhante nos decênios de 83-92, 93-02 e período de 73-02.

Quadro 5: Classes de erosividade da chuva média anual da bacia hidrográfica da área de estudo, conforme critérios da classificação de Carvalho (1994).

Localidade	R(73-82)	R(83-92)	R(93-02)	R (73-02)
	Classes de erosividade da chuva média anual			
Avantiguara	Alta	Alta	Alta	Alta
Brilhante	Alta	Alta	Alta	Alta
Corumbazul	Alta	Alta	Média	Alta
Faz Cac Pouso Alegre	Alta	Média	Média	Média
Ituiutaba	Alta	Média	Alta	Alta
Monte Alegre de minas	Alta	Alta	Alta	Alta
Morrinhos	Alta	Alta	Alta	Alta
Ponte Meia	Alta	Média	Média	Alta
Tupaciguara	Alta	Alta	Alta	Alta
Xapetuba	Alta	Alta	Alta	Alta
Média	Alta	Alta	Alta	Alta

R = erosividade, (73 – 82) = período

De acordo com o mapa de geológico (Figura 3), a área de abrangência do posto Fazenda Cachoeira tende a fornecer materiais oriundos das formações Marília e Serra Geral pelo lado direito do rio Piedade e material da Formação Vale do Rio do Peixe pelo lado esquerdo.

Pedologicamente esta área é constituída por Gleissolos Hápicos em relevos planos e abaciados, sujeitos alagamentos e intensa gleização, com ocorrência de textura desde média a muito argilosa, compreende composições granulométricas com mais de 60% de argila e Latossolo Vermelho Distroférico em relevo suavemente ondulado (3 a 8% de declividade), textura desde média a muito argilosa (SIG-Goiás, 2003).

Para fins de comparação, transformando-se os valores de erosividade de MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para tm mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e adotando-se os critérios de Carvalho (1994) descritos no item 5.4, verifica-se que a bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada pode ser classificada qualitativamente, conforme os dados do quadro 5, como de alta produção de sedimentos, principalmente nas áreas de influência dos postos Avantiguara e Monte Alegre de Minas, onde encontramos os arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe, que possuem baixa cimentação carbonática e

menor resistência à erosão quando comparados com o material da Formação Marília.

No período de 1973 a 1982, a área de abrangência do Posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre enquadrava-se na classe alta, conforme a proposta de Carvalho (1994) em relação à possível produção de sedimentos, enquanto, nas décadas seguintes, passou para a classe média devido à diminuição do volume de precipitação na mesma área.

É possível destacar, ainda, confrontando-se os dados do período global (30 anos) e dos três decênios, conforme a figura 19, a ocorrência de uma diminuição, em geral, dos valores de erosividade nos três decênios, o que é justificado pela diminuição das médias mensais e anuais das precipitações na bacia hidrográfica.

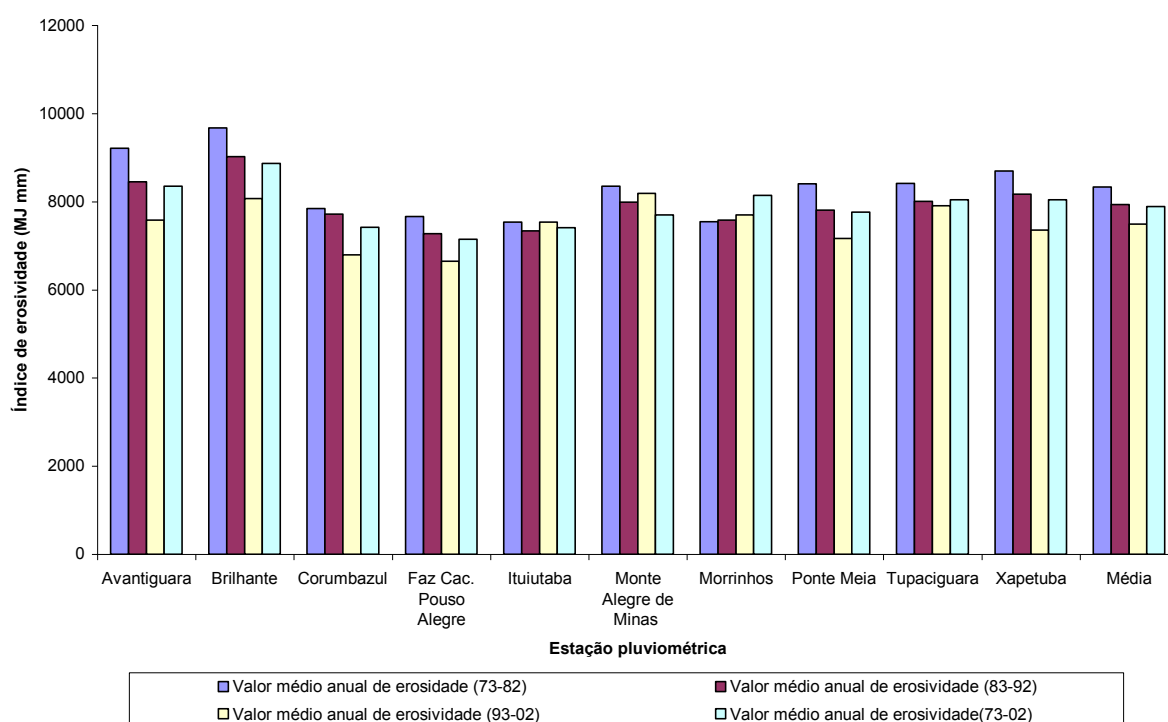


Figura 19: índices médios anuais de erosividade para o período total, estação úmida e seca.

No posto pluviométrico Brilhante, foram verificados os maiores valores de erosividade nos períodos de 1973 a 1982 e de 1983 a 1992, enquanto que no período de 1993 a 2002, este potencial de erosividade é verificado no posto Monte Alegre de Minas.

De acordo com a análise realizada a partir do método de Pearson, conforme a proposta de Lanna (2000) constatou-se, na área de estudo, uma alta correlação

entre as médias anuais de precipitação e erosividade, com base nos valores pluviométricos para toda a bacia do reservatório com um coeficiente de determinação de 0,78 (Figura 20) no período de 1973 a 2002. Essa constatação indica a existência de uma harmonia entre as distribuições médias anuais do fator erosividade e da pluviometria, estando os meses com maiores valores de precipitação associados aos meses de maior erosividade.

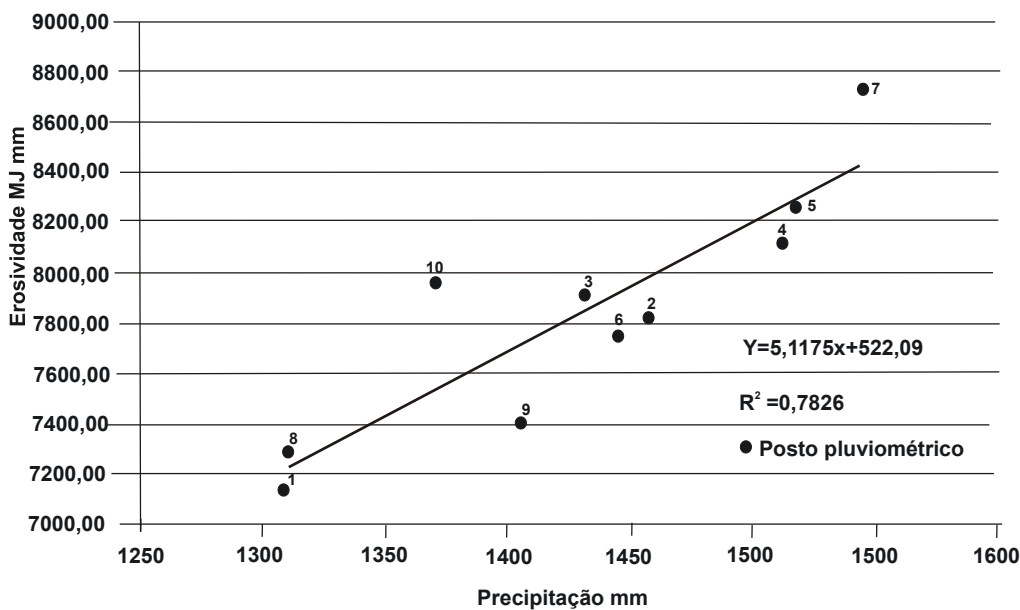


Figura 20: Gráfico de correlação entre erosividade e precipitação referente ao período de 1973 a 2002.

Este fato destaca, uma vez mais, o acerto em utilizar-se a intensidade da chuva para caracterizar seu potencial erosivo. O máximo pluvial (maiores índices de precipitação) acontece nos meses de dezembro ou janeiro e o mínimo pluvial (menores índices de precipitação) acontece nos meses de junho e julho, período com pouca ou nenhuma produção de sedimentos, dada a baixa erosividade das chuvas na região.

Outros autores, como Colodro *et al.* (2002), também encontraram alta correlação entre erosividade e a quantidade de chuva no município de Teodoro Sampaio (SP).

A intensidade pluviométrica no período de 1973 a 1982, segundo critérios de Crepani *et al.* (1996), revela que a área do reservatório de Cachoeira Dourada enquadrava-se na classe *moderadamente vulnerável* às perdas de solos, enquanto que, no decênio seguinte (1983 a 1992), é classificada como *vulnerável* às perdas

de solos (Quadro 6). Tal fato explica-se pela ocorrência de distribuição de chuvas mais irregular e concentrada em relação ao primeiro decênio, apesar de ter ocorrido uma diminuição nos valores médios dos índices de precipitação.

No período de 30 anos (1973 a 2002) a bacia hidrográfica do reservatório é classificada na classe *moderadamente vulnerável* às perdas de solos. A área de abrangência do posto Avantiguara constitui-se na principal área-fonte susceptível à erosão, em relação aos outros postos pluviométricos, por apresentar o maior valor de intensidade pluviométrica em um curto intervalo de tempo (poucos dias do ano).

Quadro 6: Valores de vulnerabilidade às perdas de solos relacionados aos valores de intensidade pluviométrica, com grau de vulnerabilidade segundo Crepani *et al* (1996).

Postos pluviométricos	Intensidade Pluviométrica				Grau de Vulnerabilidade			
	1973-1982	1983-1992	1993-2002	1973-2002	1973-1982	1983-1992	1993-2002	1973-2002
Avantiguara	515.1	502.7	469.2	493.3	V	V	V	V
Brilhante	437.4	491.9	423.0	474.0	V	V	MV	V
Corumbazul	374.2	446.4	389.8	419.7	MV	V	MV	MV
Faz Cac Pouso Alegre	432.9	465.5	452.2	436.4	V	V	V	V
Ituiutaba	350.2	472.6	405.8	447.7	MV	V	MV	V
Monte Alegre de minas	296.4	352.4	368.1	363.6	MEV	MV	MV	MV
Morrinhos	357.8	309.1	323.4	314.1	MV	MEV	MEV	MEV
Ponte Meia	435.7	350.3	339.1	355.0	MV	MEV	MEV	MV
Tupaciguara	456.1	361.2	351.4	382.7	V	MV	MV	MV
Xapetuba	499.0	449.1	346.4	397.6	V	V	MEV	MV
Média	415.5	420.1	386.8	408.4148	MV	V	MV	MV

V: Vulnerável a perdas de solos; MV: Moderadamente Vulnerável a perdas de solos; MEV: Medianamente estável/vulnerável.

A análise do quadro 6 permite verificar, ainda, que as áreas de abrangência dos postos pluviométricos Avantiguara e Fazenda Cachoeira Pouso Alegre sempre foram as mais vulneráveis às perdas de solos, embora o posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre apresente, relativamente, baixos valores pluviométricos quando analisamos o anexo 05. Em relação aos outros postos, é possível explicar este alto

grau de vulnerabilidade pela maior concentração de chuvas, conforme a proposta de Crepani *et al.* (1996).

Já as áreas dos postos pluviométricos Morrinhos e Ponte Meia são as que possuem os menores valores de intensidade pluviométrica, sendo classificadas qualitativamente como *moderadamente estáveis* às perdas de solos nos decênios de 1983 a 1992 e de 1993 a 2002 devido a uma melhor distribuição das chuvas em um intervalo de tempo maior.

Considerando-se os valores médios de intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica, apresentados no anexo 5, conforme a proposta de Crepani *et al.* (1996), verifica-se que na área de estudo não há valores considerados baixos de intensidade pluviométrica. Por isso, a vulnerabilidade da bacia encontra-se entre *moderadamente vulnerável* e *vulnerável* às perdas de solos por erosão.

Em teoria análise da distribuição dos valores de intensidade pluviométrica (Figura 21) sugere que o processo de assoreamento do reservatório, de acordo com os valores de intensidade pluviométrica, é mais influenciado pelo material erodido das formações FVRP, Marília e Serra Geral. Esse material é proveniente das áreas sob influência dos postos pluviométricos Avantiguara, Brilhante, Fazenda Cachoeira Pouso Alegre e Tupaciguara.

Os materiais oriundos das alterações das rochas da Formação Serra Geral e Complexo Granítico Gnáissico, sob influência das chuvas registradas nos postos Morrinhos, Corumbazul, Ponte e Meia, contribuem em menor proporção para o processo de assoreamento se comparado ao material anteriormente mencionado.

A análise dos dados de intensidade pluviométrica, em relação ao período seco (entre abril e setembro) e, portanto, com valores de precipitação inferiores a 100 mm, revela que a área sob influência do posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre tende a ser a área-fonte de maior destaque quanto à vulnerabilidade à erosão, enquanto as áreas de abrangência dos outros postos são *moderadamente vulneráveis* e *moderadamente estável/vulneráveis* à erosão (Quadro 9 – Anexo 5). Entretanto, o período seco provavelmente deve representar pouco em relação ao volume de materiais transportados até o lago, tendo em vista o pequeno número de dias de chuva que ocorre neste período.

Os valores de erosividade e pluviosidade anteriormente analisados, já haviam indicado que a área de abrangência do posto Avantiguara tendia a ser a principal área-fonte vulnerável às perdas de solos quanto aos sedimentos da Formação Vale

do Rio do Peixe. A área de abrangência do posto pluviométrico Brilhante tende a ser a segunda fonte mais importante na produção de sedimentos, carreando material de alteração das rochas da Formação Marília.

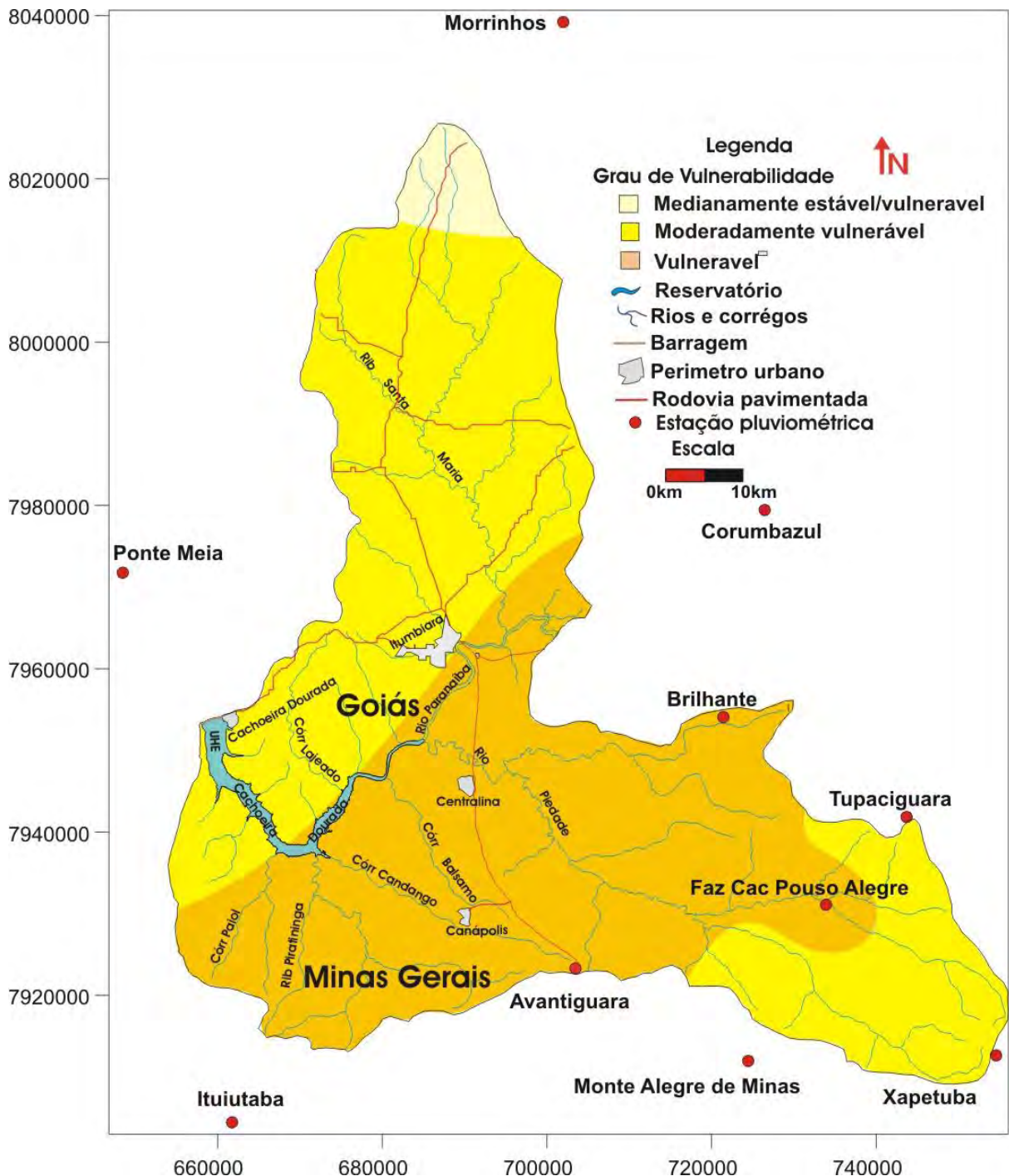


Figura 21 - Mapa de vulnerabilidade às perdas de solos, com base nos índices de intensidade pluviométrica do período de 1973 a 2002.

Conforme Cabral *et al.* (2005) e Cabral e Becegato (2005), um aspecto agravante que pode ser levado em consideração em relação ao potencial erosivo da chuva é que, na área sob influência dos postos Fazenda Cachoeira Pouso Alegre e Brilhante, o solo é mais arenoso do que na área de abrangência do posto Morrinhos, o que possibilita, naquela área, maiores perdas de solo por erosão. Embora o solo mais arenoso possua maior macroporosidade e uma taxa maior de infiltração de água do que o solo mais argiloso, em condições topográficas desfavoráveis, é facilmente arrastado pela água da chuva em função da menor agregação de suas partículas.

Sendo assim, é possível supor-se que as chuvas de menor intensidade e de maior frequência exercem efeitos de menor intensidade na remoção de sedimentos, originados da Formação Serra Geral e Complexo Granítico Gnáissico, pois estes tendem a formar solos mais argilosos. Quanto à dinâmica da água no solo, observa-se que as chuvas de menor intensidade possuem um período de tempo maior para infiltração e redistribuição da água no perfil do solo.

Confrontando-se os dados de variabilidade pluviométrica e erosividade (Anexos 3 e 4), verifica-se que a bacia do reservatório de Cachoeira Dourada é altamente suscetível à erosão no período em que o índice de precipitação é superior a 100 mm (estação úmida), sofrendo influência decisiva das áreas de abrangência dos postos Avantiguara e Brilhante justamente na época em que o solo é preparado para o cultivo agrícola e quando se encontra mais desprovido de cobertura vegetal, induzindo a área a um alto potencial natural às perdas de solos.

Já no período seco, a área de abrangência do posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre destaca-se pela sua alta intensidade pluviométrica em um curto período de tempo.

No geral é possível concluir, que no período chuvoso de 1973 a 2002, o trimestre mais úmido corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. O período seco é representado pelos meses de junho, julho e agosto; os meses de abril, maio e setembro são os de transição entre as estações seca e úmida, respectivamente.

Com relação às formas de calcular a potencialidade da chuva em causar erosão na bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada, o modelo de intensidade pluviométrica proposto por Crepani *et al.* (1996) gera índices de intensidade a partir da concentração dos valores médios diários, agrupados para gerar um produto final,

enquanto no modelo de erosividade proposto Wischmeier e Smith (1978) – correlacionado com as condições pluviométricas, principalmente para o estado de São Paulo, por Bertoni e Lombardi Neto (1999) - gerou-se índices a partir do agrupamento dos valores mensais e anuais de precipitação como variáveis principais.

As formas de cálculo para obtenção dos graus de vulnerabilidade à erosão refletem as diferentes maneiras de ponderar a importância das variáveis avaliadas.

Por exemplo, no modelo de análise proposto por Crepani *et al.* (1996), a utilização da média aritmética dos valores diários de precipitação pressupõe que o resultado obtido em qualquer período tem a mesma importância (peso) para o estabelecimento do grau de vulnerabilidade à erosão.

No modelo de análise, sugerido por Bertoni e Lombardi Neto (1999) a variável que representa o fator de intensidade máxima em 30 minutos é o coeficiente de chuva, conjuntamente com os fatores de correção, os quais determinam o grau de fragilidade.

Pelos motivos expostos anteriormente, tanto as ponderações das variáveis quanto a forma de cálculo para obtenção dos graus de erosividade ou vulnerabilidade à erosão são provavelmente as grandes responsáveis pelas divergências de resultados apresentados entre os dois modelos propostos em relação aos valores do posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre.

A grande contribuição dos modelos utilizados para verificar a potencialidade às perdas de solos é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial planejada e sustentável evitando-se problemas de ocupação desordenada.

6.1.2 - Análise dos dados pluviométricos do primeiro decênio: 1973 a 1982

De acordo com os dados descritos na tabela 10 (Anexo 16), verifica-se que, no primeiro decênio da série de 30 anos de observações, a precipitação média anual foi de 1524,8 mm. O maior valor médio anual de precipitação ocorreu no posto Brilhante, com 1725,1 mm, assim como o maior coeficiente de variação, 91,9%.

O menor valor médio anual de precipitação ocorreu no posto Ituiutaba, com 1395,8 mm. O maior valor médio mensal ocorreu em janeiro, com 298,1 mm, e o menor em julho, com 8,4 mm (Figura, 22). As concentrações das chuvas acima de 100,0 mm ocorrem entre outubro e março.

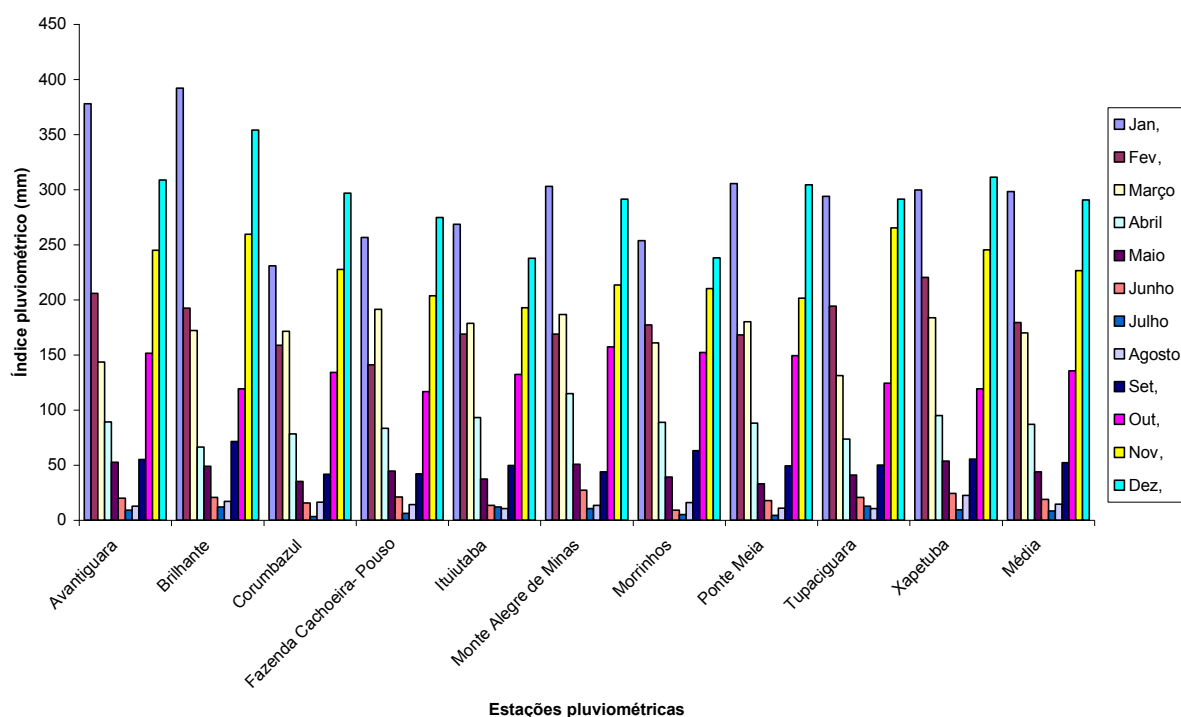


Figura 22: Valores médios mensais de precipitação nos locais de coleta de dados de 1973 a 1982 na área de estudo.

O índice médio anual de erosividade variou entre $7531,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na área de abrangência do posto Ituiutaba, e $9670,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na área correspondente ao posto Brilhante (Tabela 11 - Anexo 07). No período em que os valores de precipitação foram superiores a 100 mm (estação úmida), a erosividade entre outubro e março atingiu $7832,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que corresponde a 94% do índice anual, enquanto nos meses de abril a setembro o somatório foi de $499,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que representa apenas 6% da contribuição às perdas de solos pela erosividade.

Ao se comparar os valores de erosividade do primeiro decênio (Anexo 7) com os do período de 30 anos (Anexo 4), nos meses de abril a setembro, verificou-se que os valores de erosividade no período em que os índices pluviométricos são inferiores a 100 mm (período seco) de 1973 a 1982 ($499,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram maiores do que o referente ao mesmo intervalo de abril a setembro de 1973 a 2002 ($470,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e proporcionalmente inversos em relação aos meses de outubro a março dos respectivos períodos estudados. Esses valores de erosividade são causados pelo maior volume de precipitação (no período de 1973 a 1982) em relação aos valores pluviométricos para o período de 30 anos.

Os valores de intensidade pluviométrica média anual (Anexo 8) indicam que a bacia hidrográfica enquadra-se, conforme os critérios estabelecidos por Crepani *et al.* (1996), nas classes *moderadamente vulnerável e vulnerável* às perdas de solos. A área de abrangência do posto pluviométrico Avantiguara apresentou o maior índice anual à vulnerabilidade (515,1 mm/mês), e a área de abrangência do posto Monte Alegre de Minas, onde se registrou o menor índice (296,4 mm/mês), sendo classificada qualitativamente como *moderadamente estável/vulnerável* às perdas de solos.

6.1.3 - Análise dos dados pluviométricos do segundo decênio: 1983 a 1992

Este período corresponde a intensa ocupação do cerrado brasileiro, com grande desmatamento para a implantação, principalmente, de culturas anuais como arroz, soja e milho (Pinto, 2002).

A precipitação média anual no período foi de 1444 mm (Anexo 9). O maior índice médio mensal ocorreu em janeiro, com 271 mm, menor do que os 298,1 mm do primeiro decênio. Neste decênio o menor índice médio anual de precipitação ocorreu em junho, com registro de 6 mm. O maior coeficiente de variação ocorreu nos dados do posto pluviométrico Brilhante, com 93,8%, e o menor no posto Ponte e Meia, com 75%.

Comparando-se as precipitações médias anuais entre os períodos de 1973 a 1982 (Anexo 6) e 1983 a 1992 (Anexo 9), verificou-se que houve diminuição de 80,8 mm. O índice de erosividade médio anual para o decênio de 1983 a 1992 foi de 7935 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Anexo 10), ocorrendo um decréscimo do índice médio anual de erosividade em 396,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em relação ao decênio anterior.

Na área de abrangência do posto pluviométrico Brilhante, ocorreu o maior índice médio anual de erosividade (Figura 23) e tendeu a proporcionar a maior remoção de sedimentos do período úmido. O menor índice de erosividade no período seco ocorreu no posto Tupaciguara, supondo-se, portanto, baixa remoção de sedimentos na área de seu entorno.

O posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre foi o único que, no período seco, apresentou valores de vulnerabilidade à erosão conforme a proposta de Crepani *et al.* (1996) devido à alta concentração de chuva em curto intervalo de dias.

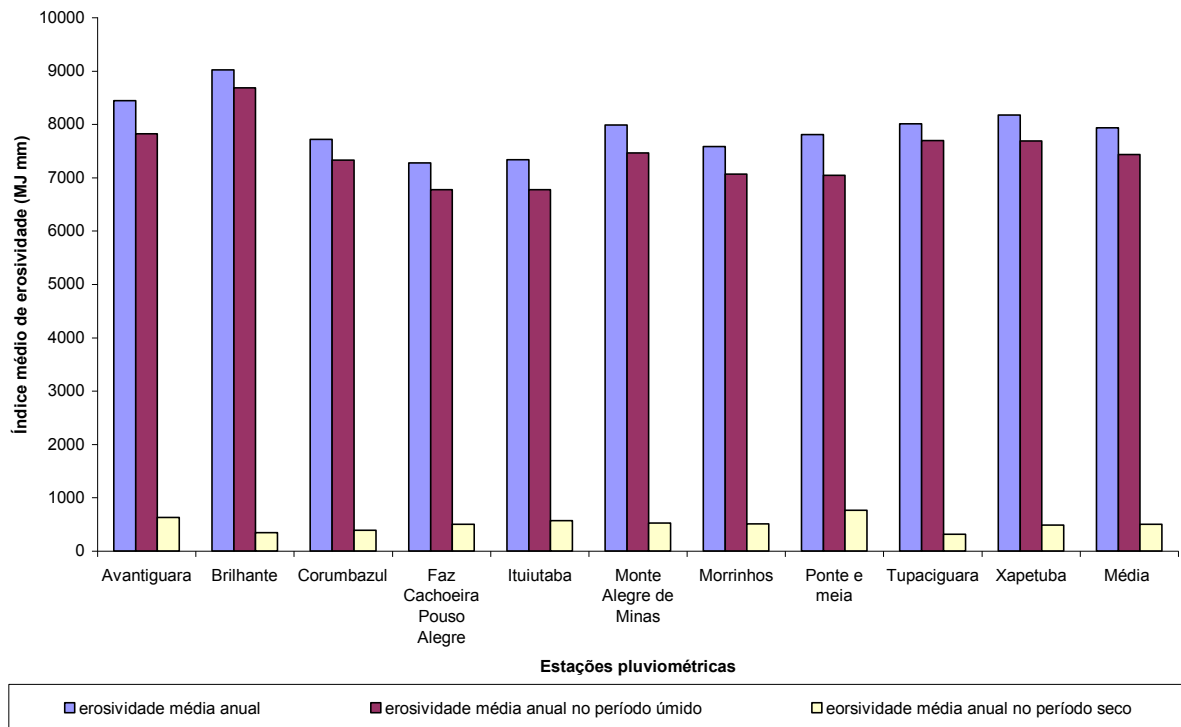


Figura 23: índice médio anual de erosividade nos períodos úmido e seco, de 1983 a 1992, na área de estudo.

Os valores médios anuais de intensidade pluviométrica apresentados no anexo 11 indicam que a bacia hidrográfica de Cachoeira Dourada classifica-se conforme a proposta de Crepani *et al.* (1996) como *moderadamente estável/vulnerável* às perdas de solos.

6.1.4 - Análise dos dados pluviométricos do terceiro decênio: 1993 a 2002

Os valores apresentados no anexo 12, indicam que as maiores médias mensais de chuvas, acima de 100,0 mm (período úmido), ocorreram no intervalo de outubro a março, sendo perceptível a diminuição do valor médio anual de precipitação pluviométrica, que foi de 1524,8, 1446,8 e 1361,1 mm, respectivamente, do primeiro ao terceiro decênios.

A maior média mensal pluviométrica foi registrada em janeiro, com média de 255 mm, enquanto a menor registrou-se em julho, com média de 4,9 mm. Os valores médios anuais de erosividade variaram entre 6646,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 8189,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Com base nos valores de erosividade deste decênio, verifica-se que o somatório das médias mensais referentes ao período úmido (outubro a março) atingiu 7037,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Anexo 13), o que corresponde a 93,9% do

índice anual. No período seco (abril a setembro), verifica-se que o somatório médio de erosividade foi de 456,8, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, correspondendo a 6,1%. O maior índice médio mensal ocorreu em janeiro, com $1797,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e o menor em julho, com $27,3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Conforme os dados de intensidade pluviométrica (Anexo 14), o posto Fazenda Cachoeira Pouso Alegre apresenta os maiores valores de vulnerabilidade às perdas de solos (Figura 24) tanto no período úmido como no seco. Já o posto Ponte e Meia apresenta-se *moderadamente estável/vulnerável* às perdas de solos em ambos os períodos (úmido e seco).

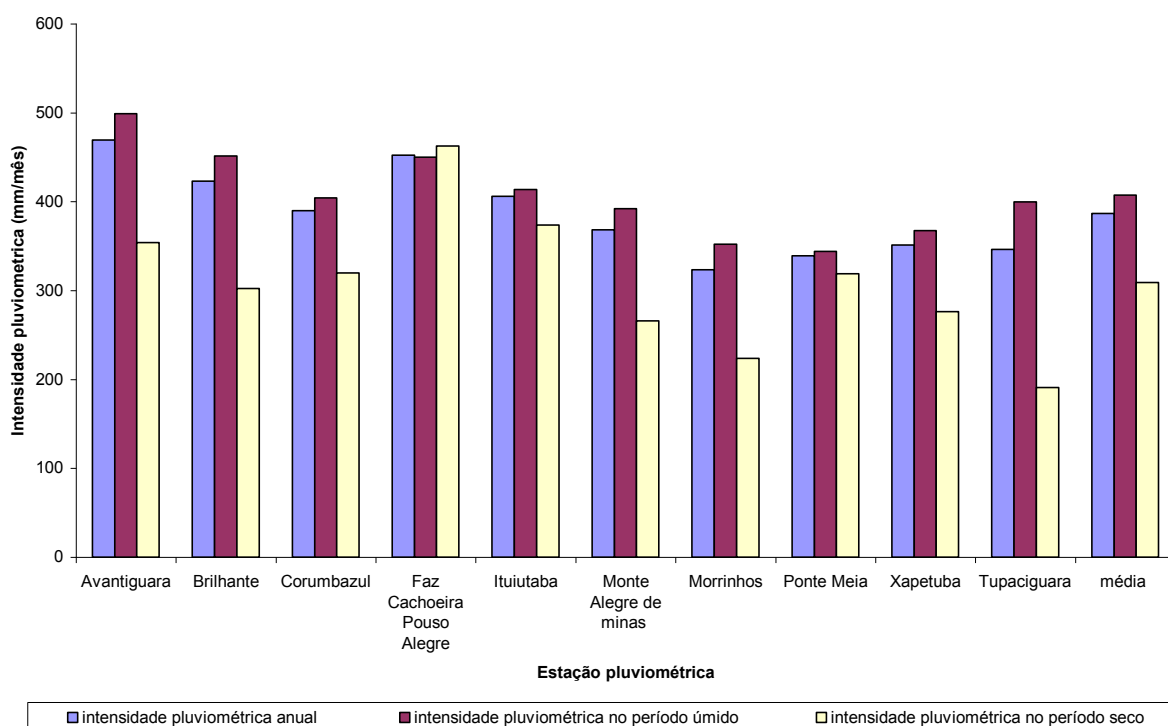


Figura 24: Valores médios de intensidade pluviométrica no período de 1993 a 2002 nas estações úmida e seca.

Quando se comparam os dados do primeiro e do segundo com o terceiro decênio, observa-se uma redução constante nos valores de erosividade. Isto poderia sugerir uma redução na remoção dos sedimentos da área da bacia. Entretanto, ao se observar a intensificação do processo de ocupação do solo conforme descrito por Pinto (2002), percebe-se que houve o aumento das áreas com culturas anuais e a retirada, quase total, da vegetação nativa da área.

Portanto, muito embora tenha sido constatada a partir dos valores de erosividade a diminuição do potencial erosivo da chuva, pode-se argumentar que, ao

invés da redução na produção de sedimentos, houve um aumento devido à ação antrópica. O processo de ocupação das formas do relevo de maneira desorganizada a médio e longo prazo pode causar a diminuição da capacidade de armazenamento da água na microbacia devido ao processo de mecanização da agricultura e compactação do solo, o que proporciona um escoamento direto que causa aumento rápido da vazão e um provável aumento do processo de erosão, remoção e deposição dos sedimentos.

6.2 - Análise do processo de assoreamento e previsão de vida útil para o reservatório

Como destacado no item 5.6, para se verificar tendências e compreender o aporte e distribuição de sedimentos no reservatório, assim como os prováveis modelos deposicionais do lago de Cachoeira Dourada, o mesmo foi analisado, segundo cinco setores (Figura 25). Em seguida, fez-se análise considerando o lago todo.

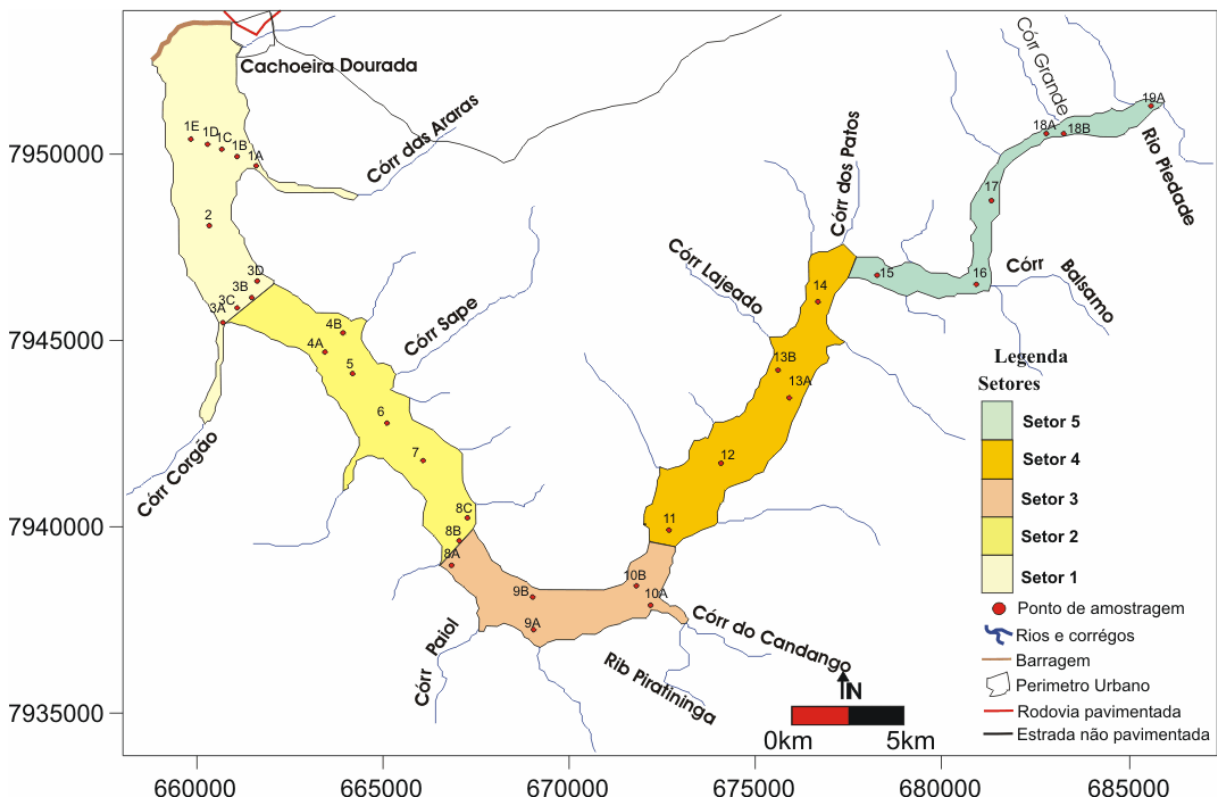


Figura 25: Divisão do reservatório em setores para análise dos resultados

Os parâmetros limnológicos medidos no primeiro e segundo levantamento a campo são apresentados nos quadros 7 e 8. O parâmetro concentração de

sedimentos em suspensão (CSS) foi definido como o conjunto de partículas em suspensão filtradas por uma malha de 45 µm de acordo com a proposta de Wetzel e Likens (1991) conforme descrito no item 5.5. De acordo com Pereira Filho (1988 e 2000), Novo e Braga (1991 e 1995) em geral as partículas inorgânicas dominam amplamente esta categoria, enquanto que as orgânicas incluindo o fitoplâncton - representam uma fração menor.

Quadro 7: Parâmetros limnológicos medidos no primeiro levantamento de campo (06/02/03 e 07/02/03 - período úmido).

PONTO	LAT(m)	LONG(m)	CSS – mg/l	SEC cm
1A	661757,9	7949523	14,2	1,08
1B	661308,3	7949790	8,8	1,17
1C	660903,1	7949984	9,2	1,17
1D	660536,8	7950100	9	1,13
1E	660031,7	7950300	6,4	1,15
2	660509,1	7947941	8,8	1,15
3A	660847,6	7945244	15,2	0,95
3B	661041,9	7945710	6,4	1,08
3C	661680,2	7946027	8	1,05
3D	661752,3	7946454	8,8	1,09
4A	663334,1	7944384	8	1,04
4B	664027,9	7945055	7,2	1,06
5	664272,1	7943917	8,8	1,06
6	664788,3	7943213	8	1,02
7	665298,9	7942369	11,6	1
8A	666880,7	7939344	14,4	0,92
8B	667063,9	7939921	11,6	1
8C	667385,8	7940510	14,4	0,93
9A	669134,1	7937013	19,2	0,82
9B	668995,4	7938029	18,6	0,83
10A	672453,1	7937790	21,8	0,69
10B	671892,6	7938312	20,2	0,76
11	672802,8	7939771	9,6	0,95
12	673985	7941242	8,4	0,92
13A	676182,9	7943651	13,2	0,88
13B	675489,1	7943895	11,6	0,94
14	676749	7945677	17,6	0,93
15	678230,9	7946720	10,4	0,93
16	680306,7	7946365	11,2	0,97
17	681361,2	7948791	19	0,89
18A	682798,7	7950356	18,8	0,79
18B	683048,5	7950317	19	0,75
19A	685707,1	7951049	20	0,76

Quadro 8: Parâmetros limnológicos medidos no segundo levantamento de campo (03 e 04/05/05 – período seco).

PONTO	LAT(m)	LONG(m)	CSS – mg/l	SEC cm
1A	659418	7951889	6,4	0,95
1B	659920,1	7952173	6,3	0,95
1C	660439	7952625	2,4	0,98
1D	660840,7	7952960	2,8	0,98
2A	661476,8	7949646	9	0,82
2B	660472,5	7949796	4,8	0,95
2C	659752,7	7949696	3,6	0,95
3A	660907,7	7945444	7,6	0,85
3B	661560,5	7946365	6,8	0,95
4A	663452	7944490	15	0,75
4B	663786,7	7945444	11,6	0,8
5A	664774,3	7942097	17,2	0,65
5B	665109,1	7943486	17,6	0,72
6	666096,6	7941779	5,6	0,95
7A	666548,6	7940021	6,4	0,95
7B	667352	7940306	4,4	0,98
8A	667887,7	7937494	18,8	0,65
8B	668172,2	7938565	19,2	0,7
9A	669410,9	7936924	19,4	0,65
9B	670214,3	7937946	18	0,63
10A	672457,3	7937879	21,2	0,38
10B	671955,1	7938732	20,8	0,4
11	673394,7	7941477	6,4	0,9
12A	675620,9	7942180	5,6	0,92
12B	674884,4	7942666	4,8	0,92
13	676223,5	7944457	12,8	0,75
14A	677093,9	7945997	10,4	0,85
14B	676625,2	7946248	16	0,65
15A	679035,6	7946214	6,8	0,9
15B	678951,9	7946633	6	0,94
16	680240,7	7946332	6,4	0,9
17	681144,6	7947219	12,4	0,83
18	681462,6	7949160	17,8	0,8
19	682467	7950165	16,8	0,8
20	683621,9	7950550	18,6	0,7
21	685011,2	7950734	19,2	0,72

A visibilidade da água foi avaliada a partir da utilização do disco de secchi (SEC). Os valores de visibilidade obtidos com o SEC expressam uma relação direta com a transparência da água, sendo que quanto menor for a transparência da água, menor será a profundidade em que é possível a visualização do disco, devido a maior dispersão da luz. Por outro lado, o valor obtido por este método é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e ao coeficiente de atenuação da irradiância (Esteves, 1988; Kirk, 1996).

De acordo com os dados limnológicos estudados e destacados nos quadros 7 e 8, é possível perceber uma diferença na visibilidade da água entre os valores de máxima e mínima visibilidade no período úmido e seco. Enquanto o valor máximo alcançado nas amostras do período úmido foi de 1,17 m, no período seco o valor foi de 0,98 m. O menor valor encontrado no período úmido foi de 0,69 m e no período seco, 0,4 m. Os resultados encontrados não eram esperados, pois no período seco deveria ocorrer maior visibilidade na água, mas tal fato é explicado devido a coleta dos dados por diferentes observadores.

Conforme Dekker (1993), a presença de altos valores de concentração de CSS provoca maior turbidez na água, impedindo a penetração da luz, fato este comprovado em Cachoeira Dourada quando se correlaciona a CSS e a visibilidade da água, demonstrando que a compreensão dos padrões de distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e visibilidade da água a partir de dados de disco de secchi em reservatórios são fortemente regulados pela descarga fluvial, representando, portanto, uma das condições necessárias para o entendimento de outros processos existentes nos corpos de água lânticos segundo Pereira Filho (2000).

Os parâmetros texturais das amostras obtidas no primeiro e segundo levantamento a campo são apresentados nos quadros 9 e 10. Tais parâmetros foram utilizados para os sedimentos de fundo do reservatório, para se avaliar as características da morfologia de fundo do lago. Estas informações possibilitaram um conhecimento da superfície de fundo, e representa as informações básicas a discussões do contexto deposicional.

De modo geral os dados obtidos (quadros 9 e 10) indicam que os sedimentos do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG apresentam heterogeneidade textural e podem ser agrupados em três tipos principais: argila, silte e areia.

Siltes e argilas ocorrem entre a barragem e o córrego do Corgão. O material de granulação mais grossa (areia média a grossa) é depositado principalmente na desembocadura do rio Piedade.

No geral predomina o material classificado como pobremente selecionado e muito pobremente selecionado em ambos os períodos, apresentando assimetria positiva e negativa, silte e areia.

Quadro 9: Parâmetros texturais obtidos nas análises granulométricas das amostras do primeiro levantamento de campo (06/02/03 e 07/02/03 – período úmido)

Pontos	Diâmetro Médio	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1A	5.02	1.72	0.48	1.93	0	29	58.43	12.57
1B	6.62	2.32	-0.47	1.01	0	15	47.63	37.37
1C	5.82	1.93	0.33	0.60	0.7	19.01	56.36	23.91
1D	7.58	1.19	-0.46	0.78	0	1.60	49.01	49.38
1E	5.77	2.25	0.01	0.66	0	31.81	44.79	23.4
2	5.75	2.73	-0.42	0.67	0	25.87	38.16	35.97
3A	7.62	1.44	-0.57	1.13	0	9.45	39.65	50.9
3B	6.14	2.13	-0.15	0.52	0	29.95	35.53	34.52
3C	2.09	0.61	0.41	1.09	0	96.45	1.66	1.88
3D	6.04	2.17	-0.12	0.54	0	33.72	35.32	30.96
4A	2.95	0.42	0.40	1.07	0	96.36	1.48	2.15
4B	7.66	1.36	-0.57	1.22	0	5.2	40.92	53.88
5	2.30	1.28	0.44	3.30	0	90.45	4.32	5.22
6	3.40	1.10	0.45	3.30	0	85.57	8.32	6.09
7	6.84	1.74	-0.32	0.71	0	7.48	53.25	39.26
8A	4.03	2.07	0.82	5.52	0	77.31	9.23	13.46
8B	4.74	2.20	0.49	0.56	0.01	52.61	38.85	8.52
8C	7.47	1.26	-0.43	0.78	0	1.03	51.85	47.11
9A	2.28	1.02	0.37	2.22	0	92.95	4.53	2.519
9B	4.36	2.56	0.74	0.60	0.6	67.91	11.89	19.6
10A	2.29	1.24	0.49	4.13	0	90.66	4.49	4.84
10B	5.71	1.94	0.51	0.56	0	18.81	54.09	27.11
11	6.54	2.43	-0.62	1.29	0	16.93	41.26	41.8
12	2.12	0.55	0.34	1.07	0	95.86	1.78	2.34
13A	5.03	2.15	0.60	0.71	0.2	51.29	31.78	16.73
13B	3.95	3.71	0.01	0.51	0	51.13	18.38	30.49
14	1.63	0.61	0.03	1.5	0.07	97.07	1.39	1.46
15	1.48	0.76	0.04	1.88	0	95.1	4.053	0.84
16	6.30	2.00	-0.09	0.60	0.03	17.25	46.06	36.65
17	5.10	2.04	0.71	0.78	0	55.54	27.46	17
18A	0.96	0.84	0.12	1.01	0.02	96.37	1.67	1.92
18B	0.59	0.87	-0.13	1.38	8.1	90.75	1.07	0.04
19	2.34	0.52	0.11	1.14	0	95.92	2.11	1.9

Quadro 10: Parâmetros texturais obtidos nas análises granulométricas das amostras do segundo levantamento de campo (03 a 04/05/05 - período seco).

Pontos	Diâmetro Médio	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1A	7.36	1.91	-0.73	1.28	0.76	13.58	24.19	61.47
1B	6.73	2.32	-0.78	0.54	0	26.13	11.87	62
1C	7.84	1.41	-0.65	1.91	2.10	5.98	24.25	67.66
1D	7.38	1.85	-0.73	1.23	0	12.17	24.73	63.1
2A	7.20	2.5	-0.75	2.01	8.62	4.33	32.73	54.32
2B	7.16	1.72	-0.57	0.71	0.02	7.97	43.42	48.58
2C	6.81	2.21	-0.73	0.64	0	22.54	25.02	52.44
3A	6.44	2.54	-0.62	0.73	0	23.53	30.97	45.5
3B	7.13	1.76	-0.65	0.64	1.14	4.15	43.37	51.33
4A	4.9	2.94	0.32	0.86	9.28	49.3	17.02	24.4
4B	7.61	1.52	-0.69	1.46	0.47	6.15	27.7	65.67
5A	7.48	1.59	-0.68	0.99	0	6.85	31.4	61.74
5B	7.44	2.30	-0.71	1.90	6.40	5.06	35.21	53.32
6A	7.15	1.62	-0.53	0.69	0	2.88	51.48	45.63
7A	6.14	2.46	-0.30	0.69	0	25.06	34.46	40.49
7B	5.88	2.39	-0.14	0.59	0	33.3	33.14	33.56
8A	6.85	2.37	-0.78	1.0	0.17	18.05	23.28	58.5
8B	2.48	0.49	-0.02	1.24	2.29	95.42	1.43	0.85
9A	4.00	3.01	0.42	1.40	6.30	67.14	11.35	15.2
9B	5.99	2.25	-0.02	0.61	0	28.69	36.97	34.34
10A	6.19	0.44	0.03	0.98	1.74	97.88	0.37	0
10B	2.19	2.32	-0.22	0.67	0.44	22.89	36.96	39.7
11A	4.58	2.52	0.51	2.89	1.59	75.16	7.55	15.69
11B	6.22	2.25	-0.26	0.58	1.37	27.46	31.71	39.45
12A	2.55	0.84	-0.49	3.28	5.53	91.99	2.13	0.33
12B	4.06	2.74	0.50	1.25	3.06	67.45	15.44	14.04
13	5.29	2.40	0.31	0.58	0.10	43.18	29.86	26.85
14A	4.58	2.34	0.63	1.82	0	74.62	9.70	15.67
14B	2.52	0.70	0.02	0.94	0.07	97.36	2.47	0.09
15B	4.77	2.39	0.56	1.0	0.51	65.39	17.2	16.88
15A	2.01	0.49	0.16	1.04	0	98.24	1.14	0.62
16	6.32	1.72	0.26	0.57	0	2.55	63.85	33.59
17	1.90	0.37	0.24	1.12	0	100	0	0
18	4.95	2.37	0.51	0.70	0.32	51.1	27.75	20.83
19	-0.75	-0.45	-0.20	0.73	100	0	0	0
20	1.53	0.49	-0.16	1.15	0.09	99.9	0	0
21	1.91	0.59	0.21	1.22	0	97.84	1.23	0.92

6.2.1 - Análise da sedimentação no reservatório na sua totalidade

O reservatório da usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada foi projetado para ter um volume de armazenamento de água de $519 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Brazilian Committee on Dams - CBDB, 2002) e gerar 658 MW de energia. O volume total de armazenamento calculado com base nas cartas topográficas (CELG, 1983) foi de $504 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $310 \times 10^6 \text{ m}^3$ pelos dados batimétricos (Quadro 11) para os anos de 1959 e 2005 respectivamente.

Quadro 11: Comparação do volume de água entre os períodos estudados.

Local	Área considerada	Volume inicial de água (aproximado)	Volume atual de água	Volume de sedimentos depositados (aproximado)
Reservatório	barragem ao rio Piedade	$504 \times 10^6 \text{m}^3$	$310 \times 10^6 \text{m}^3$	$194 \times 10^6 \text{m}^3$
Setor 1	barragem ao córrego do Poção	$180 \times 10^6 \text{m}^3$	$134 \times 10^6 \text{m}^3$	$46 \times 10^6 \text{m}^3$
Setor 2	Córrego do Poção ao córrego da Flecha	$138 \times 10^6 \text{m}^3$	$71 \times 10^6 \text{m}^3$	$67 \times 10^6 \text{m}^3$
Setor 3	Córrego da Flecha a 200m após o córrego do Candango	$74 \times 10^6 \text{m}^3$	$33 \times 10^6 \text{m}^3$	$41 \times 10^6 \text{m}^3$
Setor 4	200m após o córrego do Candango ao córrego Quebra Ferro	$86 \times 10^6 \text{m}^3$	$44 \times 10^6 \text{m}^3$	$42 \times 10^6 \text{m}^3$
Setor 5	Córrego Quebra Ferro ao rio Piedade	$26 \times 10^6 \text{m}^3$	$28 \times 10^6 \text{m}^3$	0

Estes valores não devem ser utilizados como absolutos, mas como aproximado, em virtude da diferença da datum dos dados obtidos da geração das cartas de 1959 (restituição topográfica, 1:10.000) e levantamentos batimétricos em 2003, conforme já explicado em métodos no item 5.6.

Esses dados indicam uma perda aproximada de volume na represa de 38% ou equivalente à perda de 0,68% ao ano. Pelos cálculos, dividindo-se o volume do total depositado ($504 - 310 = 194 \times 10^6 \text{m}^3$) pela área superficial do reservatório (74 km^2), obter-se-á a espessura média do depósito em torno de 2,62m - considera-se, portanto, uma deposição uniforme em toda a área. Quando se divide esse valor pelo tempo decorrido entre os levantamentos (56 anos), obtém-se a taxa de sedimentação, que foi de 4,68 cm/ano. Essa taxa é considerada alta quando comparada a outros reservatórios brasileiros estudados (Coelho, 1993; Carvalho 2000).

O setor com maior índice de assoreamento situa-se entre o córrego da Flecha e do Candango, com volume de $67 \times 10^6 \text{m}^3$. Já o setor com menor índice de sedimentação corresponde ao trecho entre o córrego Quebra Ferro e o rio Piedade, que teve um aumento do seu volume inicial em $2 \times 10^6 \text{m}^3$. Isso pode ser relacionado ao trabalho de exploração de areia e às cartas topográficas desatualizadas.

Trabalho semelhante ao desenvolvido em Cachoeira Dourada foi realizado por Vilhena *et al.* (2003) no reservatório de Funil, localizado no estado do Rio de Janeiro. Após vinte e três anos de operação, comparando-se dados topográficos da época da construção com dados batimétricos de 1992, verificou-se que o volume

total inicial do trecho estudado em 1969, que era de 82,19 milhões de m³, passou a ser de 63,74 milhões de m³ em 1992. Isso corresponde a uma perda da capacidade de armazenamento de 22,93% em 26 anos, superior, portanto, à perda de capacidade estimada em Cachoeira Dourada.

O fato de a taxa de assoreamento de Cachoeira Dourada ser menor do que a do reservatório do Funil pode ser explicado, em parte, em função do complexo de barragens construídas no rio Paranaíba e por Cachoeira Dourada estar situada a jusante dos reservatórios de Itumbiara e Emborcação. Podem ser levados em consideração, ainda, fatores como a retenção de grande parte do material particulado nos reservatórios a montante, o menor tempo de retenção da água no reservatório e o fato de a área circundante possuir maior quantidade de solo coberto.

Por intermédio da análise dos dados limnológicos obtidos do reservatório (Figuras 26, 27, 28 e 29, quadros 7 e 8), verificou-se que o lago da usina apresenta áreas mais homogêneas no período úmido e menos homogêneas no período seco.

A principal área de aporte de material em suspensão localiza-se entre os córregos do Paiol e do Candango, oriundo do material erodido das formações Vale do Rio do Peixe e Serra Geral conforme o substrato rochoso da área. Os maiores índices da CSS e os menores índices de visibilidade SEC foram verificados na desembocadura do ribeirão Piratininga e do córrego do Candango, que transportam materiais predominantemente oriundos das formações Vale do Rio do Peixe e Serra Geral.

Entre o córrego do Bálsamo e o rio Piedade encontra-se o segundo trecho de maior índice de material em suspensão, possivelmente devido à ressuspensão do material de fundo pelo processo de extração de areia pelas dragas e também devido à entrada de material carregado pelo rio Piedade proveniente de alteração das rochas das formações Vale do Rio do Peixe, Marília e Serra Geral.

Os menores valores da CSS e os maiores valores de visibilidade da água foram identificados entre o barramento e o córrego do Corgão devido aos seguintes fatores: menor velocidade de escoamento da água proporcionada pelo aumento da seção transversal; a construção do reservatório e possível suavização da topografia de fundo; relacionada ao processo de assoreamento. Quando se confrontam os dados limnológicos e granulométricos, verifica-se que esse trecho do reservatório é a principal área de deposição do material particulado fino.

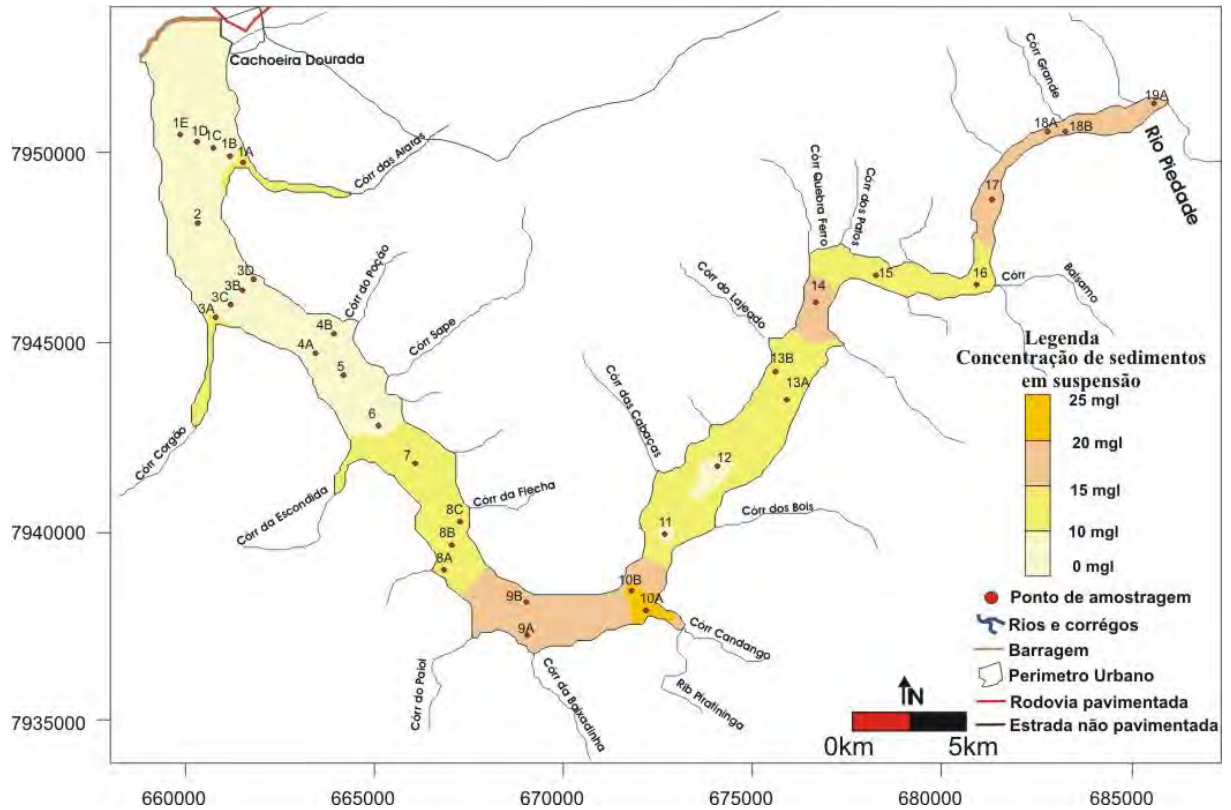


Figura 26: Distribuições dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período úmido.

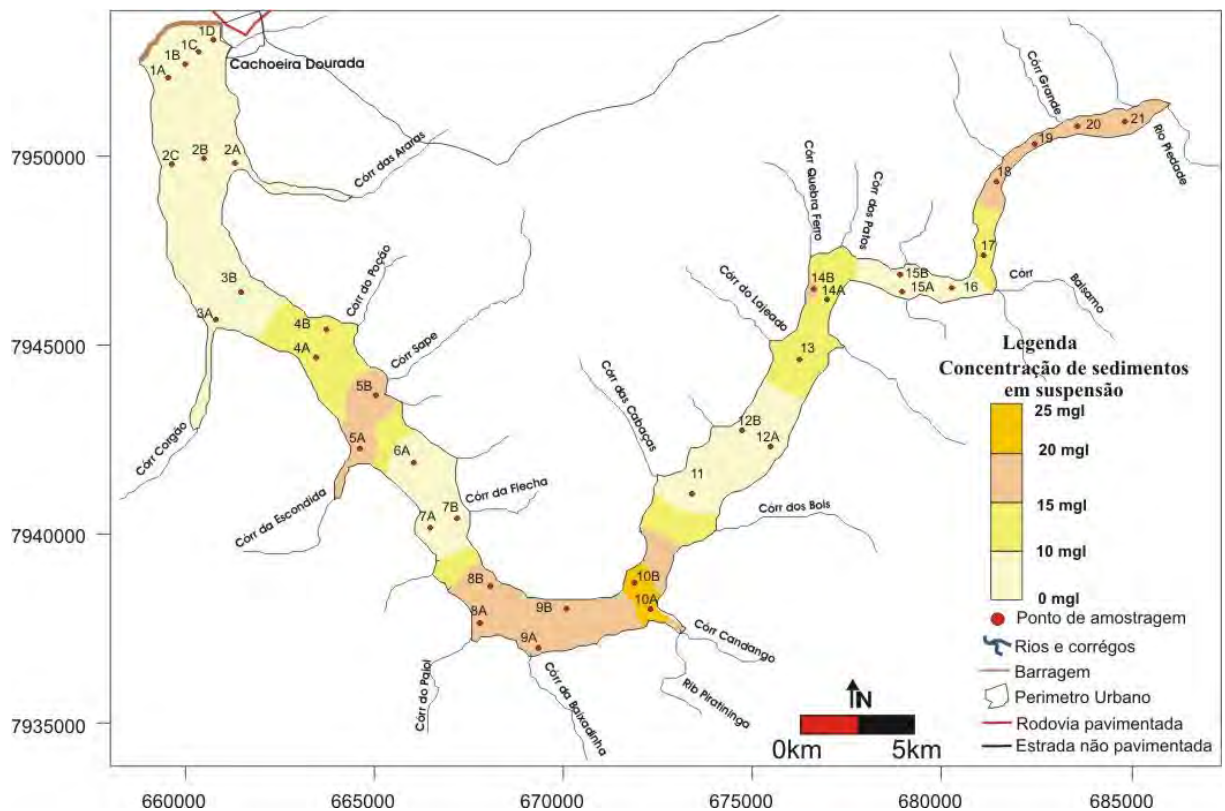


Figura 27: Distribuições dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período seco.

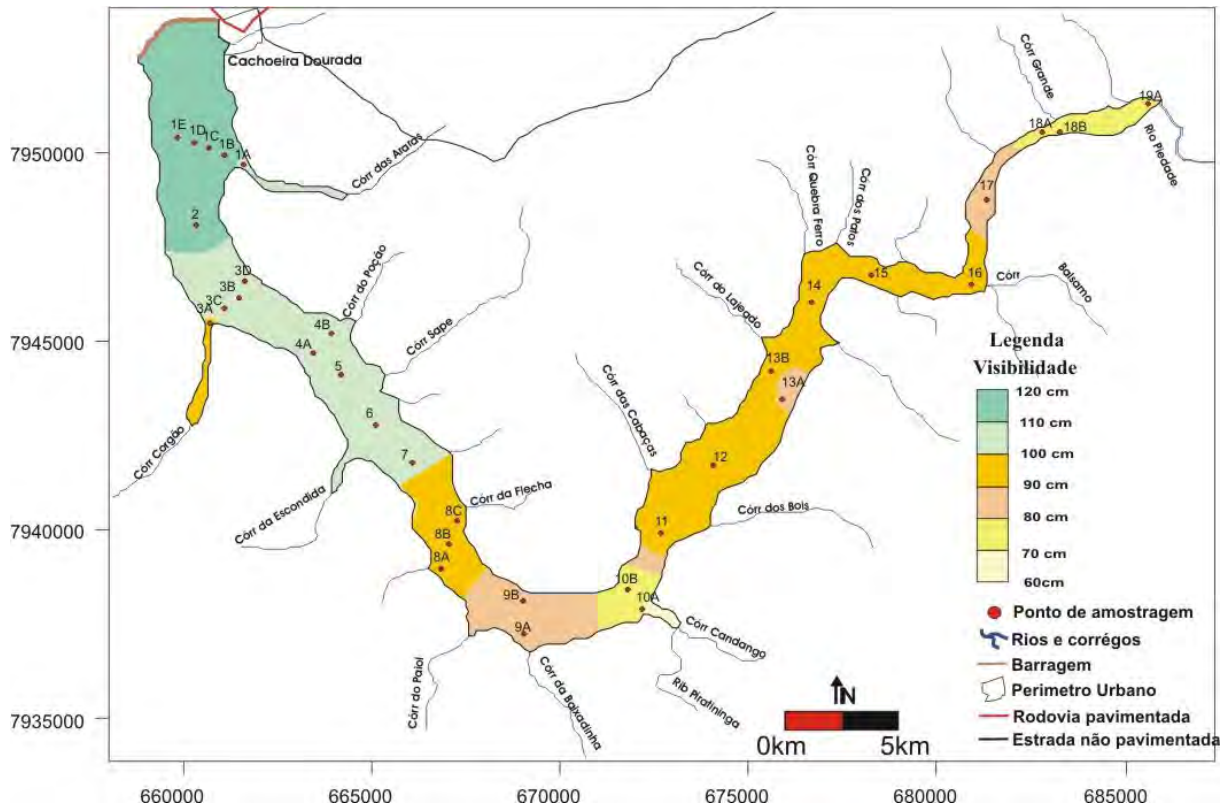


Figura 28: Distribuições dos valores de visibilidade d'água no reservatório, referente a amostragem no período úmido.

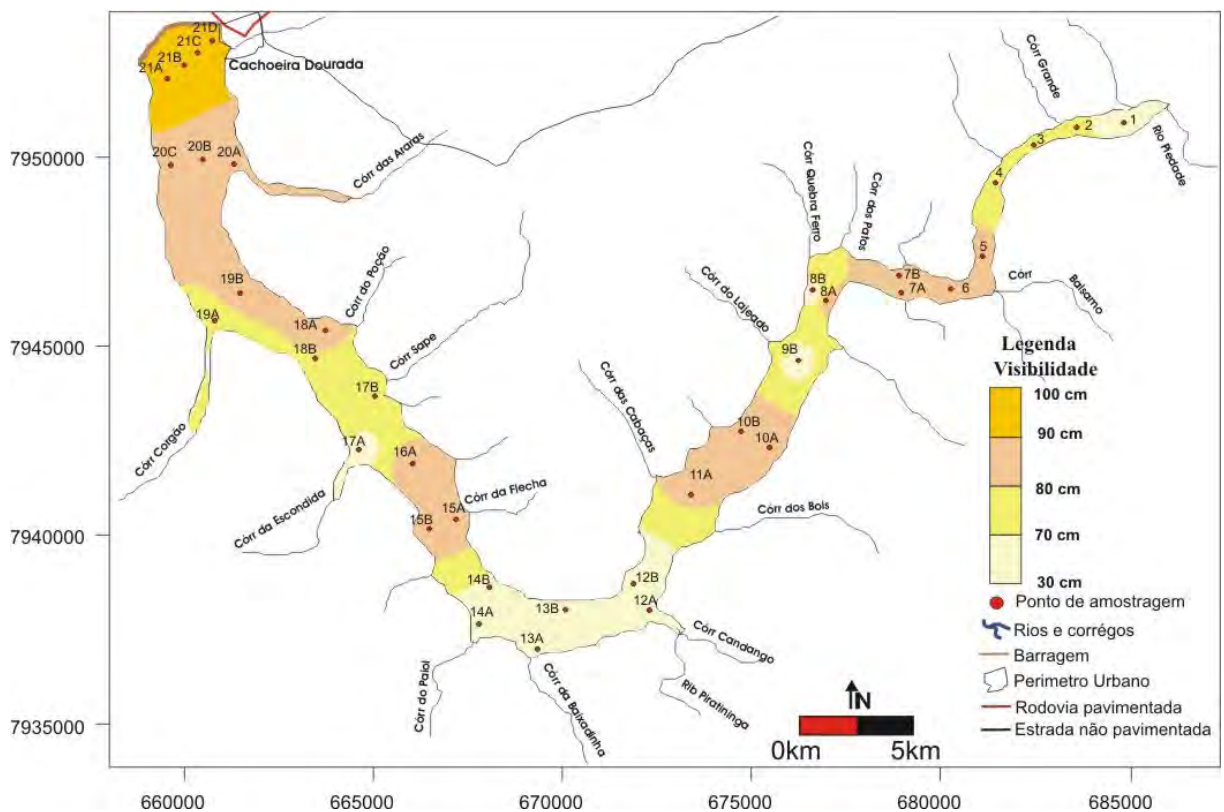


Figura 29: Distribuições dos valores de visibilidade d'água no reservatório, referente a amostragem no período seco.

Os valores de visibilidade da água verificados no período úmido oscilaram entre 60 e 120 cm, enquanto que no período seco esta oscilação foi de 30 a 100 cm. A diferença de visibilidade poderia estar relacionada à acuracidade de cada observador, pois pessoas diferentes fornecem distintos valores de profundidade.

Todavia a diferença de visibilidade da água não influenciou na correlação dos dados, pois a CSS foi inversamente proporcional à visibilidade da água, sendo importante na relação direta com a transparência da água, que é fundamental para a reprodução da vida no ecossistema aquático e uma avaliação indireta da turbidez de corpos d'água, sendo inversamente correlacionada com a concentração de partículas dissolvidas e em suspensão na água como foi constatado também em estudos desenvolvidos por Braga (1998) e Pereira Filho (2000).

Esta diferença de visibilidade na água em ambos os períodos pode ser explicada pela existência de maior quantidade de solos expostos próximos ao reservatório no período de colheita, pela velocidade do vento, que foi mais forte em relação ao primeiro trabalho a campo, criando ondas e erodindo às margens do lago; pela variação da vazão restituída pela barragem ao longo dos dias da semana, à medida que a geração de energia acompanha as variações da demanda pelos consumidores, pela diminuição dos índices pluviométricos sobre a bacia do reservatório, e turbilhonamento na água proporcionado pela extração de areia.

As amostras localizadas na área de influência das águas do ribeirão Piratininga e do córrego do Candango apresentaram os menores índices de visibilidade da água (69 cm) e as maiores concentrações de sedimentos em suspensão em ambos os períodos, enquanto os menores valores da CSS e os maiores valores de visibilidade da água ocorreram entre o barramento e o córrego das Araras.

Considerando-se as condições do período de chuva, observa-se que a CSS e a visibilidade da água se comporta de forma integrada. A baixa transparência da água registrada pela profundidade do disco de Secchi em algumas áreas também é identificada pelo aumento da CSS. Casos semelhantes foram constatados por Novo e Braga (1991, 1995) nas amostras de água do reservatório de Barra Bonita, São Paulo.

No reservatório de Cachoeira Dourada, pode-se dizer que as concentrações de sedimentos em suspensão e a visibilidade da água variaram de acordo com a

influência das descargas de águas vindas dos rios afluentes, com a intensidade pluviométrica na bacia.

Situação semelhante à de Cachoeira Dourada foi verificada por Cabral (2001, 2003) em relação ao elevado índice de CSS no reservatório de Barra Bonita. De acordo com a pesquisa, isso está relacionado aos sedimentos das áreas agrícolas próximas ao reservatório, assim como aos dejetos industriais e esgotos domésticos do município de Anhembi, carreado pelo córrego dos Remédios e pelo rio do Peixe.

Quanto à relação existente entre os parâmetros estudados, foi constatada uma alta correlação entre a CSS e a visibilidade da água em todo o reservatório (Figuras 30 e 31); encontrou-se um coeficiente de determinação de 0,73 no período no período úmido e 0,81 no período seco.

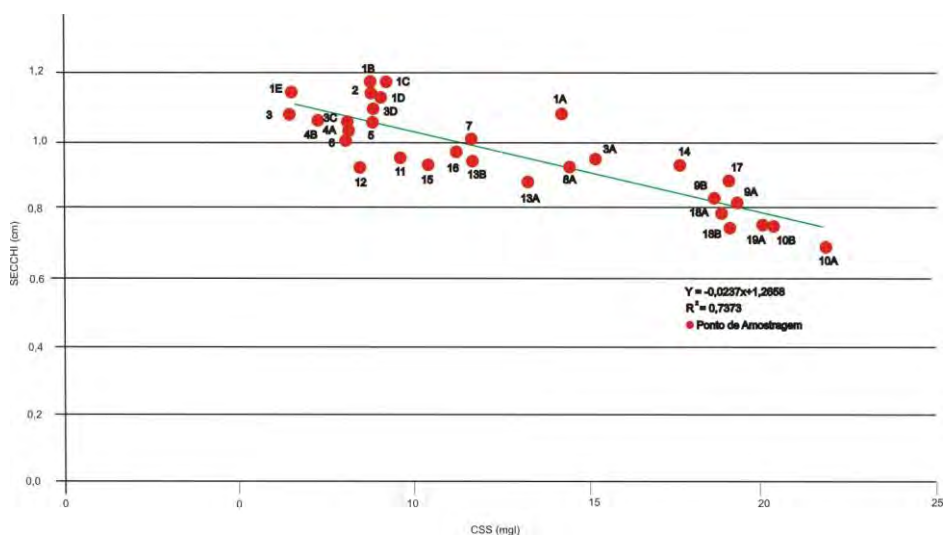


Figura 30: Gráfico de Correlação entre medidas de turbidez e CSS referente ao período úmido.

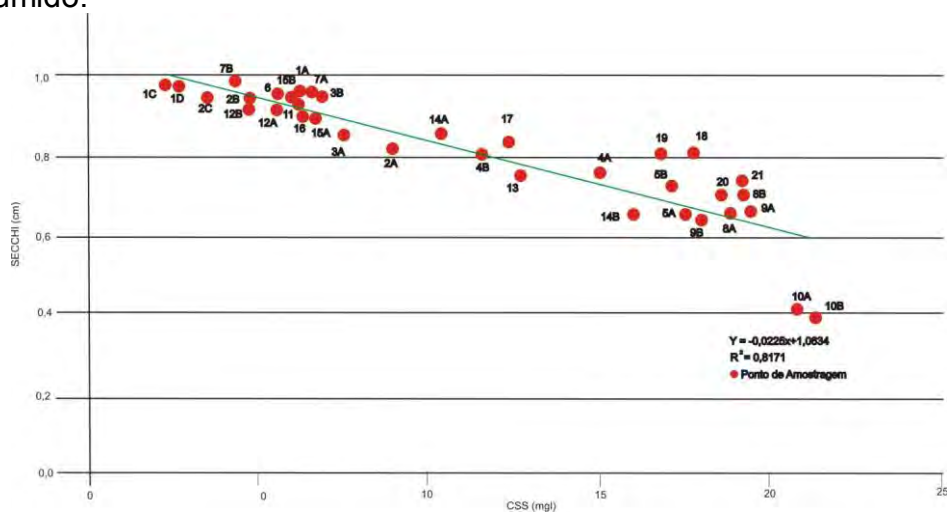


Figura 31: Gráfico de correlação entre medidas de turbidez e CSS referente ao período seco.

Entre as variáveis limnológicas estudadas, a CSS apresentou maiores variações entre os compartimentos no período chuvoso, em que o coeficiente de variação foi de 53%. Isso define duas situações em relação a esta variável: um conjunto de áreas com concentração inferior a 10 mg/l e outro com concentração superior a 15 mg/l. Pereira Filho (2000) encontrou valores de 84% no coeficiente de variação do reservatório de Tucuruí, ocorrendo duas situações em relação a esta variável, um conjunto de áreas com concentração inferior a 3 mg/l e outro conjunto com concentração maior do que 8 mg/l da CSS para o período chuvoso.

Quanto aos parâmetros limnológicos estudados, no contexto geral em que se encontra o reservatório em relação aos segmentos inundados do rio, é possível afirmar que o principal setor de um ecossistema lêntico, ocorre entre o barramento e córrego do Corgão, sofrendo pouca influência dos reservatórios de Itumbiara e Emborcação, que retêm grande parte dos sedimentos de toda a bacia do rio Paraná íba devido se encontrarem a montante. Outro fator que pode ser considerado e que nesse setor do lago encontram-se as maiores seções transversais, as menores velocidades de escoamento da água e a deposição de material pelítico. Com isso, grande parte da água que chega nesse trecho do reservatório de Cachoeira Dourada já passou pelo processo de precipitação do material particulado em suspensão. Assim, tem-se maior disponibilidade de luz neste trecho, o que reflete em valores mais elevados para os parâmetros medidos com disco de Secchi e valores menores para a CSS.

Os menores valores de CSS e SEC para o trecho compreendido entre o córrego do Candango e o córrego dos Patos em relação ao trecho posterior podem ser relacionados ao aumento da seção transversal, à diminuição da velocidade de escoamento e à existência de vários bancos de macrófitas aquáticas. Apresentam-se, assim, indícios de que o material particulado fino proporcionado pelos rejeitos da exploração da areia seja retido neste trecho.

De um modo geral, os valores encontrados para a CSS e a visibilidade da água em todo o reservatório podem ser considerados baixos devido à área do entorno apresentar fraca declividade, em torno de 3 a 8% (CELG, 1984), fazendo com que os aportes de sedimentos até o lago sejam em menor escala em relação aos relevos mais íngremes, como verificado por Cabral (2001) no reservatório de Barra Bonita. Da mesma forma, ocorre a retenção do material particulado,

transportado pela bacia do rio Paranaíba, devido à existência dos reservatórios a montante (Itumbiara e Emborcação).

Os maiores valores da CSS são proporcionais aos índices pluviométricos corridos na bacia em relação ao aporte para a descarga fluvial. Esse exerce maior influência sobre o reservatório no período úmido. Esse tipo de correlação não descarta a possibilidade de que volumes menores com frequência maior não exerçam certa influência, simplesmente esses possuem uma atuação mais discreta.

Já a presença de macrófitas aquáticas verificadas no reservatório de Cachoeira Dourada está relacionada ao grau de eutrofização do lago (qualidade da água), que está usualmente associado ao uso do solo predominante na bacia hidrográfica. A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água. O principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo (Thomann e Mueller, 1987).

Segundo Pereira Filho (2000), as macrófitas aquáticas podem ocorrer em locais de "paliteiros", denominação dada às árvores mortas devido à inundação que servem de apoio à fixação das plantas aquáticas, podendo influenciar o ecossistema e atenuar a turbulência da água, que funciona como um filtro do material alóctone. Esse tipo de ecossistema foi verificado entre os córregos do Candango e do Bálsamo. O aparecimento das plantas aquáticas no setor 4 do lago do reservatório de Cachoeira Dourada pode ser associado em maior intensidade à ocupação da sua bacia para práticas agrícolas e pecuaristas.

Segundo Sperling (1996), a retirada da vegetação natural da bacia para ocupação por agricultura e pecuária representa, usualmente, uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água. Os vegetais plantados na bacia são retirados para consumo humano e animal. Com isto, há uma retirada, não compensada naturalmente, de nutrientes, causando uma quebra no ciclo interno dos mesmos. Para compensar esta retirada e para tornar a agricultura mais intensiva, são adicionados fertilizantes artificialmente, isto é, produtos com elevados teores dos nutrientes nitrogênio e fósforo. Os agricultores, visando garantir uma produção elevada, adicionam quantidades elevadas de N e P, freqüentemente superiores à própria capacidade de assimilação dos vegetais

A substituição das matas por vegetais agricultáveis pode causar também uma redução da capacidade de infiltração no solo. Assim, os nutrientes, já adicionados em excesso, tendem a escoar superficialmente pelo terreno até atingir, de forma eventual, o reservatório.

O aumento do teor de nutrientes no corpo d'água causa um certo aumento do número de algas e, em consequência, dos outros organismos situados em degraus superiores da cadeia alimentar, culminando nos peixes. Esta elevação relativa da produtividade do corpo d'água pode ser até bem-vinda, dependendo dos usos previstos para o mesmo. O balanço entre os aspectos positivos e negativos dependerá, em grande parte, da capacidade de assimilação de nutrientes do corpo d'água.

A infestação elevada nos reservatórios de usinas hidrelétricas por plantas aquáticas que apresentam alta capacidade de propagação e de produção de biomassa gera uma situação em que a necessidade de medidas preventivas e mitigadoras de controle tornam-se indispensáveis, pois muitos problemas estão relacionados com o desenvolvimento em massa de macrófitas aquáticas. Por exemplo, o aparecimento de doenças nas populações ribeirinhas, a deterioração da qualidade da água pela grande produção, a decomposição de matéria orgânica, o impedimento da pesca, do tráfego de embarcações, o entupimento de canais de irrigação e o impedimento de atividades turísticas.

Quanto ao processo de assoreamento, as macrófitas podem colaborar com a formação de ilhas, causando a retenção de sedimentos, reduzindo e até impedindo o fluxo de água. As macrófitas podem ser retidas nas grades de proteção das turbinas da Usina Hidrelétrica, como aconteceu em UHE Souza Dias. Isso pode ocasionar o entupimento das grades de tomadas d'água e, conseqüentemente, a diminuição da produção de energia elétrica. Tal fato foi comprovado por Tanaka (1998) como algo que se deve à alta produção de biomassa dessas populações de plantas.

Dentre os métodos de controle da proliferação de macrófitas aquáticas, destacam-se: 1) o controle mecânico, realizado por meio de colheitas mecânicas ou manuais, queimadas, sombreamento, alteração do nível da coluna d'água, corantes que limitam a penetração de luz, entre outros; 2) o controle biológico, alcançado por meio de manejo de predadores ou parasitas (peixes, fungos, insetos e bactérias); 3) o controle químico, realizado por meio de herbicidas sistêmicos ou de contato, seletivos ou de largo espectro de absorção (Thomann e Mueller, 1987).

Quanto à análise estatística dos sedimentos de fundo do lago da usina de Cachoeira Dourada, a mesma foi realizada com o intuito para se discriminar os possíveis ambientes deposicionais.

Ponçano *et al.* (1976) destacam a importância do estudo do diâmetro médio como medida de tendência central mais importante na caracterização dos sedimentos, pois, além de caracterizar a distribuição granulométrica da área de estudo, fornece uma primeira indicação global a respeito das energias envolvidas nos processos deposicionais.

A análise da distribuição dos sedimentos no fundo do lago revelou nítida diferenciação espacial do diâmetro médio (Figuras 32 e 33). Na Figura 32, nota-se que, no período úmido (maior intensidade de chuva), a variação da distribuição dos sedimentos arenosos se dá preferencialmente do rio Piedade (sedimentos mais grossos) até as proximidades do córrego do Corgão, onde passam a predominar os sedimentos mais finos. Já no período seco (menor intensidade de chuva) (Figura 33), esta variação se dá preferencialmente do rio Piedade ao córrego do Paiol. Esse padrão de distribuição parece estar relacionado à localização das áreas-fonte arenosas ativas presentes na bacia do reservatório e aos aportes fluviais a que estão sujeitas.

Na primeira amostragem a campo, o diâmetro médio dos sedimentos variou entre silte muito fino e areia grossa (0,59 e 7,6 ϕ respectivamente) e, na segunda amostragem a campo, entre silte muito fino e areia muito grossa (-0,75 a 7,8 ϕ respectivamente).

O diâmetro médio (D_{50}) pode estar diretamente associado ao nível de energia atuante nos diferentes ambientes sedimentares. Dessa forma, os ambientes com maior energia terão sedimentos mais grossos, enquanto os ambientes de baixa energia terão predominantemente partículas finas; além disso, a granulação média também está fortemente vinculada às características da área-fonte.

Em relação ao diâmetro médio dos sedimentos, no período úmido ocorre uma heterogeneidade destes, misturando os siltes-argilosos com os arenosos. Os materiais arenosos, embora possam ser transportados em suspensão dependendo da energia e do diâmetro das areias, são predominantemente transportados por arrasto no período de maior precipitação pela bacia do reservatório. Seu ponto máximo de transporte é próximo à área de influência do córrego do Corgão.

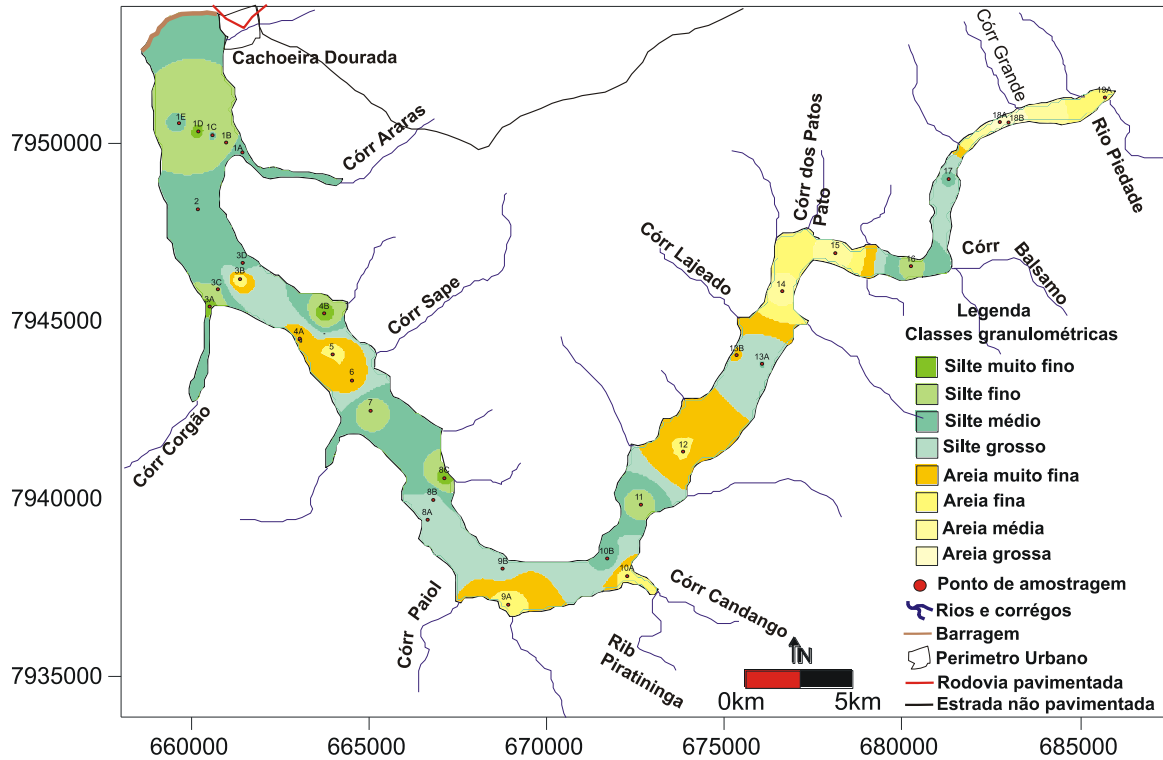


Figura 32: Distribuição dos valores da média granulométrica dos sedimentos de fundo, referente ao período úmido.

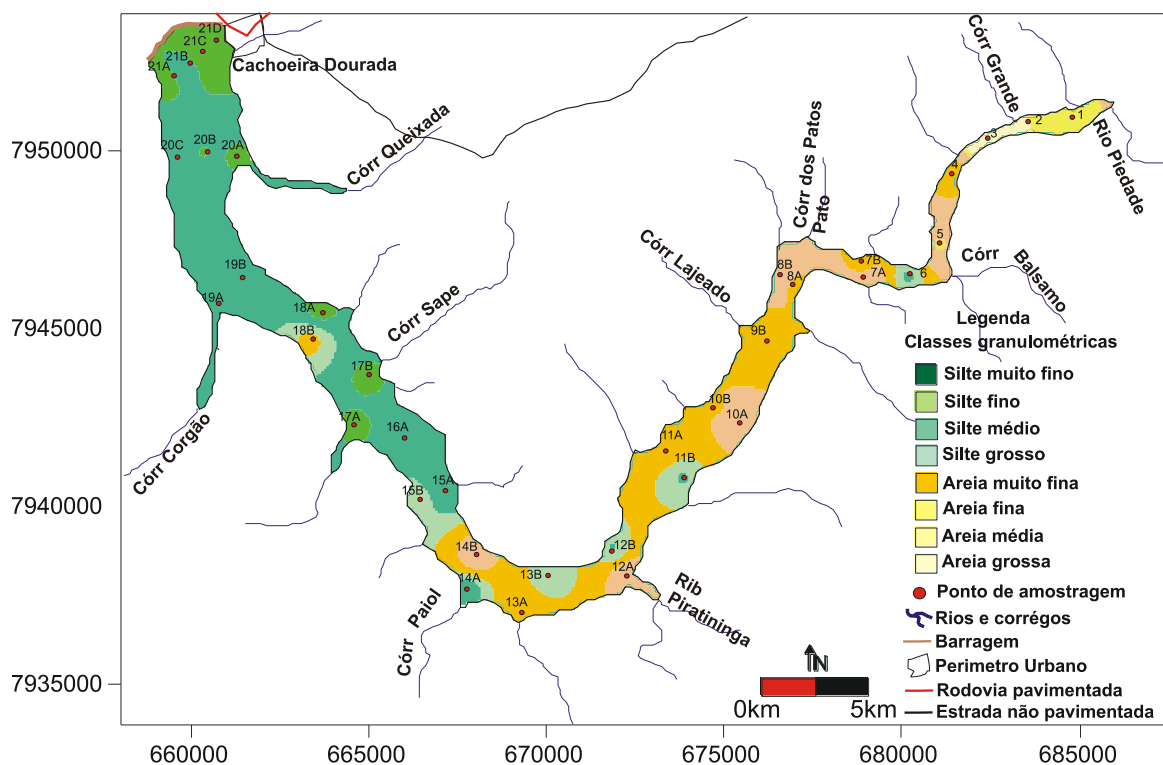


Figura 33: Distribuição dos valores da média granulométrica dos sedimentos de fundo, referente ao período seco.

Esta análise dos sedimentos em relação ao diâmetro médio demonstra que a redução da velocidade das correntes, em decorrência do estabelecimento do barramento favoreceu a deposição gradual de sedimentos ao longo dos reservatórios e diminuiu gradativamente sua capacidade de armazenamento. Além os sedimentos aportantes que não são retidos no reservatório e passam pelo vertedouro e pelos condutos podem causar abrasão nas estruturas, comportas, tubulações e turbinas.

Os mapas de distribuição de valores dos diâmetros médios (Figuras 32 e 33) mostram uma distribuição gradativa dos mais grossos para os mais finos de forma ordenada a partir da cabeceira do reservatório, para o centro.

No geral é possível destacar que entre a barragem e o córrego do Paiol ocorre o predomínio do material silte-argiloso. As areias finas a muito finas possivelmente oriundas das alterações das rochas da formação Vale do Rio do Peixe, são carregadas pelo córrego do Candango e ribeirão Piratininga e podem ser transportadas até a área de influência do córrego do Corgão. O material de granulação mais grossa é depositado principalmente nas desembocaduras do ribeirão Piratininga e do rio Piedade.

Os valores de diâmetro médio das amostras denotam com clareza as modificações no sentido do transporte da montante para jusante em ambos os períodos. As areias médias a grossas são depositadas entre o rio Piedade e o córrego do Bálamo, prevalecendo ações mais efetivas de energia mais acentuadas e às modificações de topografia de fundo pelo trabalho das dragas. Entre o córrego do Paiol e o córrego do Candango localiza-se a principal área de aporte de material arenoso fino a muito fino, pobremente selecionado e/ou pouco transportado.

Fato distinto ao de Cachoeira Dourada quanto a deposição de sedimentos foi verificado por Coelho (1993) no reservatório de Americana; este autor relacionou a tal procedimento a variação do nível do reservatório pelo modo de operação e também aos vales submersos, que impedem em certos setores a progressão da corrente de densidade e as diferentes litologias existentes na bacia.

Leite (2002) verificou que a maior distribuição da fração areia no reservatório de Americana ocorre nos meses de fevereiro, maio e novembro, e as maiores porcentagens são observadas a montante. Isso demonstra que há uma relação entre o aumento do material em suspensão que chega ao reservatório no período chuvoso e maior deposição na entrada do sistema. No período de estiagem ocorreu uma

redução nas porcentagens de areia acumuladas, com o aumento das frações silte e argila a jusante e uma diminuição nos índices pluviométricos.

Rossato *et al* (2002) ao avaliar os depósitos tecnógenos da barragem do Lomba de Sabão, em Porto Alegre, RS, verificou a partir das análises granulométricas apenas dois grandes grupos: as amostras com areia e lama (silte e argila) e as amostras com areia e cascalho. No primeiro grupo, verificou-se que as reentrâncias (“braços”) da barragem, onde o movimento da água é mais calmo, propiciando a sedimentação de areia juntamente com sedimentos mais finos. No entanto, evidenciou-se que nesta classe dominava a areia grossa (0,5 mm), indicando um transporte curto de material sedimentar, pois os grãos encontravam-se mal selecionados e de composição variada.

Entretanto Rossato *et al.* (2000) ressaltaram que o aporte de sedimentos não tinha origem somente nos processos erosivos da bacia, mas também nas áreas de bordas de lago devido aos movimentos de aumento e retração da lâmina d'água em virtude de épocas de cheias e secas que constroem e destroem terraços nas margens da represa, os quais também podem constituir fonte de sedimentos.

No segundo grupo em questão, o das areias com cascalhos, caracterizado pelas amostras retiradas ao longo das margens mais retilíneas em áreas onde a cobertura vegetal era feita basicamente por gramíneas ou onde estas eram inexistentes, constatou-se um curto período de transporte, acentuado pela inexistência de vegetação na vertente a montante.

Para Suguio (1973), o grau de seleção pode ser associado ao mecanismo de transporte das partículas no ambiente fluvial. Esse autor destaca que o grau de seleção dos sedimentos aumenta com o transporte, tendo como consequência um decréscimo das classes granulométricas mais finas em locais de maior hidrodinâmica e capacidade de transporte.

No reservatório de Cachoeira Dourada, os sedimentos de fundo apresentaram grau de seleção entre muito pobremente selecionado a bem selecionado no período úmido (0.42 Ø e 3.71 Ø) e muito pobremente selecionado e muito bem selecionado no período seco (0.45 Ø e 3.01 Ø), conforme representado nas Figuras 34 e 35. Tal característica sugere um ambiente favorável à mistura de fontes e/ou à inexistência de um mecanismo de transporte único. Numa comparação geral, verificou-se que os sedimentos classificados como bem selecionados ocorreram para as areias finas e médias localizadas nos pontos de amostragem que recebem sedimentos das áreas

de ocorrência das formações Marília e Vale do Rio do Peixe.

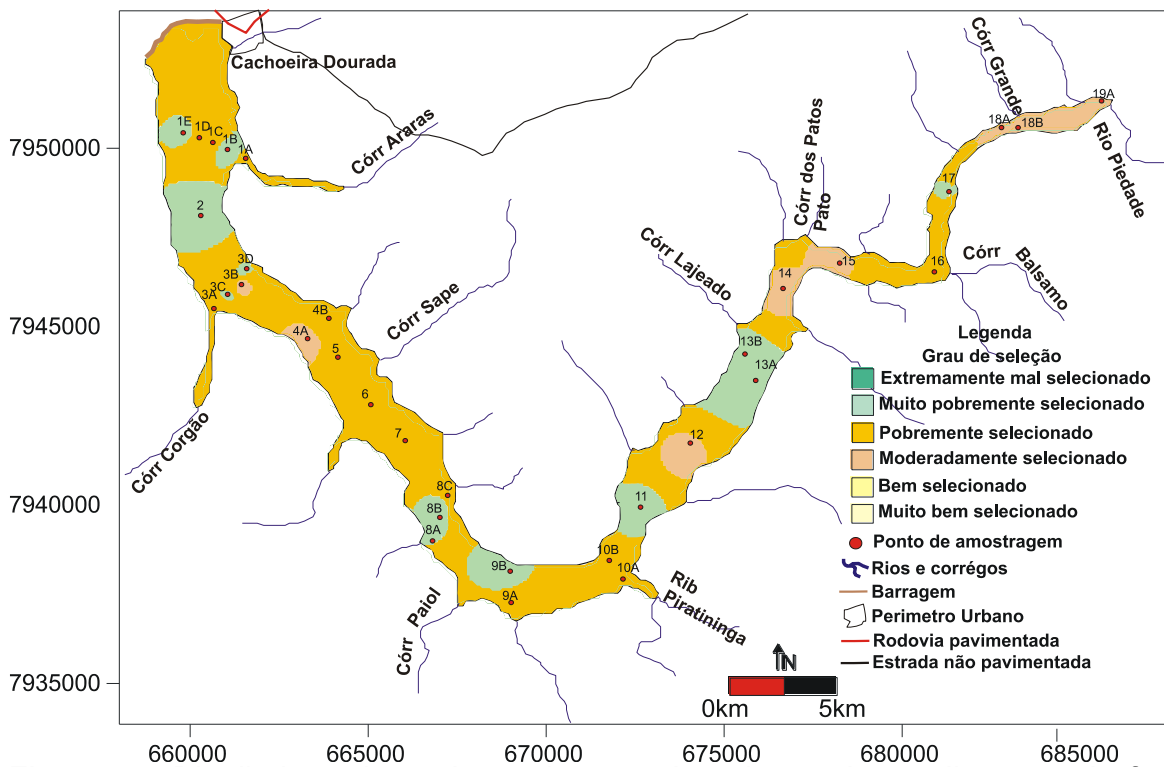


Figura 34: Distribuição dos valores do grau de seleção dos sedimentos de fundo, referente à amostragem no período úmido.

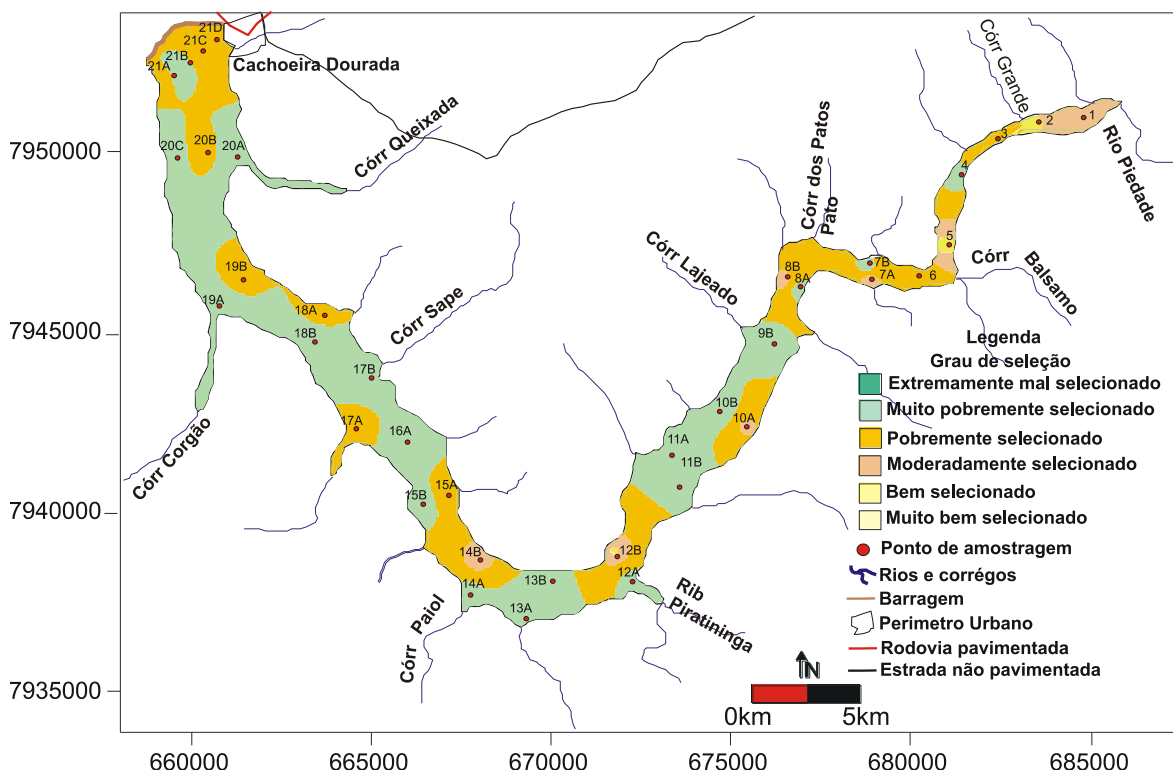


Figura 35: Distribuição dos valores do grau de seleção dos sedimentos de fundo, referente à amostragem no período seco.

Já o material muito pobremente selecionado corresponde a silte fino a grosso e pode ser relacionado aos materiais oriundos da alteração da Formação Serra Geral, que predomina na área de entorno do reservatório.

Na avaliação da distribuição espacial do grau de seleção no reservatório (Figuras 34 e 35), verifica-se que, tanto no período úmido quanto no seco, os sedimentos de fundo do lago encontram-se mal selecionados, demonstrando que a distância das áreas-fonte em relação ao reservatório não é o único fator a ser levado em consideração para que os sedimentos cheguem a atingir melhor grau de seleção (arredondamento e esfericidade).

Este pouco transporte dos sedimentos de fundo do lago pode ser relacionado à diminuição da velocidade de escoamento original do rio em relação à construção do reservatório, à resistência dos minerais a intemperização, ao aumento da seção transversal, à suavização da geometria de fundo devido ao processo de deposição de sedimentos.

No caso de Cachoeira Dourada, as diferentes fontes e características dos materiais que aportam para o corpo d'água, associadas aos valores médios anuais de erosividade e pluviosidade, à velocidade de escoamento da água, às possíveis áreas-fonte e às feições morfológicas do reservatório, fazem deste ambiente um sistema complexo quanto aos processos de sedimentação, o que explica os diferentes tipos de material sedimentado ao longo do lago.

Outros fatores que devem ser levados em consideração são as características do relevo da bacia e os solos predominantes (latossolos). Na área do reservatório de Cachoeira Dourada, predominam vertentes com declividade entre 3 e 15°, com padrão de drenagem dendrítico e relevo suavemente ondulado. Para tais situações, se recomenda apenas prática simples de conservação do solo quando existe, por exemplo, o cultivo em nível. Essa área apresenta solos com propriedades físicas boas, o que sugere que grande parte dos sedimentos produzidos pode ser retida na própria bacia (CELG, 1984; Baccaro, 1990).

Quanto os valores de assimetria, as análises granulométricas dos materiais coletados nas superfícies de fundo do lago são os que mais diferem nos períodos estudados. As avaliações feitas com base nas figuras 36 e 37 indicam que há uma deposição de sedimentos finos em maior proporção no período seco, principalmente do córrego do Paiol para o barramento do reservatório. Isso ocorre sempre nas áreas de menor movimentação de fundo, a qual é proporcionada pela menor

velocidade de escoamento da água e pela geometria de fundo suavemente plano e deve-se à deposição de sedimentos e à maior seção transversal.

No conjunto das amostras referentes aos dois períodos estudados, a assimetria variou entre -0.62σ e 0.82σ ou entre assimetria muito negativa e assimetria muito positiva. Este é um parâmetro estatístico que nos permite inferir sobre o grau de mistura de diferentes populações em um ambiente (Suguio, 1973).

Os valores de assimetria muito positiva e positiva ocorrem nos locais de deposição de material entre silte médio e areia grossa, em áreas de maior velocidade de escoamento da água e maior energia de transporte, bem como em áreas que apresentam influência do material oriundo das formações arenosas e Complexo Granítico Gnáissico.

Os valores de assimetria muito negativa e negativa ocorrem nos locais de deposição de material entre silte muito fino e silte fino e em áreas de menor velocidade de escoamento da água e maior incidência de material possivelmente originado da Formação Serra Geral.

Os sedimentos cuja curva granulométrica é aproximadamente simétrica ocorreram principalmente para as areias finas e médias, com o predomínio das frações acima de 95% em relação aos siltes e argilas. No entanto, quando classificados para silte fino e médio, os sedimentos parecem indicar um setor de mistura eqüitativa de partículas finas e grossas.

Conforme Suguio (1973), esses valores extremos verificados nas curvas granulométricas de assimetria surgem em consequência da introdução de respectivos elementos mais finos e mais grossos em relação às populações da moda principal, assumindo características de deposição e não de uma erosão de margem efetiva. Essas variações de assimetria podem ser relacionadas com processos de transporte em suspensão, saltação e arrastamento.

No geral este predomínio de classes opostas (positivas e negativas) é reflexo da diferenciação sedimentológica que ocorre na bacia do reservatório, da influencia direta dos afluentes sobre o reservatório e dos processos que neles atuam.

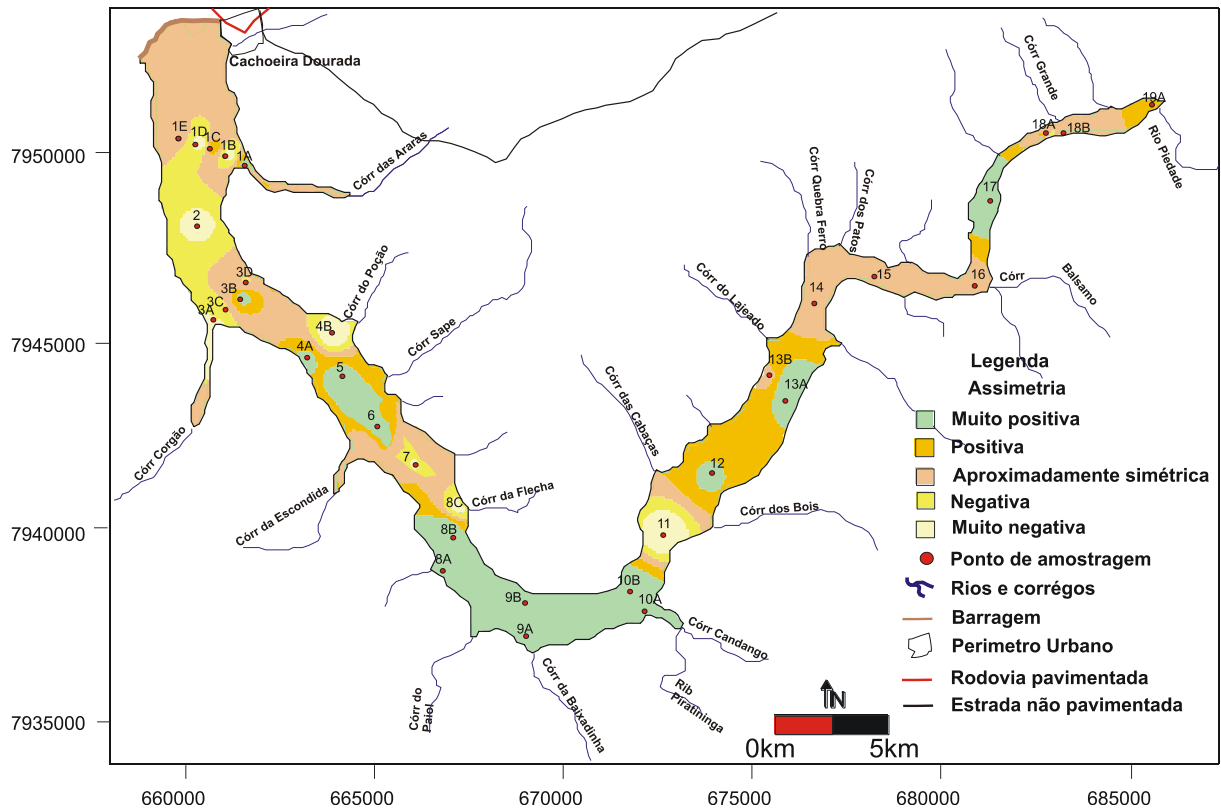


Figura 36: Distribuição dos valores do grau de assimetria, referente à amostragem no período úmido.

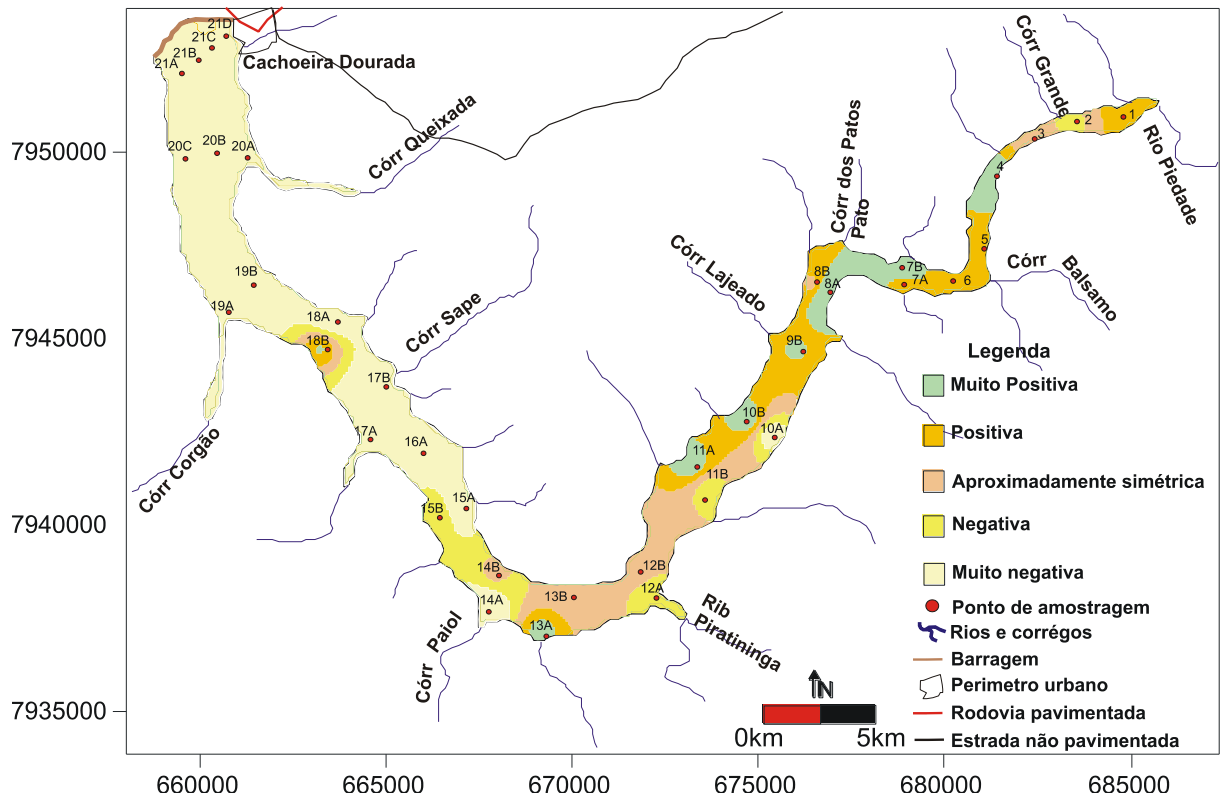


Figura 37: Distribuição dos valores do grau de assimetria, referente à amostragem no período seco.

Quanto à avaliação estatística dos dados amostrados, é possível dizer que as variações do diâmetro médio podem ser relacionadas às variações ambientais e antrópicas que ocorrem na bacia e à diferença de alguns pontos de amostragem utilizados nos levantamentos de 2003 e de 2005, o que ocasionou a obtenção da maioria das amostras em locais distintos, prejudicando a acurácia da comparação.

Na análise das Figuras 32, 33,34, 35, 36 e 37, verifica-se que o reservatório, em algumas de suas porções, como na área entre o córrego do Paiol e rio Piedade, tende a sofrer maior grau de variação temporal e espacial dos dados devido às influências das prováveis áreas-fonte em diferentes períodos do ano; tal variação poderia ser suficiente para provocar variações significativas no diâmetro médio dos grãos, como por exemplo, entre um afluente que transposta material mais arenoso e um mais argiloso. Contudo, este tipo de variação por si só não explicaria todas as mudanças que podem ser observadas na modificação do ambiente fluvial para lacustre devido às grandes modificações que podem ocorrer na dinâmica de escoamento da água no momento da erosão, transporte e deposição.

Segundo Odreski (2002), para se minimizar os efeitos de distorção dos resultados da comparação de amostragens realizadas em datas distintas, é necessário que, em levantamentos posteriores, se utilizem as malhas de amostragem previamente utilizadas nos trabalhos anteriormente realizados. No caso de haver a necessidade da implementação de uma nova malha amostral, esta precisa ser planejada de maneira regular na medida do possível, devendo seguir o mesmo espaçamento entre os pontos, promover um recobrimento uniforme da área a ser levantada, garantindo maior acurácia na interpolação das amostras e, conseqüentemente, na interpretação dos resultados.

Um fator observado nos trabalhos a campo que pode ser levado em consideração em relação ao processo de assoreamento no reservatório é a falta de vegetação natural nas margens do reservatório (Figura 38 A e B), principalmente entre o barramento e o ribeirão Piratininga. A preservação e manutenção das matas ciliares evitam o carreamento dos detritos sólidos erodidos levados com as enxurradas para o reservatório, e aumenta a resistência das margens à erosão provocada pelo embate das ondas.

As matas ciliares ou áreas ripárias exercem importante papel na proteção dos cursos d'água contra o assoreamento e a contaminação com defensivos agrícolas,

além de, em muitos casos, se constituírem nos únicos remanescentes florestais das propriedades rurais, sendo, portanto, essenciais para a conservação da fauna.

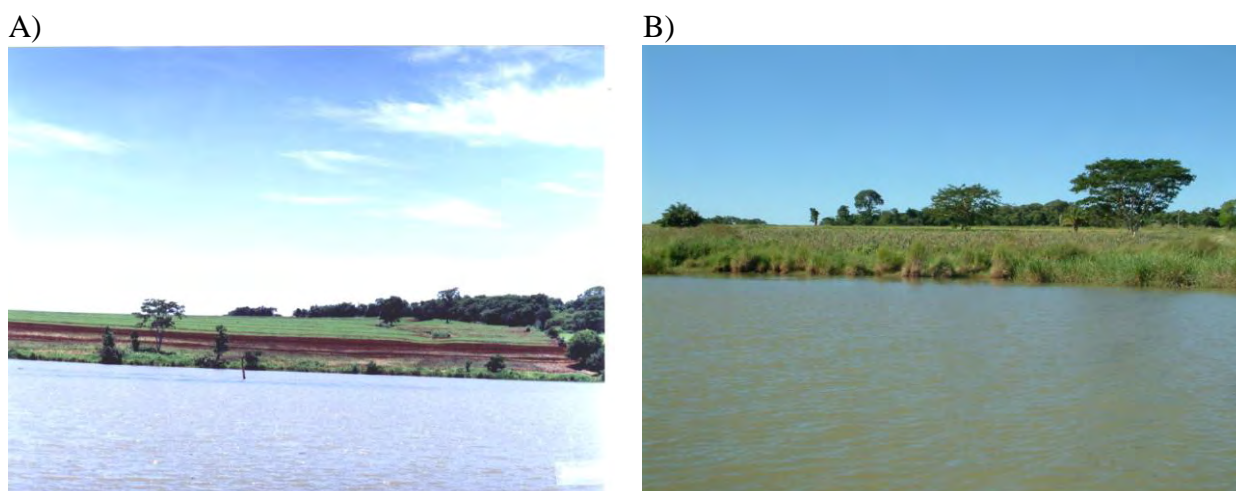


Figura 38 – A) Exemplos de áreas ocupadas por agricultura B) Areas de pastagem na margens do reservatório devido a retirada das matas ciliares.

Um exemplo é o ciclo anual de variação do nível da água entre as cotas mínimas e máximas de operação das represas; geralmente surge uma faixa de solo desnudo ou com pouquíssima vegetação herbácea denominada faixa de depleção, que dificulta a implantação de uma flora litorânea variada e, por falta desta flora, as margens ficam sujeitas à erosão e à formação de lodo, além de não sustentarem os peixes e as aves aquáticas, que encontram dificuldade em nidificar nas redondezas desses lagos (Dussart, 1979 e Salvador, 1986).

A ação erosiva da água na área de depleção contribui significativamente para o assoreamento de reservatórios, tendo como conseqüência a diminuição da capacidade de acumulação de água e, no caso de usinas hidrelétricas, um aumento no efeito abrasivo das turbinas de geração, causado pelas partículas sólidas em suspensão (Davide *et al.* 1993).

A importância das matas ciliares é facilmente compreendida devido às várias funções que desempenham na proteção dos mananciais de solo e principalmente devido ao equilíbrio ecológico que proporcionam ao ecossistema. Entre tais funções podem ser destacadas: a promoção de maior infiltração das águas da chuva, a atenuação dos picos do período da cheia, a dissipação da energia de escoamento, a estabilização das margens de rios e lagos, entre outros (Barbosa, 1999; Dutra, 2005). Estas peculiaridades conferem às matas ciliares um grande aparato de leis, decretos e resoluções visando à sua preservação. De acordo com a Lei nº 4.777/65

do Código Florestal vigente desde 1965 (Anexo - 17), as matas ciliares são incluídas na categoria de áreas de preservação permanente. Assim, toda a vegetação natural (arbórea ou não) presente ao longo das margens dos rios e ao redor de nascentes e de reservatórios deve ser preservada. De acordo com o artigo 2º desta lei, a largura da faixa de mata ciliar a ser preservada está relacionada com a largura do curso d'água. No que toca especificamente às matas ciliares, a sua proteção, de forma explícita, encontra-se no Código Florestal, que assim dispõe:

As matas ciliares, como as demais descritas no art. 2º do vigente Código Florestal, são declaradas de preservação permanente, por isso não podem ser derrubadas, exceto em situações excepcionais e com autorização da autoridade administrativa competente.

Um aspecto fundamental para a implantação de reflorestamentos ciliares em reservatórios é a escolha das espécies adequadas. Deve-se considerar que as matas ciliares compreendem ambientes diferentes, variando desde sítios métricos, sem influência das cheias, até as áreas de depleção, onde as plantas ficam parcial ou totalmente submersas durante o período de cheia dos reservatórios. Portanto, a seleção adequada das espécies torna-se o ponto principal para o sucesso do plantio (Davide *et al.*, 2004).

Entretanto, segundo os estudos de Botelho e David (2002) e de Dutra (2005), deve-se considerar que a mata ciliar ou natural é somente uma das formações vegetais que ocupam uma bacia hidrográfica, e apenas a sua recomposição não é suficiente para recuperar a sua capacidade de produção de água na bacia. Portanto, não se deve concluir que a presença da mata ciliar seja suficiente para sanear todos os problemas da poluição agrícola numa bacia hidrográfica, a menos que outras medidas complementares de manejo integrado do uso do solo sejam tomadas.

Gandolfi e Rodrigues (1996) consideram que são três os sistemas de revegetação que podem ser utilizados nas diferentes situações de degradação observadas numa unidade de trabalho, de acordo com a existência ou não de cobertura vegetal e de suas características: implantação total da vegetação, enriquecimento e regeneração natural.

Quanto a um plano de monitoramento e investigação da bacia, a revegetação e a quantificação da erosão hídrica constitui-se em um requisito de grande importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na gestão ambiental da bacia em termos de erosão real, o que é um aspecto significativo se forem

consideradas as suas implicações a longo prazo, pois um programa de conservação do solo exige informações reais sobre a quantidade e intensidade da erosão para as diferentes condições de solo e clima nesta bacia.

Na área de Cachoeira Dourada, segundo os parâmetros avaliados, as zonas mais vulneráveis à erosão hídrica localizam-se nas áreas de influência das formações Vale do Rio do Peixe e Marília devido à menor resistência do material ao processo erosivo em relação às rochas da Formação Serra Geral e Complexo Granítico Gnáissico.

Em relação à proteção e ao aproveitamento dos recursos naturais da bacia, torna-se necessário a tomada de medidas mitigadoras visando prolongar a geração de energia para Cachoeira Dourada por um período de tempo maior. Por esta razão, na concepção e dimensionamento da implantação e operação da barragem, o empreendedor deve adotar uma série de medidas no sentido de evitar e/ou atenuar os impactos negativos decorrentes desta atividade, destacando-se, segundo Juchem (1992), quanto ao meio físico:

- Controle de deslizamento de encostas marginais;
- Controle de áreas ambientais críticas;
- Utilização do reservatório para controle de enchentes;
- Controle de erosão e instabilidade das encostas nas margens do reservatório;
- Controle da vazão mínima para permitir o uso da água na quantidade e qualidade necessária a jusante da barragem;
- Reintegração do canteiro de obras à paisagem local;
- Recuperação de áreas degradadas, tais como de empréstimo e bota fora;
- Controle do nível d'água do reservatório, evitando grandes variações, exposições dos solos marginais à ação erosiva e conseqüências negativas para a ictiofauna.

Ao se destacar os problemas vinculados à possível falta de conservação dos recursos naturais da bacia do reservatório de Cachoeira Dourada e dado o fato de se tratar de um reservatório de geração de energia, os riscos de uma ocupação desordenada em seu entorno e no restante da bacia, bem como o aumento populacional, podem implicar o aceleração do processo de assoreamento e uma elevação nos custos sócio-econômicos em função da demanda de produção de energia.

Um reservatório sem um adequado gerenciamento da possível quantidade de sedimentos oriundos da sua própria bacia, bem como a falta de adequadas políticas públicas de planejamento territorial regional, pode facilmente transformar-se num vetor de problemas sócio-econômicos, pois a sedimentação representa um problema em potencial em longo prazo para operação de qualquer represa, com implicações para decisões de desenvolvimento hidrelétrico na sua bacia hidrográfica.

Segundo Fearnside (2002), a ELETRONORTE calculou que levaria pelo menos 400 anos para que os sedimentos junto à barragem de Tucuruí alcançassem o nível de 23 m acima do nível do mar, em que eles começariam a causar abrasão das turbinas. Isto estava baseado na carga média de sedimento de 89 mg/litro no alto rio Tocantins (437.332 t/dia) e 77 mg/litro no rio Araguaia (188.945 t/dia), que ocuparia um volume de $332,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Os dados sobre sedimentos utilizados eram de 1975 (na cidade de Tucuruí), 1979 (em Jacundá e Itupiranga) e 1982 (em Itupiranga), ou seja, antes de qualquer desmatamento significativo na bacia (ELETRONORTE, 1988, p. 126).

Thornton *et al.* (1990) apresentou um Quadro (12) de comparação das principais características que podem ser encontradas em rios, reservatórios e lagos naturais, destacando a importância de se conhecer as mesmas para se compreender o processo de assoreamento e eutrofização.

Quadro 12: Comparação de características de rios, reservatórios e lagos (adaptado de Thornton *et al.* 1990).

Característica	Rio	Reservatórios	Lagos naturais
Morfologia da bacia	alongada, direcionada	Intermédio	circular
Movimento da água	rápido, unidirecional	Intermédio	lento, não direcionado
Retenção da água	baixa	Intermédia	elevada
Estratificação térmica	não há	Irregular	estável
Composição iônica	muito variável e relativamente imprevisível	relativamente previsível	relativamente previsível
Turbidez	elevada	Variável	baixa
Principal fonte de nutriente e matéria orgânica	alóctone, advecção, entrada contínua	Ambas	autóctone, recirculado in situ
Principal perda de nutriente	advecção	advecção e sedimentação	sedimentação
Entrada de matéria e de sólido suspenso	grande	Intermédia	pequena
Estrutura espacial dominante	longitudinal	longitudinal e vertical	vertical

De um modo geral, é possível concluir que a produção e o monitoramento de sedimentos numa bacia hidrográfica sempre será um impacto na obtenção e produção de energia, seja em grande ou pequena proporção. Entretanto, o impacto do assoreamento pode ser mitigado com um planejamento que considere corretamente o uso e ocupação a partir de um desenvolvimento sustentável da bacia, sendo possível analisar a real necessidade de implantação de um projeto mitigador dos impactos ambientais provenientes da obtenção de energia elétrica.

A partir da cooperação com a sociedade e com os órgãos governamentais e privados, poder-se-á desenvolver um plano de metas que venha subsidiar o gerenciamento da dinâmica socioeconômica da bacia e dos processos de intervenção antrópica nos ecossistemas, explicitando situações críticas potenciais e existentes, suas relações de causa e efeito, potencialidades da região e requisitos básicos para sustentabilidade em relação aos recursos naturais.

A problemática real do exemplo pesquisado nesta tese pode servir como modelo para se entender o que pode estar prestes a acontecer com este objeto de estudo e com outras usinas com características semelhantes.

6.2.2 – Análise das associações de fácies do reservatório de Cachoeira Dourada

A caracterização sedimentológica e descrição dos depósitos de fundo (testemunhos verticais) foi aplicado em reservatórios pela primeira vez no trabalho desenvolvido por Ponçano *et al.* (1981) e posteriormente empregado por Coelho (1993), Oliveira (1994), Rossato *et al.* (2002) e Saunitti (2003 e 2004).

Nesse tipo de pesquisa os referidos autores citados posteriormente buscaram correlacionar o material amostrado no fundo de reservatórios com as prováveis áreas-fonte, mas não propuseram nenhum quadro de classificação de depósito fácies e associações de fácies na tentativa de se criar um método de análise de modelos deposicionais que permitam descrever a passagem de ambiente fluvial para lacustre, de acordo com os depósitos novos e antigos, como pode ser visto nos trabalhos descritos a seguir.

Coelho (1993) destaca que os sedimentos de fundo do reservatório de Americana são constituídos em sua quase totalidade de siltes e argilas, sendo a presença de material arenoso restrito às desembocaduras de alguns rios. Para descrever os seus testemunhos, o referido autor fez uma análise tátil-visual,

classificando as mesmas como argila mole a muito mole, areia fina e média, entre outras; o autor também afirma que os principais condicionantes da distribuição horizontal das espessuras amostradas são a topografia de fundo do reservatório e a proximidade de áreas-fontes.

Oliveira (1994) avaliou 25 testemunhos de sondagem para o reservatório de Capivari, realizando a descrição do mesmo por intermédio de análise tátil-visual e correlacionando o material às possíveis áreas-fonte existentes na bacia. Os sedimentos arenosos verificados nas margens do lado de São Paulo foram associados aos arenitos do Grupo Bauru, enquanto as argilas referentes às margens do lado do Paraná foram associadas a unidades sedimentares pré-Serra Geral, embasamento Cristalino e aluviões. Na descrição dos perfis verticais, as classes granulométricas utilizadas foram: argila, argila arenosa, argila pouco arenosa etc.

As possíveis áreas-fonte para o reservatório de Capivari foram detectadas a partir da utilização da Equação Universal de Perdas de Solos e Taxa de Descarga de Sedimentos (EUPS/USLE – *Universal Soil Loss Equation* – e SDR – *Sediment Delivery Ratio*).

Rossato *et al* (2002) coletou 5 perfis verticais para o reservatório do Lomba de Sabão, em Porto Alegre, RS, a partir de um processo de introdução do testemunhador por percussão, com a penetração de no máximo 70 cm, o que indicou o limite de sedimentação do local. Este tipo de amostrador de tubo de alumínio, com diâmetro de 75 mm, foi desenvolvido pelo Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A descrição e interpretação do material coletado foram realizadas de acordo com o método desenvolvido pelo Laboratório de Sedimentologia do CECO e da UFRGS, coletou-se dos testemunhos amostras de cinco cm de sedimentos que representavam possíveis mudanças de nível e características dos sedimentos, isto é, dos limites litológicos do perfil coletado.

Na análise das amostras superficiais, enfatizou-se a composição textural, procurando-se identificar a presença ou não de artefatos humanos característicos de depósitos tecnogênicos. Num segundo plano, foram caracterizada a cor e o formato dos grãos para complementar a descrição, sendo realizado após pipetagem e peneiramento do material.

Neste tipo de descrição não foram levadas em consideração as possíveis transições que poderiam ocorrer no ambiente lacustre, conforme as oscilações no fluxo da água. Os cortes dos perfis verticais em seções a cada 5 cm, descarta as possíveis alterações que possam ocorrer no ambiente.

O material dos perfis verticais do reservatório do Lomba de Sabão foram classificados texturalmente, de acordo com Shepard (1937), como areia com lama, predominando nas amostras as frações areia grossa e silte. Na pesquisa de Rossato *et al.* (2002) os materiais sedimentados no reservatório do Lomba de Sabão não foram relacionadas as prováveis áreas fontes e não existe uma explicação hidrodinâmica para se compreender os modelos deposicionais do reservatório.

Saunitti (2003 e 2004) utilizou um sonar de varredura lateral que permitiu obter imagens de fundo do reservatório de Passaúna de locais selecionados, que permitiram visualizar a distribuição dos sedimentos e orientar a coleta de amostras do fundo para análise granulométrica e a coleta de testemunhos verticais para descrição de composição granulométrica e estruturas sedimentares.

Para avaliação do potencial erosivo da bacia hidrográfica foi gerado um mapa qualitativo com base em parâmetros de clima, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo. Esses fatores, sucessivamente integrados possibilitam discriminar as áreas em classes de diferentes potenciais erosivos.

Os sedimentos de fundo amostrados nos testemunhos verticais foram classificados em material depositados antes do enchimento do lago e após o enchimento. A descrição granulométrica dos depósitos de fundo foi realizada com intuito de associar as possíveis áreas-fontes a partir do mapeamento da bacia hidrográfica com o emprego da Equação Universal de perdas de solo.

Na pesquisa desenvolvida por Saunitti (2003, 2004), não foram realizadas interpretações faciologicas quanto aos possíveis modelos deposicionais vigente no reservatório de Passaúna.

Segundo Walker (1984), a simples definição e reconhecimento de uma determinada fácies, porém, não é suficiente para se inferir sobre o seu ambiente de formação. Walker (1984) cita como exemplo uma fácies de arenito com estratificação cruzada que poderia ser formada em um ambiente fluvial meandriforme ou entrançado, em canal de maré ou em áreas de *off-shore* dominadas por correntes costeiras, sendo necessário estabelecer a forma pela qual as fácies se associam e sucedem. Utiliza-se para tanto a "Lei da Correlação de Walther" (1893, *apud* Walker,

1984), segundo a qual, em uma sucessão vertical, uma passagem gradacional entre duas fácies sugere que elas estão associadas, tendo sido geradas em ambientes deposicionais lateralmente contíguos, ao passo que um contato abrupto ou erosivo pode indicar intervalos de não deposição ou mudanças significativas no ambiente deposicional.

Na tentativa de se os possíveis depósitos existentes no reservatório de Cachoeira Dourada foram consultados trabalhos desenvolvidos por Christofolletti (1974), Stevaux (1993) e Rubin (2002), que fornecem uma visão geral sobre a evolução dos conceitos referentes à forma dos canais fluviais e descrevem desde os trabalhos pioneiros de Leopold e Wolman (1957), passando por Schumm (1981 e 1986), e Cant (1982).

A caracterização sedimentológica e descrição de depósitos de fundo no lago de reservatório de Cachoeira Dourada foram realizadas a partir de associações faciológicas descritas dos materiais amostrados nos testemunhos verticais.

A descrição de cada testemunho vertical foi feita por comparação visual, com uso de escala granulométrica de Wentworth (1922). A análise dos testemunhos apesar de não fornecer um registro contínuo de toda coluna sedimentada no lago, permitiu a obtenção de dados básicos necessários a investigação da estratigrafia da parte superior dos depósitos e possível evolução dos processos de assoreamento que vem ocorrendo no reservatório.

Os possíveis modelos deposicionais existentes no reservatório de cachoeira Dourada baseiam-se nos tipos de depósitos propostos por Carvalho (1994, 2002) e de Morris e Fan (1997) já descritos no item 5

A partir da caracterização sedimentológica dos vinte e oito perfis verticais (testemunhos) amostrados para o reservatório, foi possível estabelecer, com base numa análise global, 13 fácies considerada mais relevantes, que permitiram a descrição e interpretação dos possíveis modelos deposicionais classificados da seguinte forma: fácies mistas, arenosas e pelíticas.

Associação considerada mista é composta pelas fácies Fm/S(g) e S(f)-Fm: Fm-S(g) – silte e areia grossa – é formado por estrato de 15 cm de espessura, composto por areia grossa e silte em proporções aparentemente iguais a vista desarmada. De acordo com a granulometria do material está pode ser classificada entre muito pobremente e pobremente selecionado, apresentam cor marrom escuro e amarelo claro, formada por processos tracionais.

S(f)-Fm – areia muito fina e material silte/argiloso – é formada por estratos de 38 cm de espessura compostos em maior proporção por areia muito fina e em menor proporção por material silte/argiloso. O material está entre muito pobremente e pobremente selecionado e apresenta cores entre marrom escuro e amarelo claro.

Associação considerada arenosa maciço é composto pelas fácies S(f), S(F), S(f/F), S(F/f), S(f/m), S(m/f) S(m/F), S(g/m) e S(g).

S(f) – areia muito fina – é formada por estratos de 8 a 27 cm de espessura, estrutura maciça, cor amarelo claro, amarelo avermelhado e marrom amarelado, às vezes com detritos vegetais (folhas).

S(F) – areia fina – é formada por estratos de 10 a 24 cm de espessura, estrutura maciça, cor amarelo claro, amarelo avermelhado e marrom amarelado. Também pode apresentar fragmentos de conchas.

S(g) – areia grossa – é formada por estrato de 20 cm de espessura e apresenta estrutura maciça e cor amarelo avermelhado e marrom amarelado.

S(f/F) – areia muito fina a fina – é formada por estratos de 12 a 57 cm de espessura e apresenta estrutura maciça, cor amarelo claro, amarelo avermelhado e marrom amarelado e conchas. A granocrescência ascendente verificada pode ser relacionado a influência dos materiais transportados pelos tributários que desembocam no lago.

S(F/f) – areia fina a muito fina – apresenta estratos de 12 a 26 cm de espessura, estrutura maciça, cor amarelo claro e marrom amarelado. A granodecrescência ascendente indica uma diminuição na energia no momento da deposição dos sedimentos.

S(f/m) – areia muito fina a média – é formada por estrato de 62 cm de espessura e apresenta estrutura maciça, cor amarelo claro e amarelo avermelhado. De um modo geral, indica um ambiente de alta energia e transporte intenso de sedimentos. A granocrescência ascendente da granulometria indica um aumento da energia.

S(m/f) – areia média a muito fina – estrutura maciça, formada por estrato de 35 cm, cor amarelo claro. A granodecrescência ascendente da granulometria e grânulos na base indicam que ocorreu uma diminuição da energia.

S(m/F) – areia média a fina – estrutura maciça, formada por estrato de 43 cm, cor amarelo claro, amarelo avermelhado e marrom amarelado. A granodecrescência ascendente da granulometria indica uma diminuição da energia.

S(g/m) – areia grossa a média – apresenta tonalidade de cor entre amarelo avermelhado e amarelo claro, presença de grânulos e estratos de 12 a 50 cm de espessura; a presença de grânulos na base é indicativa de uma diminuição da energia, evidenciada na granulometria. A granodecrescência ascendente indica uma diminuição da energia.

Associação considerada arenoso estratificada é composto pela fácies S(m/F)“s”

S(m/F)“s” – areia média a fina em estratos de 21 a 24 cm, cor amarelo claro, amarelo avermelhado e marrom amarelado. A presença de areia estratificada indica que o ambiente tinha energia alta o suficiente. A presença de grânulos na fácies S(g/m) é indicativa de uma diminuição da energia, mas a estratificação na fácies S(m/F) demonstra que o ambiente tem energia alta o suficiente e que esta fácies pode ser vinculada a fluxo oscilatório.

Associação considerada pelítica é formado apenas pela fácies Fm – silte-argiloso (argila e silte): é normalmente argilosa e pode conter matéria orgânica (freqüentemente folhas, raízes e núcleos de oxidação) e material de cor vermelho claro, marrom avermelhado, marrom escuro, cinza e tons preto; esporadicamente pode apresentar lentes de areia muito fina, grânulos e seixos na base do estrato. Esta fácies é típica de ambiente de baixa energia, onde a decantação da carga em suspensão é favorecida pela diminuição da velocidade de escoamento da água proporcionada pela construção da barragem.

Após a descrição dos contextos deposicionais, estes foram agrupados, cujas características e inter-relações permitem que se possa interpretar o ambiente de sedimentação. Dessa forma, cada fácies dentro da associação representa o registro sedimentar de atuação de um determinado processo deposicional.

Para o reservatório de Cachoeira Dourada, essas associações foram adaptadas aos possíveis tipos de depósitos a serem encontrados no reservatório conforme as propostas de Carvalho (1994, 2000) e de Morris e fan (1997). Tais associações (apresentadas no Quadro 13) foram denominadas de acordo com o ambiente atual de formação e identificadas em depósitos.

Quadro 13 - Códigos utilizados para a descrição dos modelos deposicionais do reservatório de cachoeira Dourada.

Tipos de Deposito	Códigos das Fácies
Leito	Fm, S(f), S(F)
Delta	Fm, S(f), S(F), S(f/F), S(f/m), S(m/f), S(g)
Corrente	Fm, S(f)-Fm, S(F), S(f/F), S(F/f), S(m/F), S(m/F)"s", S(g/m), Fm-S(g)

- **Deposito de leito**

Neste tipo de deposito o material sedimentado é predominantemente argiloso/siltoso. Pode ocorrer a presença de estratos de areia muito fina a fina depositada abaixo da fácies Fm, que é a fácies característica deste subambiente.

A partir da comparação dos perfis topográficos da fase antes e após o enchimento do reservatório, análise dos transectos da fácies do testemunho 1A a 1E (Figura 39), 2 e 3D (Anexo 18) é possível identificar um decréscimo ascendente na granulometria desde areia muito fina a material silte-argiloso.

Este tipo de material de acordo com a proposta de Carvalho (1994), Morris e Fan (1997) são representativos de depósitos de leito, pois as partículas de silte e argila são geralmente transportadas no trecho mais baixo do reservatório. A forma desse depósito depende principalmente das características minerais das argilas e das características químicas da água.

A deposição do material fino no reservatório se dá por decantação devido ao barramento da água, ao aumento da seção transversal, à diminuição da velocidade de escoamento da água, à estabilização da vazão, à eficiência de retenção e à velocidade de queda das partículas (Brune, 1953). O possível modelo deposicional esquemático para este subsistema é apresentado na figura 40 A e B.

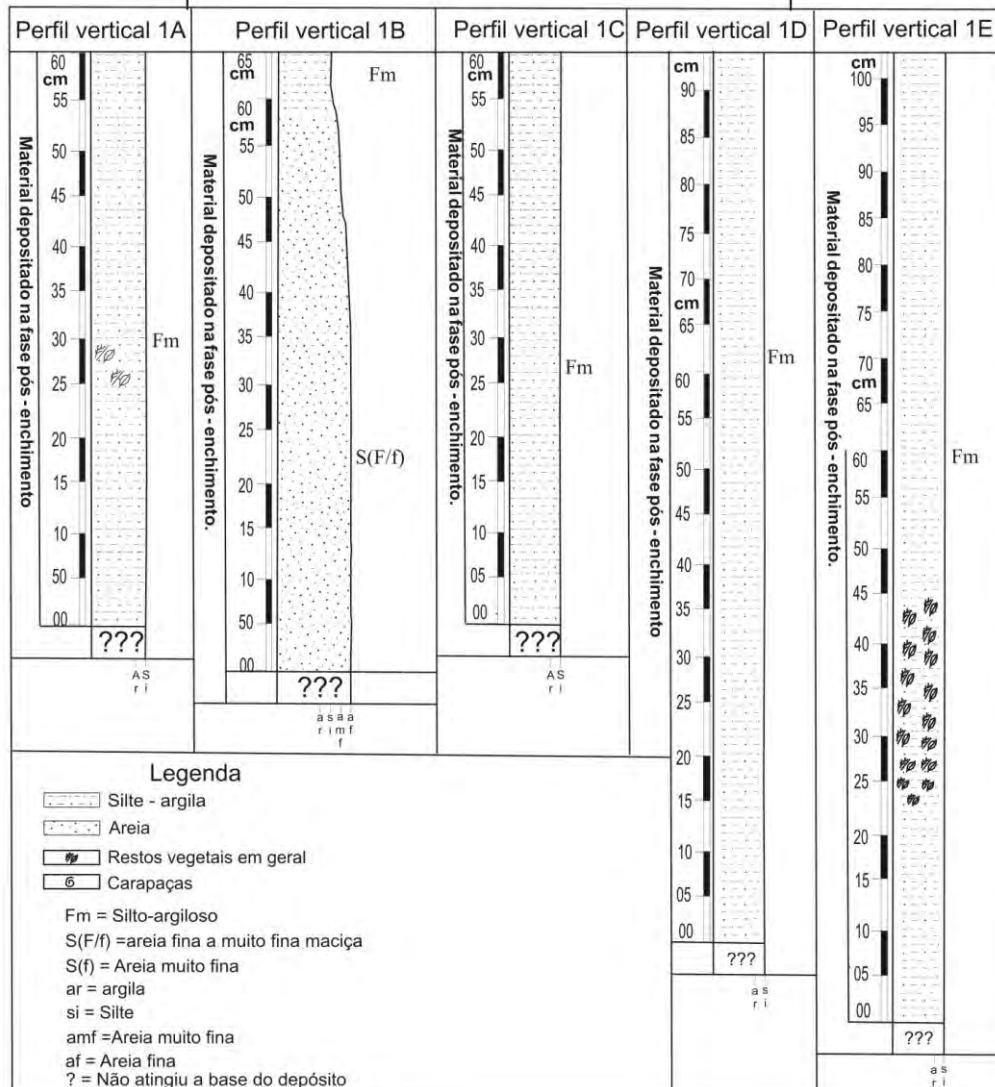
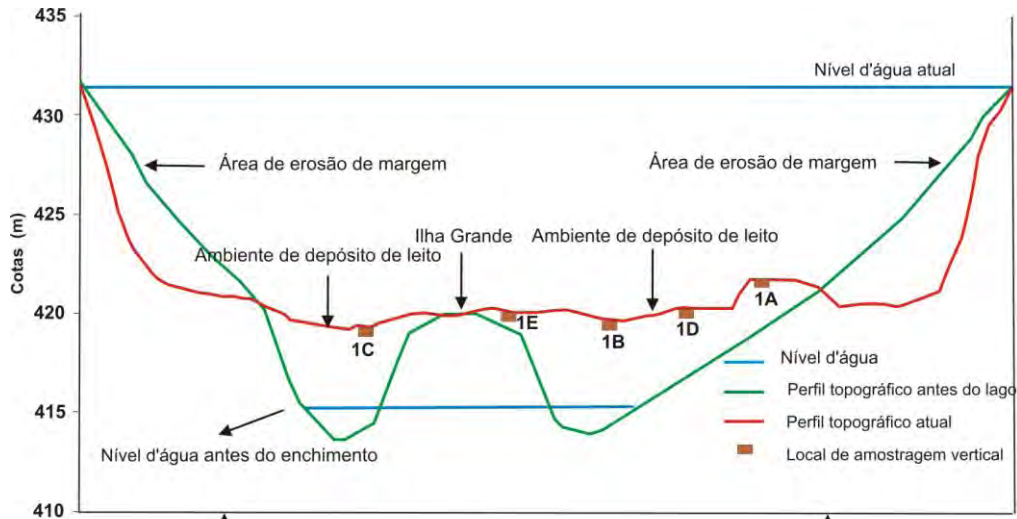


Figura 39: Perfil topográfico com indicação de erosão lateral nas margens, processo de sedimentação junto à antiga ilha Grande e associações de fácies da terceira seção transversal.

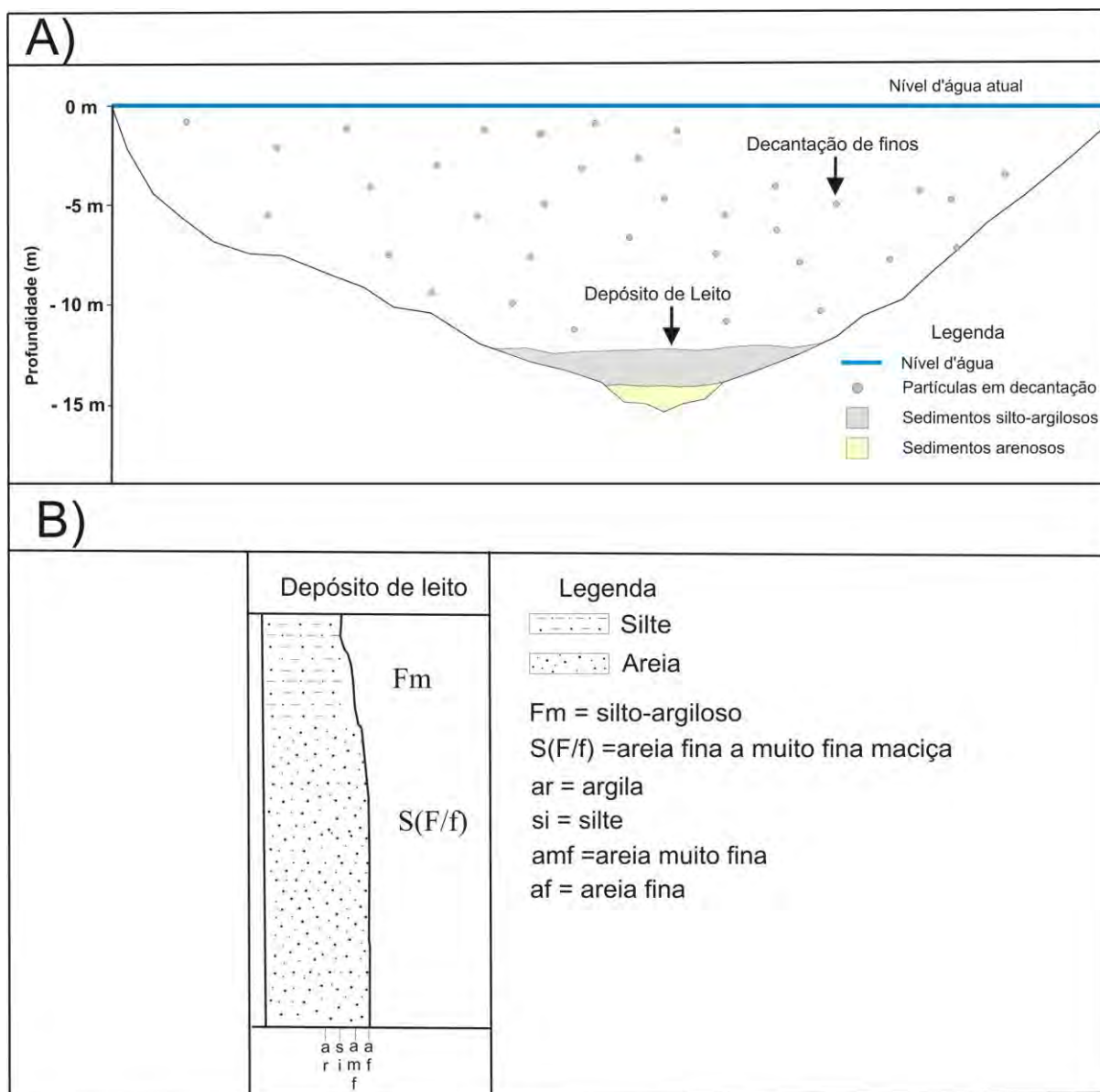


Figura 40: A) Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente leito B) Seção colunar para o depósito de leito.

- **Depósito de corrente**

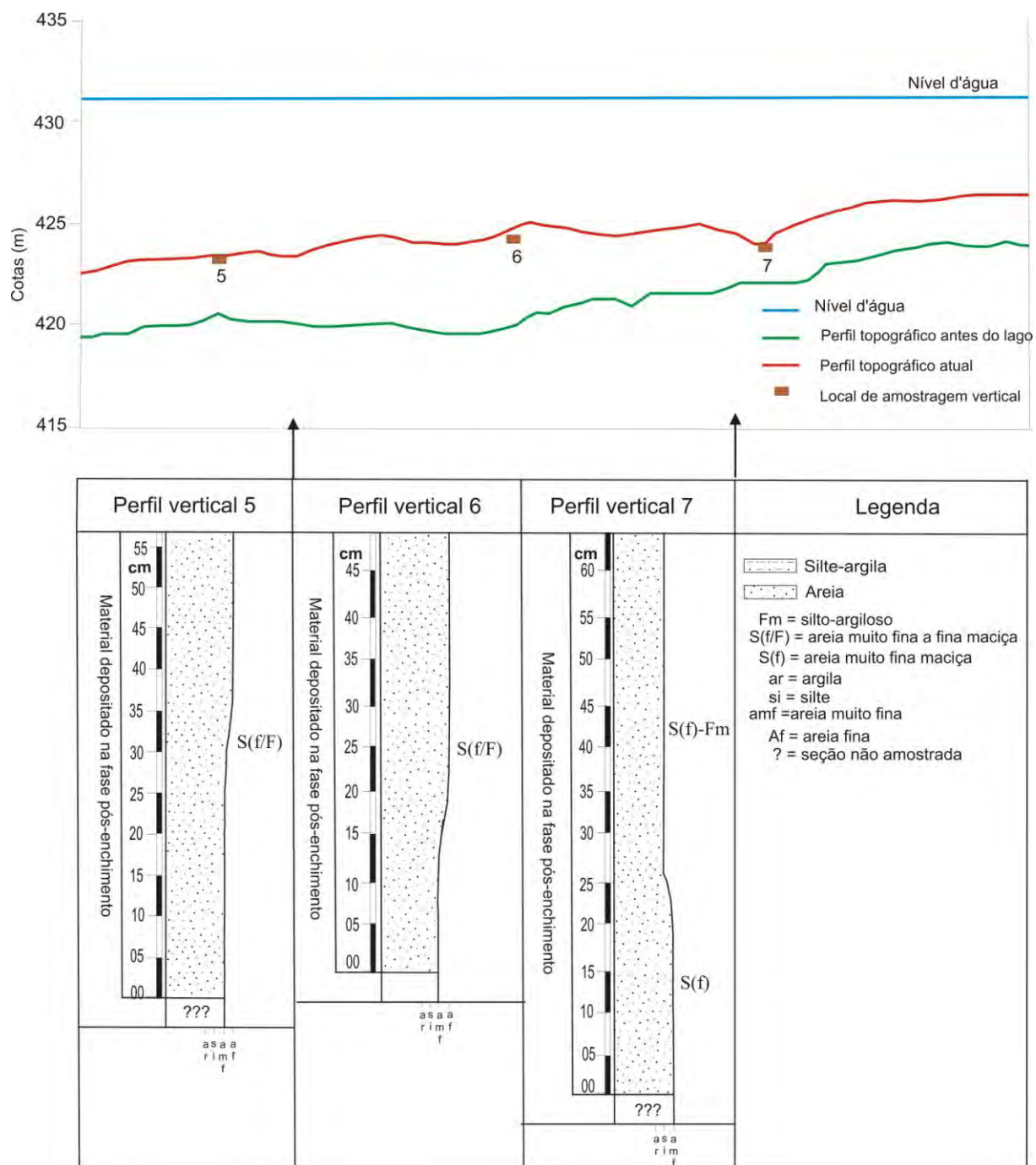
Neste tipo de depósito a carga arenosa é depositada por processos episódicos de grande energia e também fluxos oscilatórios, que resultaram corpos maciços e estratificados.

As fácies características da passagem de um ambiente de alta energia para um de baixa energia são representadas pelas fácies S(F/f), S(m/F) e S(g/m), com a deposição de material de granulação grossa a muito fina. Os perfis verticais que apresentam características da passagem de um ambiente de baixa energia para alta energia foram verificadas nas fácies S(f/F) e S(f/m). ou de granulação de muito fina e média.

As fácies verificadas nos perfis verticais 3A e 9B (Anexo 18 e 19), denota características sedimentológicas de contato brusco de natureza erosiva. Neste caso os sedimentos mais grossos, estão sobre os sedimentos mais finos evidenciando uma sedimentação cíclica, que pode ter sido ocasionada pelo desmoronamento das bordas do lago, ou elevado índice de precipitação nas sub-bacias, permitindo aos afluentes aumentarem a sua capacidade e competência de transporte. Já nos perfis verticais 5 e 6 (Figura 41) verificou-se granocrescência ascendente da base para o topo, feição peculiar de depósito de fluxo granular de alta densidade.

Os perfis 3B, 4A, 7 (Figura 41), 8C (Anexo 19), 10B, 11 e 13 A (Anexo 20), 14 (Anexo 21), 15 e 17 (Anexo 22), apresentam gradação de distribuição, promovendo um decréscimo granulométrico da base para o topo, como resultado da adição crescente de materiais cada vez mais finos. Este tipo de deposição ocorreu devido a diminuição da velocidade de escoamento da água, proporcionando pelo baramento do rio, aumento da seção transversal, diminuindo a capacidade de competência de transporte. Os perfis das figuras 3B, 4 A e 10B serão apresentados e discutidos posteriormente em maior detalhe no estudo das seções, 1, 2 e 3 do reservatório.

A partir das descrições estruturais dos perfis verticais deste subambiente (depósito de corrente), as fácies desta associação (Quadro 13) podem ser consideradas correspondentes a depósitos de regime de escoamento superior, conforme a concepção de Simons *et al.* (1965); este regime se caracteriza por baixa resistência ao escoamento e transporte intenso de sedimentos. O possível modelo deposicional esquemático para este subambiente é representado na figura 42 A e B.



41 – Perfil topográfico com indicação da sedimentação do córrego do Paiol ao Flecha e associações de fácies da seção transversal longitudinal.

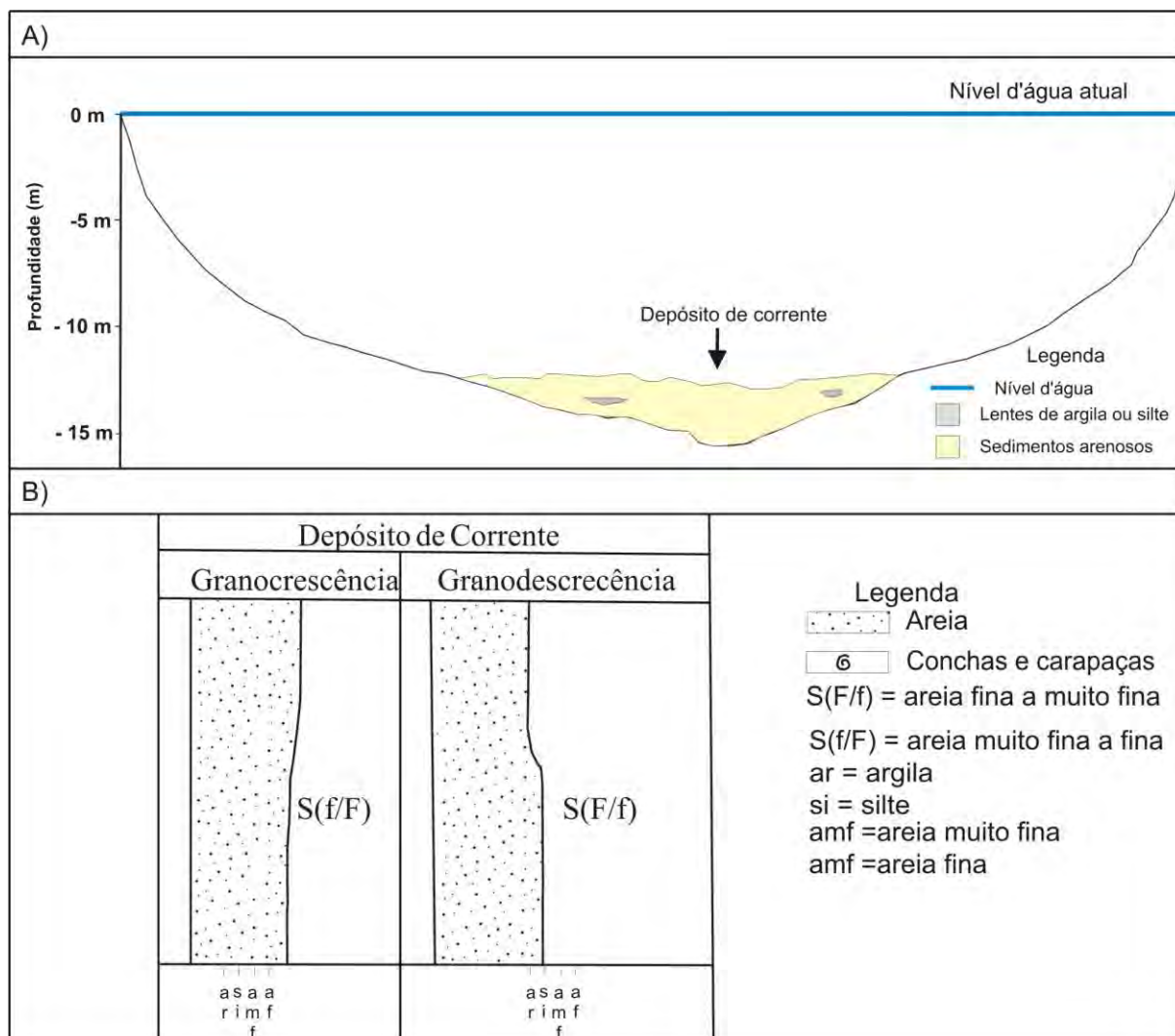
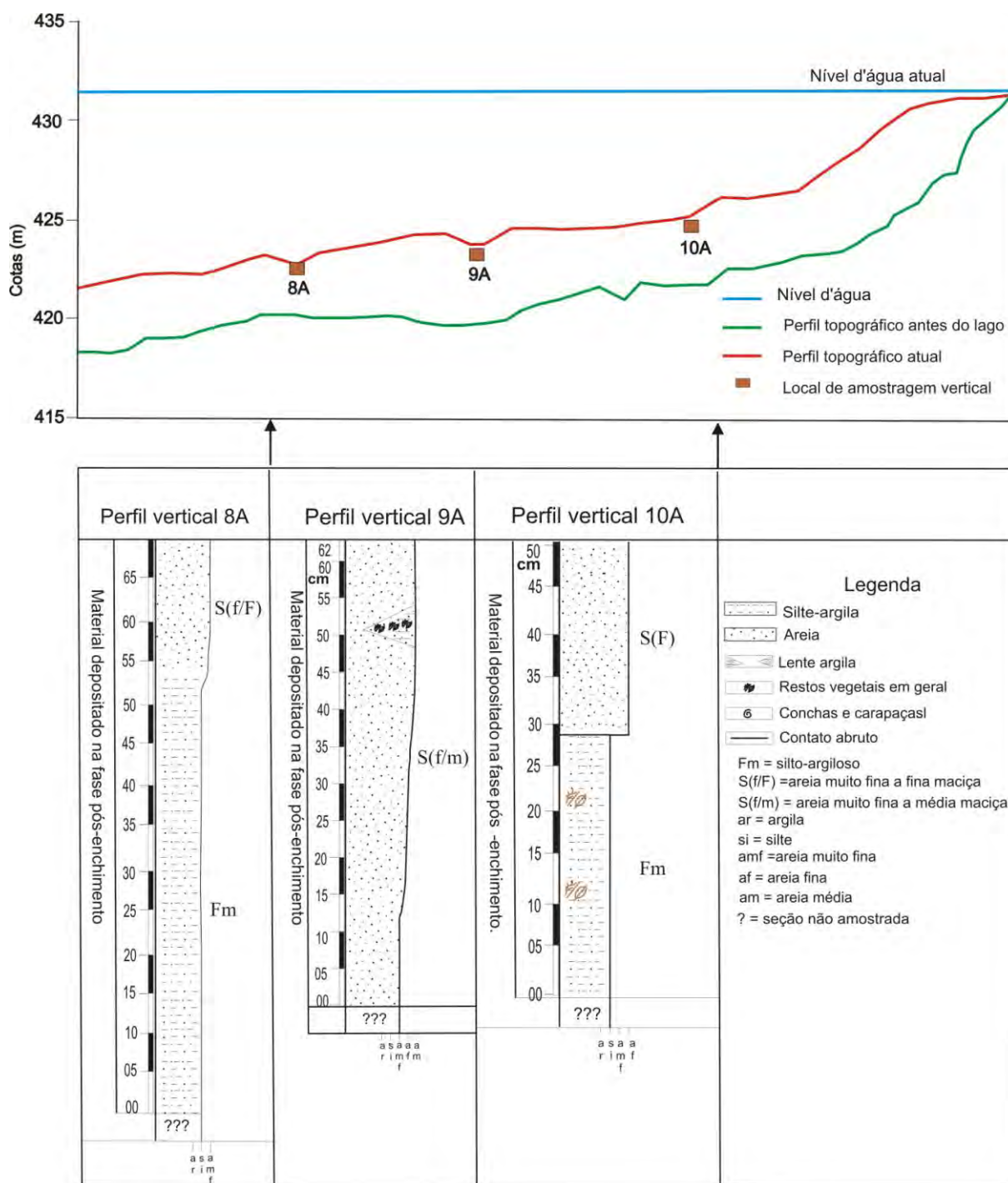


Figura 42: A) Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente de corrente, B) seção colunar para o depósito de corrente apresentando granocrescência e granodecrescência da base para o topo.

- **Deposito de delta**

Depositos de delta ocorrem em áreas de encontro dos cursos fluviais que desembocam em lagos e reservatórios. A sedimentação ocorre devido à diminuição da velocidade de escoamento da água, aumento da seção transversal, regularização da vazão e eficiência de retenção do reservatório.

Em Cachoeira Dourada os depósitos de delta, de acordo com os perfis topográficos e análises dos materiais depositados nos testemunhos verticais amostrados entre os pontos 8 A, 9 A e 10 A, são compostos por materiais silte-argilosos e arenosos (Figura 43 A e B).



43 – Perfil topográfico com indicação da sedimentação do ribeirão Piratininga ao córrego do Paiol e associações de fácies da seção transversal 24.

A partir das análises dos trancetos e fácies característica, apresentada no quadro 13 para este tipo de depósito em Cachoeira Dourada, verificou-se uma variação granulométrica em decorrência das diferentes áreas-fontes, das oscilações no fluxo de escoamento das águas dos afluentes que atingem o reservatório, e aos diferentes índices de precipitações e da ação antropica que ocorrem nas bacias hidrográficas.

No modelo deposicional de Cachoeira Dourada (Figura 44 A e B) as camadas de topo apresentam características essencialmente fluviais com predomínio de materiais arenosos, que são os primeiros a se depositar ao entrar no reservatório, enquanto que as camadas frontais apresentam características mistas “fluvio-lacustres”.

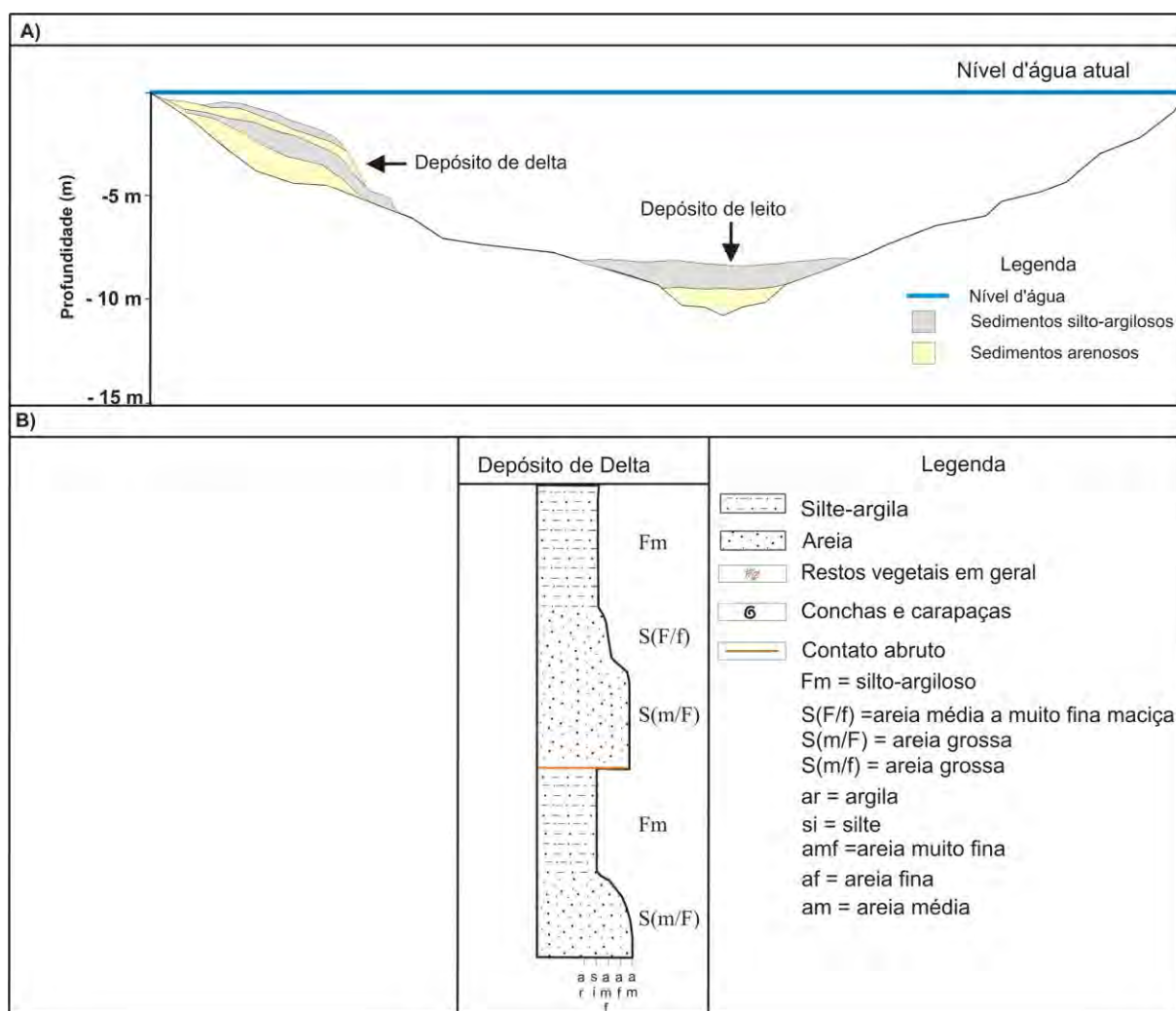


Figura 44: A) Croqui esquemático do processo de sedimentação no ambiente de delta, B) seção colunar para o ambiente delta.

A associação de fácies para este modelo de depósito está mais relacionada à ambientes encontrados na desembocadura de rios com o lago. A deposição dos sedimentos ocorre a partir de partículas que se movem por arraste e pequena fração de materiais em suspensão. Quanto menor a velocidade do fluxo e o peso da partículas, a deposição se processa mais para o interior do reservatório.

- **Análise geral das Associações de fácies no reservatório**

No reservatório de Cachoeira Dourada, não foi verificado depósito de remanso, que se constituem em princípio de materiais de maior granulação, como os seixos que se depositam no final de remanso, ligeiramente acima do nível máximo do reservatório. Teoricamente esses depósitos podem progredir tanto para dentro do lago quanto a montante, pois, conforme o depósito cresce, o efeito de remanso se estende, podendo obstruir a seção do canal, resultar em elevação de níveis a montante e ocasionar enchentes.

Para se compreender a distribuição espacial dos possíveis depósitos e modelos deposicionais atuantes no reservatório de Cachoeira Dourada, foi gerado um mapa esquemático (Figura 45) a partir da análise de associações de fácies.

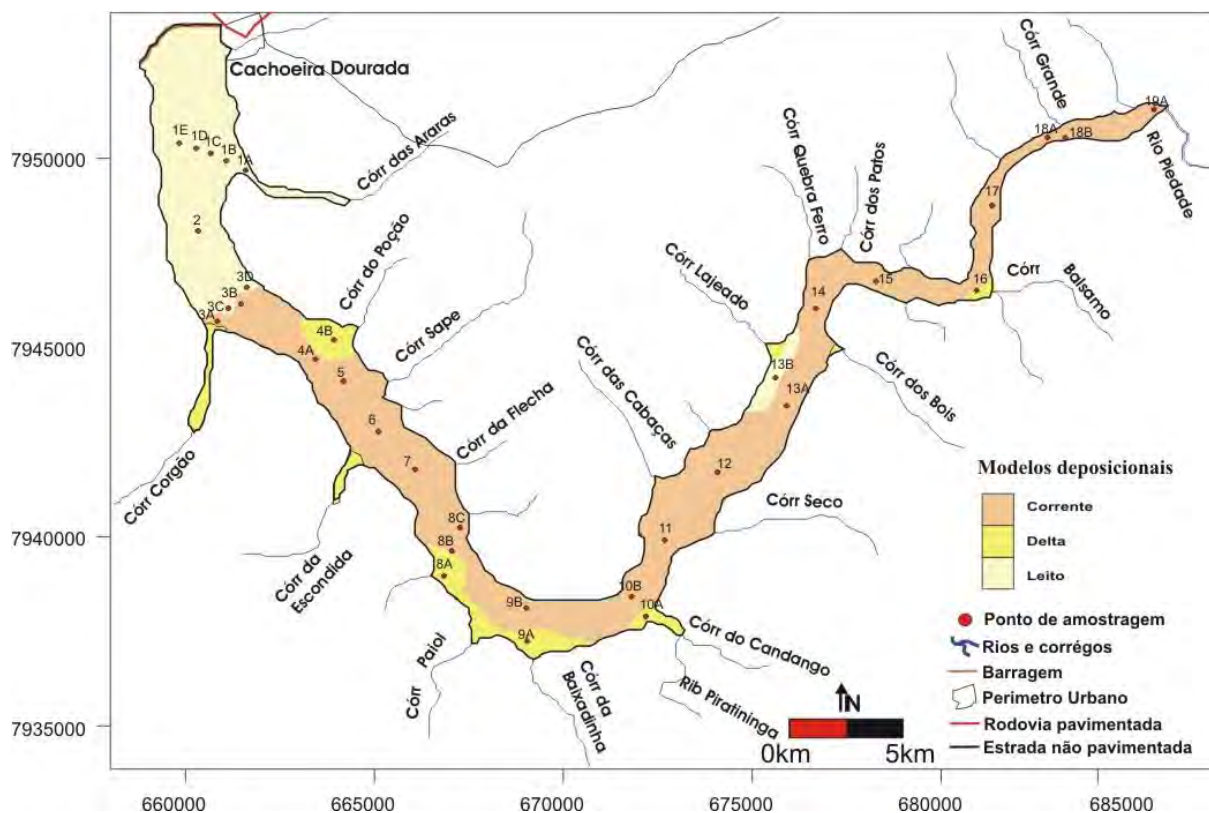


Figura 45: Mapa esquemático de distribuição dos tipos de depósitos de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG.

O modelo esquemático (Figura 45) indica que entre o barramento e o córrego do Corgão ocorre o predomínio do depósito de leito, composto por pelitos (fácies silto-argilas), com predomínio da fácies Fm, sempre sobreposta às fácies S(f) e S(F).

No modelo deposicional de Carvalho (1994, 2000), a deposição dos sedimentos silte-argilosos sobre arenosos refletem as modificações ocorridas após o represamento da água, pois se proporciona um aumento da seção transversal, diminui-se a velocidade de escoamento da água, estabiliza-se a vazão e modifica-se a eficiência de retenção e a velocidade de caimento das partículas.

O depósito de Delta foi verificado sempre no encontro dos afluentes com o reservatório, ocasionado em virtude do avanço do regime fluvial dos afluentes para o interior do reservatório. As associações de fácies correspondentes a estes depósitos podem ser consideradas complexas, pois o sistema deposicional deltaico foi reconhecido pela intercalação de sedimentos arenosos e pelíticos, com estruturas sedimentares maciças.

A base do sistema deposicional deltaico para o reservatório de Cachoeira Dourada na região de abrangência dos córregos do Poção (perfil vertical 4B) e Bálamo (perfil vertical 16) consistem de material arenoso e parecem indicar uma oscilação do fluxo de alta e baixa energia. A partir das análises do transecto entre os córregos da Baixadinha e Bálamo/Piratininga, a base dos mesmos é pelítica, enquanto os arenitos do topo têm granulação desde muito fina a fina, indicando que havia uma energia alta, que foi diminuindo ao adentrar ao reservatório.

A não verificação de estratificações dos sedimentos de topo dos perfis verticais 8A, 9A e 10^a (Figura 43) indica que a sedimentação ocorrida nestes testemunhos não poderia ser associada a regime de fluxo superior e sim inferior.

O depósito de corrente ocorre após o córrego do Corgão até o rio Piedade (Figura 45). Neste ambiente ocorre o predomínio de depósitos arenosos associado ao fluxo de regime alto e baixa energia. Constitui-se principalmente de areia, com algumas intercalações de sedimentos de granulação fina (Silte).

No primeiro setor entre os córregos do Corgão e do Candango, ocorre o predomínio da fração de areia muito fina e média; esses locais apresentam granocrescência (perfis 3A, 5, 6 e 9B) e granodecrescência (perfis 3B, 7, 8C e 10B). Na deposição de sedimentos desta associação, predominaram possivelmente processos de fluxos oscilatórios.

Essa é a principal área de aporte de sedimentos arenosos oriundos dos solos e da Formação Vale do Rio do Peixe carregado pelo córrego do Candango/ribeirão Piratininga.

Entre o córrego das Cabaças e o rio Piedade, a fácies arenosa varia de areia muito fina a areia grossa. Neste setor a granulometria dos sedimentos depositados indica possíveis oscilações, representando, assim, evento de alta e baixa energia.

No geral a associação de fácies nesse ambiente constitui o maior volume dos depósitos, permitindo inferir maior disponibilidade de carga arenosa em relação à fina depositada por processos episódicos de grande energia, permitindo fácies de areias com estratificações cruzadas e com possível gradação normal.

Na proposta de Morris e Fan (1997), os depósitos de corrente podem ser associados em maior fornecimento a sedimentos finos, que ocorrem para as áreas de depósito de leito. Em Carvalho (1994 e 2000), não foi verificado nenhum tipo de comentário sobre a possibilidade da existência desse modelo em seus trabalhos. Os depósitos de areia em reservatórios são algumas vezes associados de acordo com o método de Carvalho (1994 a 2000) a depósitos de margem devido ao processo de desmoronamento das bordas dos reservatórios, sem ser feita nenhuma associação a áreas-fonte existentes a montante.

A partir de uma análise crítica da fácies e associações de fácies do reservatório de Cachoeira Dourada, é possível verificar que, na caracterização dos modelos deposicionais dos trabalhos desenvolvidos por Carvalho (1994, 2000) e por Morris e Fan (1997), o processo de sedimentação em reservatórios é tratado com aspecto hidráulico e como um fator de avaliação do tempo de vida útil.

Os dados para análise do processo de sedimentação são obtidos principalmente de estações fluviométricas, pluviométricas e da bacia hidrográfica, gerando modelos empíricos sobre o processo de assoreamento em reservatórios, sem a discussão de um sistema deposicional lacustre que compreenda e explique os depósitos existentes conforme as possíveis áreas-fonte.

Quanto à evolução da sedimentação no reservatório, o lago da usina de hidrelétrica de Cachoeira Dourada, pode ser classificado conforme os estágios de evolução proposto por Morris e Fan (1997), como de quase-equilíbrio, ocorrendo a transição de deposição contínua para um regime misto de deposição e erosão. O material sedimentado no lago pode ser considerado como um depósito afunilado, conforme a configuração longitudinal dos depósitos, pois o material particulado depositado é formado por sedimentos finos na direção da barragem e arenosos nas desembocaduras dos afluentes com o reservatório e nas regiões mais distais da barragem.

De um modo geral, é possível perceber que existe a necessidade de se correlacionar as modificações ocorridas no ambiente fluvial para lacustre, o que pode ser feito a partir da busca de conhecimento e aprofundamento das propostas de Miall (1996), Carvalho (1994 e 2000) e Morris e Fan (1997).

Face às lacunas verificadas nos modelos deposicionais e nos métodos de investigação de assoreamento de reservatório e partir de uma avaliação crítica das pesquisas realizadas por Ponçano *et al.* (1981), Coelho (1993), Oliveira (1994), Rossato (2002) e Saunitti (2003), juntamente com as análises dos perfis verticais (testemunhos) e associações de fácies verificadas para o reservatório de Cachoeira Dourada, a diferença da classificação de fácies de ambiente lacustre em relação à proposta inicial de Miall (1996) é fruto da própria dinâmica do meio e peculiar ao exemplo estudado, podendo ser utilizada em levantamentos posteriores no próprio reservatório ou em outros que apresentem características semelhantes.

Os possíveis modelos deposicionais verificados para Cachoeira Dourada indicam que os modelos deposicionais existentes nas literaturas para a compreensão do processo de sedimentação em reservatórios devem ser empregados para se analisar setores de uma barragem, mas não a sua totalidade (toda a extensão) como se o reservatório fosse um único corpo, pois existe a necessidade do conhecimento dos processos históricos e atuais que permita analisar e avaliar a evolução do processo deposicional fluvial para o ambiente lacustre e apresentar expectativas do tempo de vida útil com maior acuracidade.

6.2.1 – Setor 1 – trecho compreendido entre a barragem e o córrego do Corgão

Na área da bacia drenada para este setor, o substrato é formado somente por rochas basálticas da Formação Serra Geral (Figura 46). Os principais afluentes deste setor são os córregos das Araras e do Corgão.

As ocupações urbanas das áreas próximas à barragem, nas margens esquerda e direita do lago, estão em terrenos com declividade entre 3° e 8° (CELG 1984, Cabral *et al.* 2005).

Vizinhos à barragem, há empreendimentos turísticos com praias artificiais, construídas inadequadamente quanto à proteção das margens do reservatório (Figura 47 A e B). Ali não se verifica a preservação da faixa marginal, exigida conforme a lei. Observou-se, ainda, que as ruas e áreas de lazer apresentam

traçados irregulares, com pavimentação, mas não possuem sistemas coletores de águas pluviais, fazendo com que as enxurradas escoem diretamente para o lago.

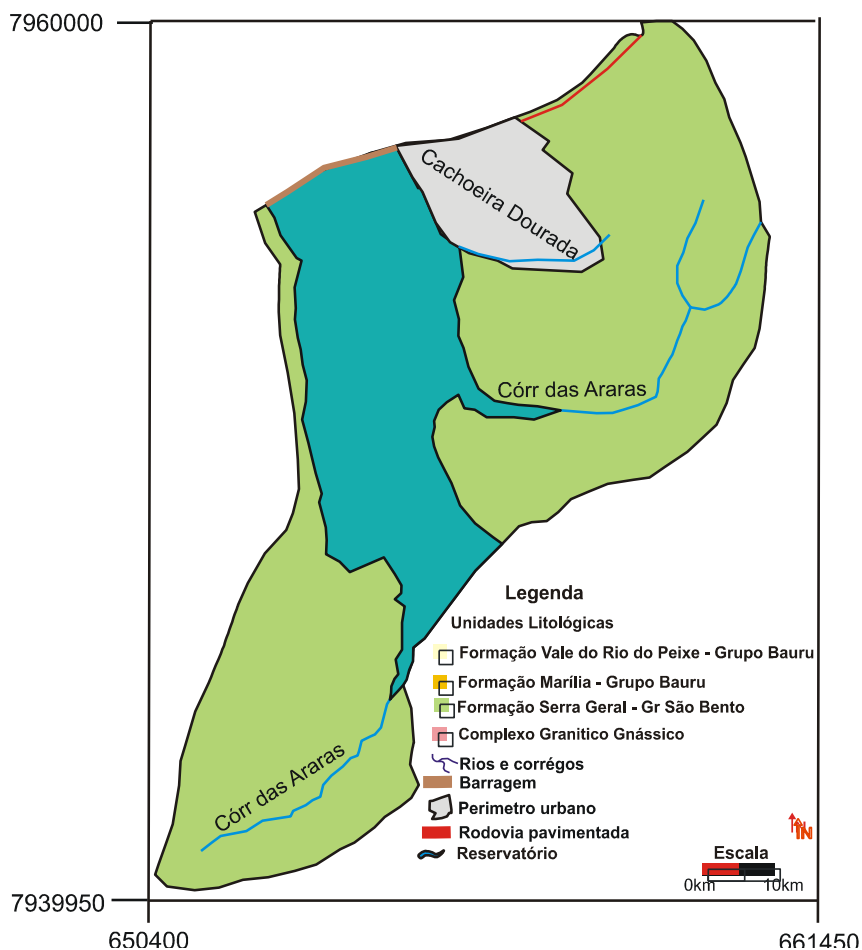


Figura 46 – Mapa Geológico do setor 1.

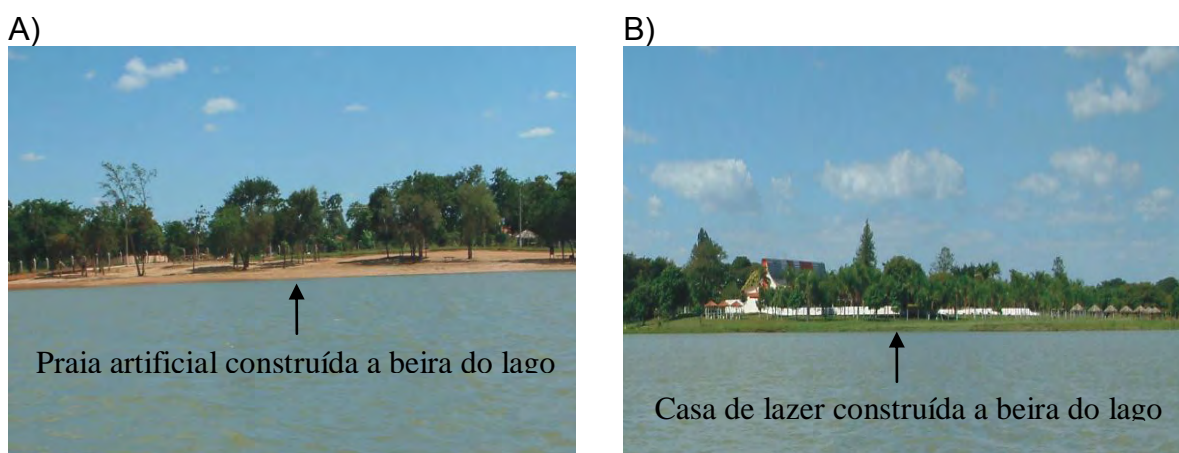


Figura 47: Exemplos de ocupações na margem direita do lago próximo ao córrego das Araras, com praias artificiais (A) e casas de lazer (B).

O uso e ocupação do solo no restante desse setor apresentam características rurais, com áreas de chácaras, agricultura e pecuária.

Os parâmetros limnológicos avaliados (Quadros 7 e 8), indicaram que a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) referentes aos períodos úmido e seco apresentou o predomínio de valores até 10 mg/l. Todavia, as amostras coletadas na desembocadura dos córregos das Araras e Corgão apresentaram concentrações superiores a 10 mg/l, que podem ser explicadas pela existência de solos descobertos devido ao cultivo agrícola e praias artificiais dos clubes de lazer.

Os dados de visibilidade da água apresentaram, de modo geral, valores entre 100 e 120 cm no período úmido e entre 80 e 100 cm no período seco, proporcionalmente inverso aos valores da CSS. A heterogeneidade dos dados limnológicos verificada para esse setor pode ser explicada da seguinte forma: 1) Existe maior quantidade de solos expostos nas proximidades do reservatório no período seco (período de entre-safra e preparo do solo); 2) a velocidade dos ventos deveria estar mais forte em relação ao primeiro trabalho, influenciando na formação de ondas e, conseqüentemente, no aumento da erosão nas margens do lago; 3) pode ter ocorrido uma variação da vazão restituída pela barragem ao longo dos dias da semana, conforme o período do ano (úmido ou seco) e à medida que a necessidade de geração de energia atende às variações da demanda dos consumidores; 4) pela variação dos índices pluviométricos da bacia do reservatório.

A baixa concentração de sedimentos em suspensão e os altos valores de visibilidade da água nesse setor do reservatório podem estar relacionados: 1) baixo aporte de sedimentos finos oriundos dos latossolos que possuem elevada permeabilidade e em geral são acentuadamente drenados e a lenta decomposição das rochas da Formação Serra Geral que fornecem em maior proporção argilas como produto de alteração, visto ser a única unidade litológica exposta no setor e que é transportada pelos afluentes; 2) à maior resistência das rochas basálticas e o tipo de solo originado quanto à erosão em relação aos materiais oriundos de outras formações existentes nas seções a montante; 3) à pequena concentração de material arenoso nos solos com predomínio de textura argilosa e muito argilosa; 4) ao aumento da seção transversal, proporcionado pela construção do reservatório, que ocasionou a diminuição da velocidade de escoamento e a estabilização da vazão para geração de energia elétrica, propiciando a este local condição para a deposição dos sedimentos finos; A retenção de sedimentos a montante pelas ilhas de macrófitas e pelos reservatórios de Emborcação e Itumbiara.

Depois de considerados os valores obtidos para a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e visibilidade da água (SEC) e levando em consideração a cor da água (clara) nesse setor, nos dias de trabalho a campo, esse trecho do reservatório poderia ser classificado limnologicamente, pelos parâmetros estudados e avaliados segundo a proposta de Esteves (1988), como oligotrófico (lagos claros e com baixa concentração de macrófitas).

Conforme CELG (1994) nesse setor antes da fase de enchimento existiam planícies de inundação e brejos, principalmente na margem esquerda do rio (Figura 48), e ilhas no centro do canal; a ilha Grande deve ter se originado de barras laterais longitudinais, e, segundo Bigarella (2003), quando num determinado momento a correnteza torna-se incapaz de transportar sua carga, forma um banco submerso que vai adquirindo expressão à medida que se aproxima da superfície d'água.



Figura 48: Antiga planície de inundação na margem esquerda do rio Paranaíba, próximo ao barramento, antes da fase de enchimento do lago no ano de 1959 (fonte: Cachoeira Dourada Sociedade Anônima - CDSA, 2003).

Conforme verificado na literatura sobre ambiente fluvial, poderia ocorrer o predomínio de material silte-argiloso nos antigos ambientes de planície de

inundação ou brejos e retenção dos sedimentos mais grossos nas ilhas (Sugio e Bigarella, 1990).

Nesse setor, predominam silte grosso e silte muito fino (Quadros 9 e 10), com exceção do material amostrado no local de amostragem do perfil 3B (Figura 49), que é constituído de areia muito fina a fina. Ao se considerar o grau de seleção do material amostrado, verifica-se que ocorre o predomínio de sedimentos pobremente e muito pobremente selecionados, que podem ser associados à proximidade de área-fonte e/ou pouco retrabalhamento do material.

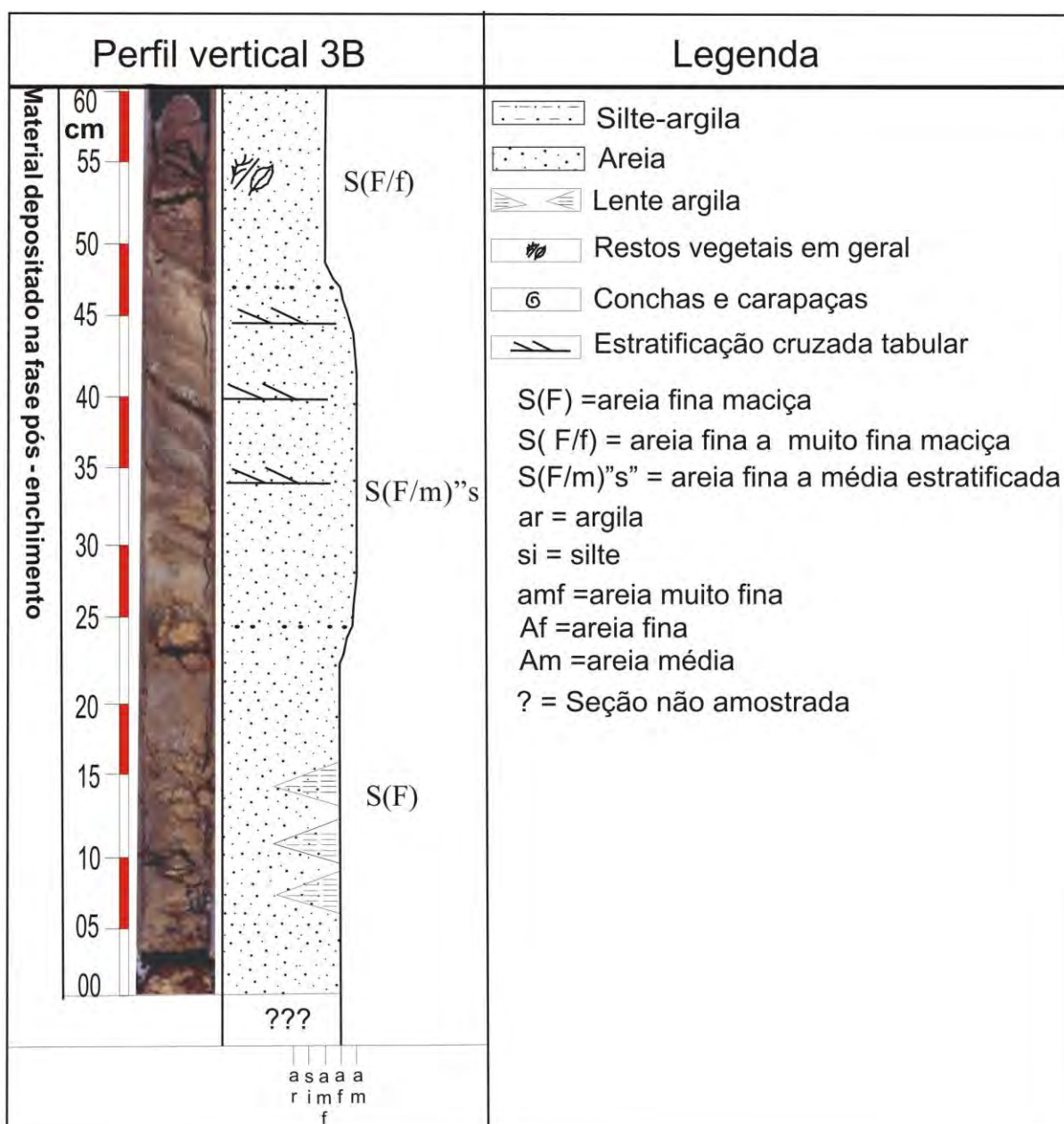


Figura 49: Perfil vertical da amostragem no local 3 B.

Na área de abrangência do perfil vertical 3B, local onde há o predomínio de sedimentos arenoso, houve um resultado moderadamente selecionado

possivelmente de material oriundo das formações Vale do Rio do Peixe e Marília, visto que nesse setor os afluentes só carregam material da Formação Serra Geral, conforme a geologia da área (Figura 46). Neste setor afloram apenas rochas basálticas da Formação Serra Geral, que fornecem argilas como produto de alteração. A presença de areias só pode ser explicada pelo transporte de material oriundo do setor 3 e 5 a montante, cuja rede de drenagem atua em terrenos onde afloram arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e Marília. Quanto maior for a distância percorrida pelo sedimento desde a área-fonte até a deposição no reservatório, maior será a oportunidade de seleção, o que explica o melhor grau apresentado pelo material arenoso amostrado neste setor.

Outros fatores que podem ser levado em consideração para explicar o sedimento inconsolidado do perfil 3B pertencer à classe moderadamente selecionada, é que o material depositado nesta área tenderia a pertencer a Formação Marília, que se apresenta moderadamente selecionado, em relação ao material classificado na classe pobremente selecionada, ou ainda a longa distância percorrida desde a área-fonte até o momento de deposição no lago, indicando que quanto maior for o transporte, melhor poderia ser a seleção, pois os materiais mais finos são separados dos mais grossos, e levados mais adiante.

Os materiais descritos nos perfis 3A e 3B são arenosos e apresentam curvas granulométricas com assimetria muito positiva e positiva. Nos locais onde ocorre o predomínio das granulações silte-argilosos, principalmente próximo à Ilha Grande, as classes de assimetria apresentam-se como negativa e muito negativa, indicando que já havia condições de redução da capacidade de transporte e acúmulo de material, que foi atenuado com a construção do reservatório. Os resultados (gráficos) das análises de sedimentos de fundo coletados no primeiro e segundo trabalhos de campo encontram-se como anexos 15 e 16 (histograma - P1A a P3D e 16 – P3A a P1D).

Confrontando-se os dados do levantamento batimétrico e a topografia da época da construção do reservatório, constataram-se, a partir do modelo digital do terreno constituído para esse setor, um elevado índice de sedimentação e possível formação de depósitos de leito em relação ao material depositado, conforme as propostas metodológicas de Carvalho (1994, 2000) e Morris e Fan (1997), na porção central do lago e nos antigos canais de contorno da Ilha Grande (Figura 46 A e B), supondo-se a ocorrência de um afunilamento em direção à barragem e

assoreamento, quase por completo, na desembocadura dos córregos das Araras e Corgão, com formação de depósitos de deltas.

A comparação dos perfis topográficos de todo o reservatório, de antes e após a construção do lago, permite definir que esse setor é o que mais sofre erosão nas margens (Figura 50), possivelmente devido ao impacto das ondas originadas pelo vento, pela utilização de embarcações e pelos processos antrópicos de ocupação urbana, com a construção de praias artificiais e casas de passeio que não obedecem às legislações ambientais.

A constituição granulométrica e as estruturas sedimentares maciças dos depósitos amostrados nos perfis verticais 1A, 1C, 1D, 1E (Figura 39), 3C e 3D (Anexo 18) indicam que os mesmos foram gerados em ambiente de baixa energia. Esses perfis são constituídos de sedimentos silte-argilosos com restos de matéria orgânica e possuem concreções de ferro e vestígios de oxidação, cor vermelho claro, marrom avermelhado, marrom escuro, cinza e tons de preto.

O processo de sedimentação nesse setor parece não sofrer a influência de correntes de turbidez, pois não foi verificado depósito de areia nos estratos superiores dos testemunhos, indicando que a movimentação e deposição dos sedimentos silte-argilosos são comandados apenas pelos processos de suspensão e decantação. Em sistema lacustre, estes tipos de ambientes e materiais são característicos de depósitos de leito (Carvalho, 1994 e 2000).

Os perfis verticais 1B e 2 (Figura 42 e anexo 18) são constituídos, em sua maioria, por areia siltica na base e material silte-argiloso no topo. A variação granulométrica (granodecrescência ascendente) verificada nestes testemunhos indica a diminuição da velocidade de escoamento da água e a estabilização da vazão, possivelmente provocadas pelo fechamento das comportas do reservatório ou, ainda, pela diminuição dos índices de precipitação na bacia, que favoreceram a decantação das partículas de silte.

Estes testemunhos foram obtidos sobre o antigo canal (perfil vertical 1B) onde se localizava conforme a topografia da época da construção do reservatório a área de praia aluvial (perfil vertical 2) da ilha Grande e, atualmente, estão sobrespostos por material sedimentado após a fase de enchimento (conforme a comparação dos perfis topográficos atual e antigo). A passagem gradual e a deposição de material silte-argiloso sob arenoso é a representação clássica das modificações proporcionadas pela alteração do ambiente fluvial para lacustre (Lopes, 1993).

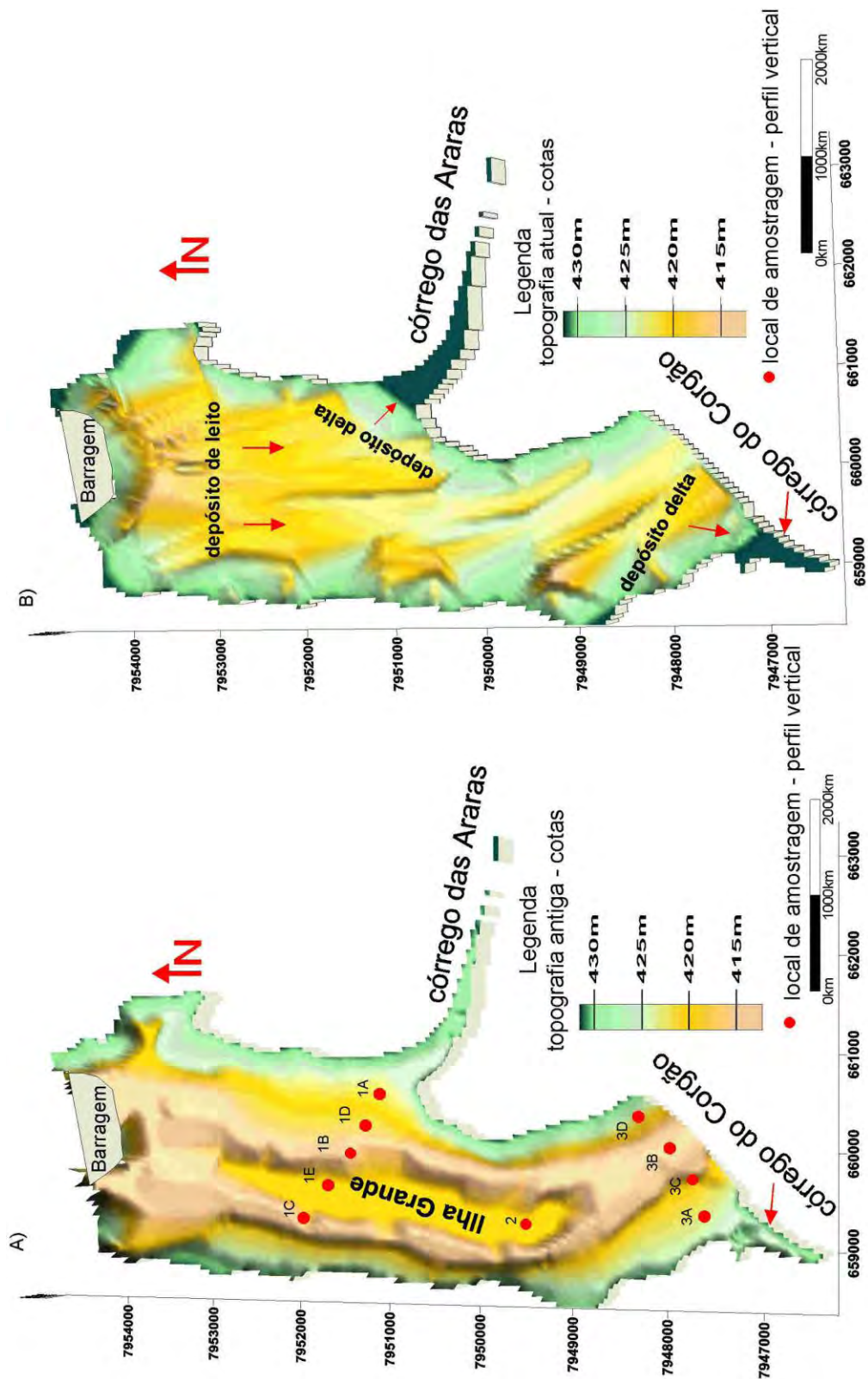


Figura 50: Modelo digital do terreno referente ao período anterior a formação do lago e ao período atual, após a fase de enchimento com a deposição de sedimentos.

Sendo esse setor da bacia hidrográfica constituída somente por rochas da Formação Serra Geral e latossolos, e levando-se em consideração as possíveis

modificações que ocorrem na passagem fluvial/lacustre, é possível explicitar que o material silto-argiloso é depositado pelo processo de decantação das partículas em suspensão devido, à diminuição da velocidade de escoamento da água e ao aumento da seção transversal, enquanto que o material arenoso verificado nestes perfis deve ter sido transportado por tração, trazidos por fluxos internos do corpo d'água, quando a corrente de fundo ainda tinha força suficiente.

Já os perfis 3A e 3B poderiam ser considerados anômalos quando relacionados aos outros testemunhos desse setor, pois no perfil vertical 3A (Anexo 18) o material silte-argiloso ocorre na base do testemunho e no perfil 3B o testemunho é formado de material arenoso de diferente granulometria da base ao topo, sendo que os afluentes desse setor só carregam material da Formação Serra Geral e latossolos de granulação predominantemente argilosa.

A sobreposição de material arenoso sobre silto-argiloso no perfil 3A pode ser relacionada a uma possível migração da corrente de fundo, influenciada pela alternância dos fluxos de água advinda da montante e do córrego do Corgão, a qual, por sua vez, relaciona-se à variação pluviométrica existente na bacia, conseguindo transportar até este local materiais oriundos das formações Vale do Rio do Peixe e Marília.

O perfil vertical 3B (Figura 49), é constituído de areia muito fina com lentes de argila depositadas na base. Acima do estrato anteriormente citado, depositou-se areia média a fina, com estratificação cruzada, de base erosiva, que posteriormente passou para areia siltosa no topo, com vestígios de matéria orgânica. Esse perfil apresenta três estágios que correspondem a: 1) refere-se a energia com fluxo de baixa energia, evidenciada pelas lentes de argila; 2) granocrescência ascendente de areia fina a média com estratificação, indicativo de que o ambiente inicial tinha energia alta o suficiente; 3) granodescrescência da areia fina a média para fina ocorrida possivelmente devido à diminuição da velocidade de escoamento da água, estabilização da vazão, pelo fechamento das comportas, ou diminuição do volume de precipitação na bacia.

A sedimentação na área de abrangência do transecto 3A e 3B, quando comparado com os perfis 3C e 3D, parece refletir um sistema de estrutura intermediária que nem sempre poderia evoluir para o modelo deposicional de leito delta, representando, assim, o modelo deposicional de corrente.

A presença de mica verificada no material arenoso desses perfis não indica proximidade de área-fonte, pois o processo de intemperização do basalto não origina mica. As micas provêm de áreas mais distantes, postos que os rios que ali afluem percorrem áreas de basaltos.

Soares (1990) relacionou a presença de mica na sua pesquisa ao transporte em suspensão/tração devido ao seu hábito placóide, e no caso de Cachoeira Dourada, a mica pode ser oriunda da meteorização das rochas das outras formações existentes na bacia (formações Vale do Rio do Peixe, Marília e Complexo Granítico Gnáissico).

A área de abrangência dos perfis verticais 1 (A, C, D e E) e 3 (C e D) apresentam-se atualmente como a principal área de deposição do material particulado fino (silto-argiloso). O predomínio deste tipo de sedimento verificado nos perfis verticais está supostamente relacionado ao barramento da água pela construção do reservatório, pelo aumento da seção transversal do rio em relação ao reservatório, pela diminuição da velocidade de escoamento da água, estabilização da vazão e pela suavização da topografia de fundo por meio do processo de assoreamento.

Na área de abrangência dos perfis verticais 1B e 2, foi possível avaliar entre os estratos analisados a transição do depósito de corrente para leito devido à deposição de material arenoso para siltoso, conforme descrito na literatura para ambiente lacustre. Os perfis verticais 3A e 3B, foram classificados como correspondentes a um sistema deposicional de corrente, quando relacionados aos outros perfis amostrados nesse setor.

Segundo o modelo de depósito proposto por Carvalho (1994, 2000) e Morris e Fan (1997), os materiais Acumulados nesse setor do lago correspondem a depósitos de leito.

No geral é possível supor, para esse setor, que a construção da barragem e as ações antrópicas na bacia interferiram na dinâmica de escoamento, acelerando os possíveis processos erosivos naturais existentes, enquanto os obstáculos, como a ilha Grande, e os aumentos das seções transversais modificaram o processo de transporte e sedimentação, ocasionando o surgimento de ambientes de menor energia onde predominam os processos de assoreamento.

A partir da construção da barragem com a modificação do nível de base delimitada (lago), se altera a forma do antigo canal e se muda a capacidade de

transporte dos sólidos em particular. Desse modo, a área compreendida pelo espelho d'água transforma-se em área de sedimentação, definindo-se, assim, a primeira área de influência.

6.2.4 – Setor 2 – Trecho compreendido entre os córregos do Corgão e Flecha

Nesse setor o substrato rochoso é formado unicamente por rochas da Formação Serra Geral (Figura 51), que tende a originar material silte-argiloso devido ao processo de intemperização e pedogênese.

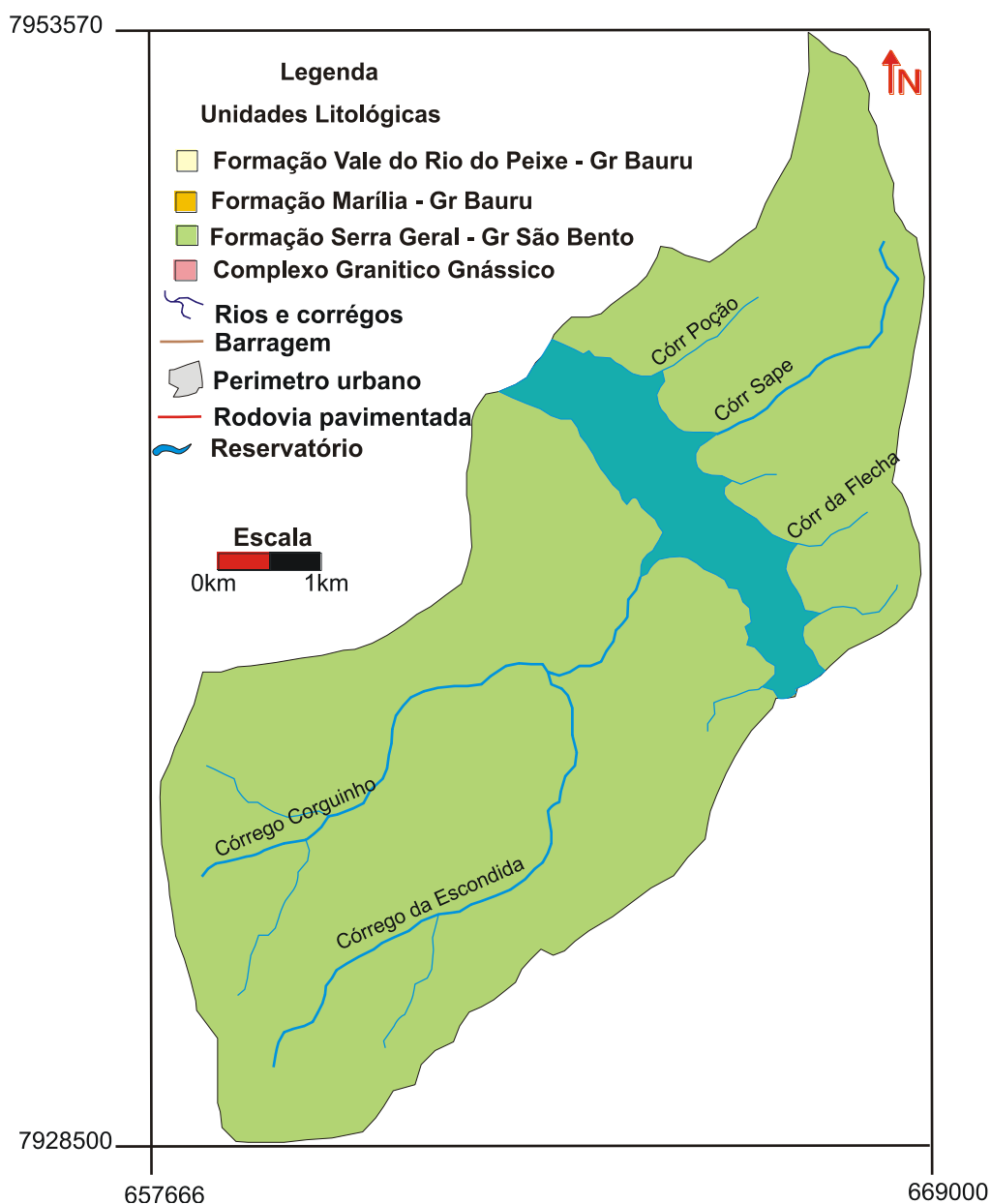


Figura 51: Mapa geológico do setor 2.

Os valores de concentração de sedimentos em suspensão medidos nos dois períodos avaliados são de, respectivamente, de 10 e 15 mg/l, mas há um aumento da concentração, próximo ao córrego da Escondida (local onde foram coletadas as amostras de água 5A e 5 B no período úmido – Quadro 7), para até 20 mg/l no período seco. O aumento da CSS nesse local pode ser associado à presença de um depósito de material siltoso na margem esquerda do reservatório (Figura 52), indicativo de que os processos erosivos localizados não são os únicos responsáveis pelo fornecimento de material para a carga em suspensão, pois se verifica que, entre o córrego da Flecha e o do Paiol, ocorreu uma diminuição deste valor.



Figura 52: Depósito de material localizado na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Escondida devido à restauração de estradas vicinais.

Os valores de atenuação da visibilidade da água nesse setor variaram entre 70 a 110 cm, o que indica, como o primeiro setor analisado, que este trecho apresenta características de local de deposição dos sedimentos particulados finos para o parâmetro analisado aos mesmos fatores já destacados para o setor 1. Nos pontos de amostragem próximos ao depósito de material, junto à margem a visibilidade da água atingiu valores entre 30 e 70 cm.

Na comparação entre os perfis topográficos (atual e antigo), verificou-se que a formação dos depósitos de sedimentos é da ordem de até 10 m de espessura na margem direita do reservatório (Figura 53), decrescendo em direção a jusante. O acúmulo de sedimentos neste trecho do reservatório pode estar relacionado ao avanço da agricultura e da pecuária, à falta de cobertura vegetal nas bordas da represa e ao intenso processo erosivo, causado pelas chuvas e desmoronamento das bordas pelas ondas.

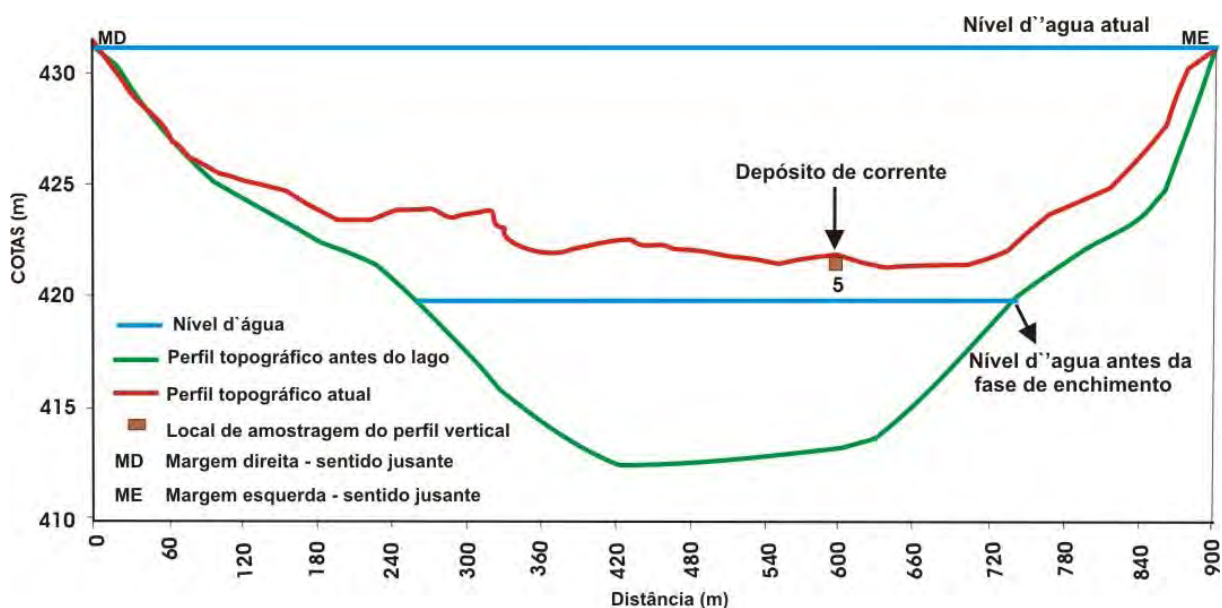


Figura 53: Perfil topográfico/batimétrico transversal com representação de depósito de corrente próximo ao córrego da Flecha.

O volume estimado de material depositado neste setor a partir da comparação topográfica antiga e atual é de $67 \times 10^6 \text{ m}^3$, tendo perdido cerca de 48,5% da sua capacidade de armazenamento quando comparado ao volume inicial. Um valor percentual próximo a este foi verificado por Modesto (1999) na sub-bacia do Ribeirão Apurus no estudo do assoreamento da represa Billings. O autor apontou como causas principais a retirada da cobertura vegetal, a expansão urbana e a criação de clubes de recreação. Nesse setor de Cachoeira Dourada, a bacia hidrográfica é ocupada por práticas agrícolas e pela pecuária de forma predominante.

A análise granulométrica da camada superficial de sedimentos de fundo indica o predomínio de materiais pobremente selecionados e muito pobremente selecionados nos períodos úmido e seco, indicando possivelmente proximidades das áreas-fonte e/ou pouco retrabalhamento.

A partir da avaliação dos resultados (Quadro 9 e 10), verificou-se que, no período de maior intensidade pluviométrica sobre a bacia (estação chuvosa), assimetria das curvas granulométricas apresentam-se entre muito positiva e negativa, o que demonstra a heterogeneidade dos sedimentos depositados e a diferença de velocidade de escoamento no momento de deposição. No período de estiagem (seco), as curvas granulométricas do material sedimentado apresentam-se com características assimétricas entre muito negativa e aproximadamente simétrica (histogramas P4A a 8C – anexo 15 e histogramas P4B a 7B - anexos 16) indicando o predomínio da deposição de material silto-argiloso no reservatório.

Comparando as cartas topográficas da época da construção do reservatório, e o material amostrado com a draga de peterson nos dois trabalhos a campo, é possível destacar que o material siltoso foi depositado sobre as áreas de antigas planícies de inundações, enquanto as areias muito finas a finas, em antigos ambientes de canal, podendo definir-se como carga sólida de arrasto ou salto, que rolou e deslizou longitudinalmente no curso de água e está em contato contínuo com o leito. Isso nos permite supor que as areias depositadas e/ou redepositadas são carregadas de montante pelo antigo canal do rio Paranaíba, principalmente no período de maior vazão ou estação úmida, enquanto o material silto-argiloso é depositado principalmente no período seco devido à menor velocidade de escoamento da água, visto que os afluentes que deságuam neste trecho do reservatório transportam material somente oriundo da Formação Serra Geral por intermédio dos córregos do Sape e Flecha, pelo lado de Goiás, e córrego da Escondida, pelo lado de Minas Gerais.

Os perfis verticais indicam que o material amostrado no transecto dos testemunhos 4 A e 4 B (Figura 54) parecem refletir a variação do nível da velocidade de escoamento da água, assim como as variações do material erodido e transportado das áreas-fonte, conforme a variabilidade pluviométrica existente na bacia. Isso porque se intercalam material de areia com silte e argila e se detecta a presença de carapaças e restos vegetais.

O perfil vertical 4A apresenta três estratos de granocrescência ascendente, e o segundo e o quarto estratos do testemunho apresentam características de influência do regime de fluxo trativo superior, com presença de carapaças. Esta intercalação de material pode ser associada a depósito de corrente, proporcionada

pelas possíveis oscilações da corrente de fundo, aos índices pluviométricos ocorridas na bacia e pelas modificações na velocidade de escoamento da água.

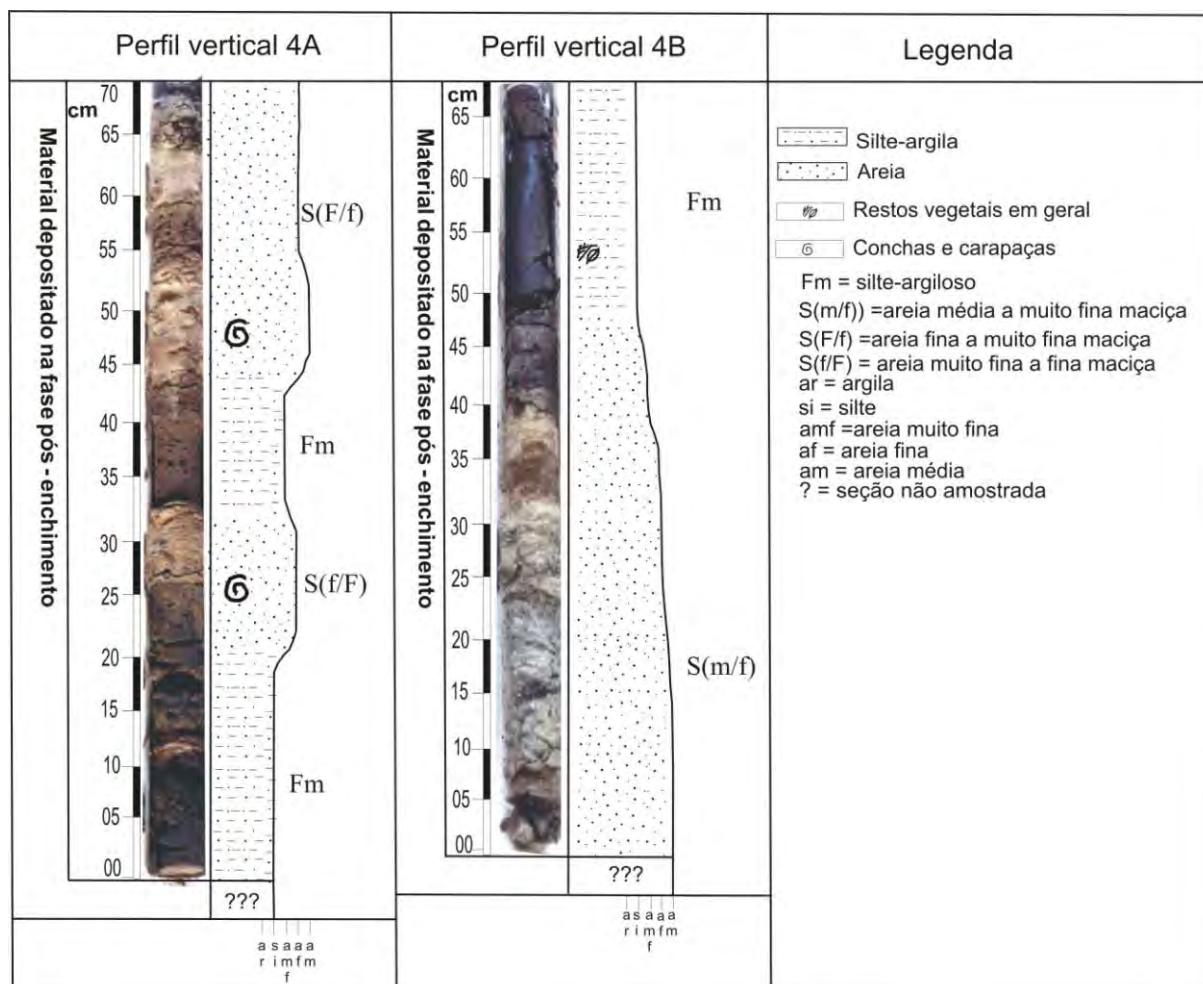


Figura 54: Perfis verticais das amostras 4A e 4B.

Segundo Garde e Raju (1985), citado por Chella (2002), uma corrente de densidade pode ser definida como o movimento de um fluido sobre, através ou sob outro fluido, com densidades muito semelhantes entre si. As correntes de densidade ocorrem quando um fluxo, carregado de sedimentos, entra em um reservatório com água limpa e move-se para jusante ao longo de um talvegue submerso. Essas correntes podem ser divididas, segundo Morris e Fan (1997), em: corrente de deposição, que deposita sedimentos sobre o leito; corrente de erosão, que remove materiais do leito; corrente de auto-suspensão, que não remove nem deposita materiais.

O perfil (4 A) situa-se sobre o antigo leito do rio, que é influenciado pelas águas advindas do córrego do Sape, que só transporta material oriundo da Formação Serra Geral conforme o substrato rochoso da área, mas que deve depositar o material na área de delta formado no encontro com o lago. Este testemunho formou-se pelo acréscimo lateral e vertical da carga de fundo/suspensão; geralmente apresenta estrutura bem maciça e observa-se decréscimo ascendente entre os estratos.

No perfil vertical 4B a granodecrescência ascendente indica uma diminuição da energia na deposição do material, arenoso para siltoso. Este tipo de processo pode ser associado ao avanço do depósito de delta sob o depósito de corrente de deposição, pois os materiais arenosos verificados neste testemunho só poderiam ser depositados nesse local por um regime de fluxo trativo superior (correntes internas do reservatório), pois os afluentes desse setor só transportam matérias de alteração da Formação Serra Geral e a amostragem foi realizada sobre a área de influência da antiga margem (direita) do rio Paranaíba com o local da desembocadura do córrego do Sape.

A área de abrangência desses perfis (4A e 4B) apresenta-se, em relação com o antigo curso do rio como forma de reordenamento quanto ao processo de sedimentação devido à possível migração do antigo leito do rio Paranaíba mais para o lado esquerdo e ao avanço do delta do córrego do Sape sobre a margem direita do reservatório. O material silto-argiloso, que constitui a base do material amostrado no perfil vertical 4B, é em maior proporção provavelmente proveniente da decomposição das rochas da formação Serra Geral e do latossolo predominante na bacia.

Os perfis verticais 5 e 6 (Figura 41) foram amostrados em depósitos sobre o antigo canal do rio. A granocrescência ascendente indica uma possível influência de corrente subaquosa gerada em ambientes de fluxo de alta velocidade com o aumento contínuo e gradativo do escoamento.

A análise dos perfis 5 e 6 indica que neste setor do reservatório predominam processos de depósitos de correntes sugeridos pela granocrescência dos materiais amostrados nos perfis verticais e associados ao aumento da velocidade de escoamento da água, influenciada por fortes chuvas sobre a bacia do córrego da Escondida e Flecha, além de outros fatores, como possivelmente as diferentes declividade de fundo do lago.

O perfil vertical 7 (Figura 41) apresenta uma granodecrescência de um estrato arenoso para um arenoso/siltoso (S(f)-Fm). O estrato arenoso (S(f)) parece ser resultante da ação fluxotrativo de regime superior, e o estrato arenoso/siltoso está subordinado ao processo de decantação e ao fluxo unidirecional. O perfil 7 foi amostrado sobre o antigo leito do rio, mas o estrato silto-arenoso apresenta-se com aspecto maciço, com areias finas e silte intensamente misturadas, indicando uma possível transição de um depósito de corrente para depósito de leito no futuro, pois este local é influenciado pelo córrego Campo Grande, que transporta material oriundo somente da Formação Serra Geral, conforme o substrato rochoso da área.

No perfil vertical 8C (Anexo 19) predominam estratos arenosos, com granodecrescência ascendente de areia fina à areia muito fina. Isso demonstra que o depósito, inicialmente, foi gerado em situações em que fluxo de energia era maior do que na atualidade. O perfil 8C localiza-se na área entre o antigo leito do rio e as barras laterais antes da fase de enchimento, entretanto o testemunho obtido neste local é composto por estratos arenosos somente da fase de enchimento e foi interpretado como produto de origem de fluxo trativo, podendo ser classificado como depósito de corrente.

A área de abrangência deste perfil (8C) é caracterizada por sedimentos oriundos da formação Serra Geral do lado de Goiás, sendo que os pelitos originados parecem ser transportados e depositados em locais a jusante, permanecendo neste local somente os materiais arenosos, produtos das formações arenosas.

No contexto geral este setor apresenta características de depósito de corrente (Morris e Fan 1997) na área de abrangência dos perfis 4A, 5, 6, 7 e 8C e de depósito de delta para o perfil 4B, segundo o modelo deposicional de Carvalho (1994 e 2000).

Os minerais identificados nos perfis verticais a partir das análises de DRX foram: quartzo, ortoclásio, muscovita, biotita, zircão, calcita magnesiana e feldspato, podendo ser produto de alteração de qualquer uma das formações, não sendo possível correlacionar os mesmos a uma única área-fonte. Os resultados de análise de DRX não contribuem para o tema da pesquisa e por este motivo não serão discutidos em detalhe.

É possível concluir que, devido à sua localização na bacia e por receber os sedimentos arenosos em virtude do avanço do regime fluvial do canal principal em direção ao barramento (já que o substrato rochoso é composto por rochas da Formação Serra Geral), o segundo setor pode ser classificado como depósito de

corrente, talvez porque a morfologia de fundo seja instável, proporcionando migrações da corrente principal entre as margens na busca de caminhos para deposição e transporte dos materiais mais grossos em relação aos finos.

Isso indica que os materiais arenosos desse setor são influenciados pelo regime de fluxo trativo superior e inferior, conseguindo transpor possíveis barreiras naturais e depositar principalmente materiais arenosos nesse setor e silto-argilosos no setor 1, Isso demonstra que os impactos da sedimentação não se limitam somente à área junto ao barramento e geram um segundo setor em transição onde a influência direta se estende, gradualmente, para montante ao longo dos afluentes, e altera-se, assim, a velocidade de vazão.

6.2.5 – Setor 3 – Trecho compreendido entre os córregos da Flecha e do Candango

Esse é o setor que apresenta maior possibilidade relativa de aporte de material, produto oriundo da decomposição das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe, com base em estimativas dos valores de intensidade pluviométrica e de erosividade. Esse setor do lago corresponde a 14,3% da área total do reservatório, mas perdeu relativamente 55,4% da sua capacidade de armazenamento de água, conforme indica o cruzamento dos dados topográfico antigo e batimétrico atual.

Quanto às variáveis limnológicas estudadas, verifica-se que entre o córrego da Flecha e o Candango ocorreu aumento dos valores da CSS em relação aos setores anteriores, que oscilaram entre 10 e 25 mg/l. Tal variação supõe-se que se deva aos seguintes fatores: 1) ao maior fluxo de material, possivelmente produto da decomposição das rochas das formações Serra Geral e Vale do Rio do Peixe, carregados pelos córregos do Paiol, Baixadinha, Candango e Ribeirão Piratininga; 2) ao aumento da velocidade de escoamento pelo maior número de afluentes existentes na área; 3) à erosão das margens; 4) à falta de cobertura vegetal nas bordas; 5) à agricultura e à pecuária intensivas.

Entre o córrego do Paiol e do Candango também foram verificados, nos períodos úmido e seco, os menores valores de visibilidade SEC (entre 30 e 80 cm), proporcionalmente inverso a CSS.

Novo e Braga (1991, 1995) e Pereira Filho (2000) mencionaram que a concentração de sedimentos em suspensão está relacionada com o débito e com a velocidade do fluxo dos canais que alimentam um reservatório, que, no caso de

Cachoeira Dourada, tende a aumentar o fluxo neste setor devido à maior contribuição proporcionada pelas bacias de captação do córrego do Balsamo e Ribeirão Piratininga em relação aos setores anteriores.

Sendo assim, conforme o pensamento dos autores anteriormente citados, a diminuição da visibilidade da água em relação ao aumento dos valores de CSS é de forma diretamente proporcional ao aumento da velocidade de fluxos. Os maiores volumes de água e sedimentos são proporcionais aos canais em épocas de maiores precipitações. Com o aumento do débito proporcionado, assim, os mencionados autores dizem que a velocidade de fluxo, fornecimento e transporte de sedimento dependem da intensidade e duração das chuvas sobre a área de drenagem.

No caso desse setor na bacia de Cachoeira Dourada, os estudos de pluviosidade e erosividade apresentaram sempre os maiores valores, conforme os dados do posto pluviométrico Avantiguara.

Esse setor do reservatório é completamente desguarnecido de matas ciliares, sendo as suas margens utilizadas para agricultura e pecuária (Figuras 55 e 56). Esse fato colabora para que haja o aceleração do processo de remoção dos sedimentos da área da bacia.

O substrato rochoso desse trecho do reservatório (setor 3) é composto por rochas das Formações Vale do Rio do Peixe e Serra Geral (Figura 57). Quanto às características sedimentológicas desse setor do lago, os mesmos se caracterizam por apresentar predominante a deposição de silte grosso e areia fina no período úmido e areia fina no período seco (Quadros 9 e 10). A porcentagem de areia sedimentada nesse setor variou entre 9,23% e 92,95%.

Na desembocadura dos córregos do Paiol e do Candango, ocorre a deposição de areias fina e muita fina, possivelmente produto da decomposição dos arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e latossolos. Essa é a principal área de aporte de sedimentos arenosos quando relacionada aos estudos de pluviosidade, erosividade, intensidade pluviométrica, CSS e visibilidade da água.

O grau de seleção dos sedimentos amostrados nesse setor está entre pobremente e muito pobremente selecionado (histogramas P8B a P10B – anexo 15 e histogramas P10A a 8B - anexos 16), com assimetria da curva granulométrica classificada como muito positiva no período úmido e com predomínio da deposição de silte grosso, seguido de areia fina e muito fina na desembocadura dos afluentes no reservatório.



Figura 55: Exemplo de exposição do terreno e favorecimento da erosão na margem, causada pela pecuária e ação de ondas do lago na margem direita do reservatório próximo ao córrego da Flecha.



Figura 56: Exemplo da possibilidade de contribuição de sedimentos, dado ao uso agrícola, na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Baixadinha.

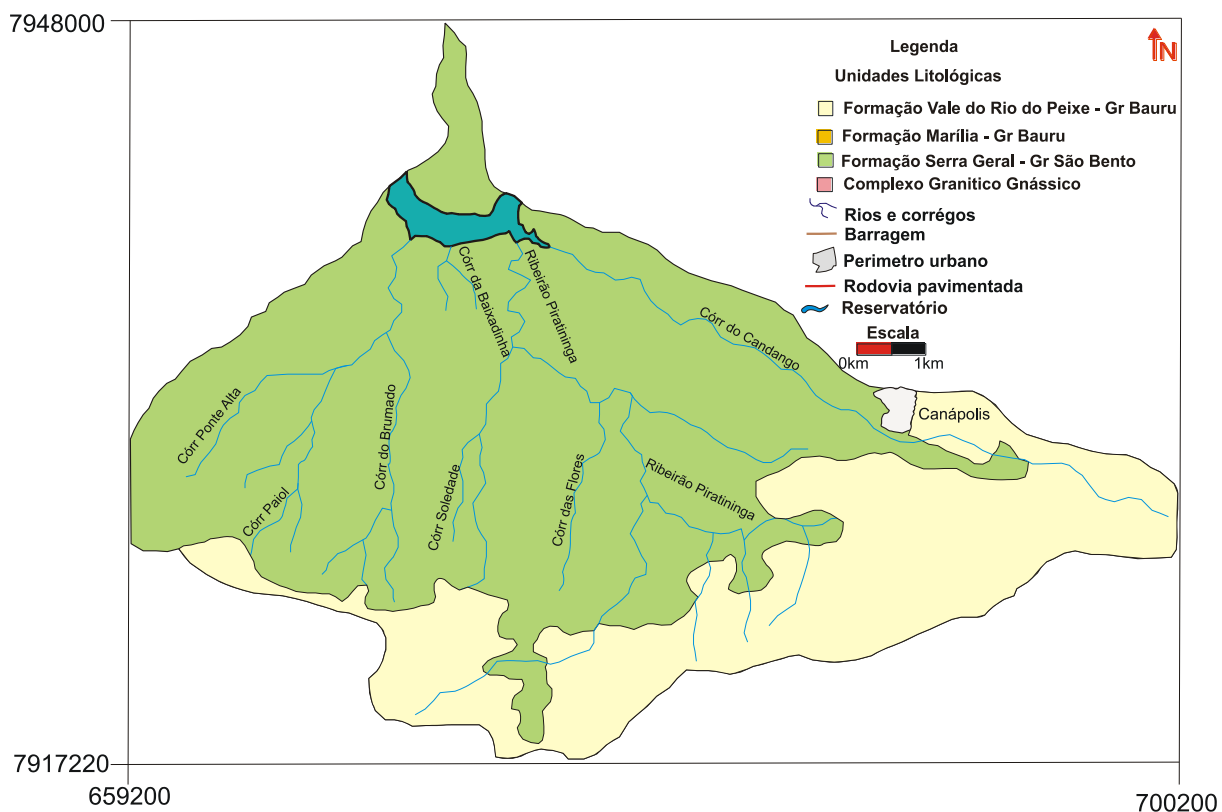


Figura 57: Mapa geológico do setor 3

No período seco, se verificou o predomínio de material muito pobremente selecionado, com assimetria das curvas granulométricas entre negativa e aproximadamente simétrica e com predomínio da deposição da areia fina tanto na desembocadura dos afluentes com o reservatório quanto no leito principal, depositando silte grosso na parte interna da curva.

Confrontando-se os dados dos perfis topográficos originais e batimétricos atuais, permitiu-se estimar que o material assoreado neste setor correspondesse a $41 \times 10^6 \text{ m}^3$, e a espessura aproximada do depósito sedimentar (considerando-se uma deposição uniforme em toda a área) é de 2,12 m.

A taxa de sedimentação assim estimada é de 3,7 cm/ano, considerada alta quando comparada aos outros setores do reservatório anteriormente apresentados. De acordo com o perfil topográfico do período de construção do reservatório, antes da fase de enchimento, esse setor apresentava profundidade média relativa ao nível atual do lago em torno de 9 m e hoje apresenta uma profundidade aproximada ao redor de 5 m.

Os modelos digitais do terreno (MDTs) de 1959 e de 2005 (Figura 58 A e B) mostram tendência geral de assoreamento e o avanço dos depósitos de deltas em

direção a jusante, possivelmente em decorrência do avanço dos afluentes (o córrego do Candango e o ribeirão Piratininga), que carregam para o interior do reservatório sedimentos oriundos da alteração das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe.

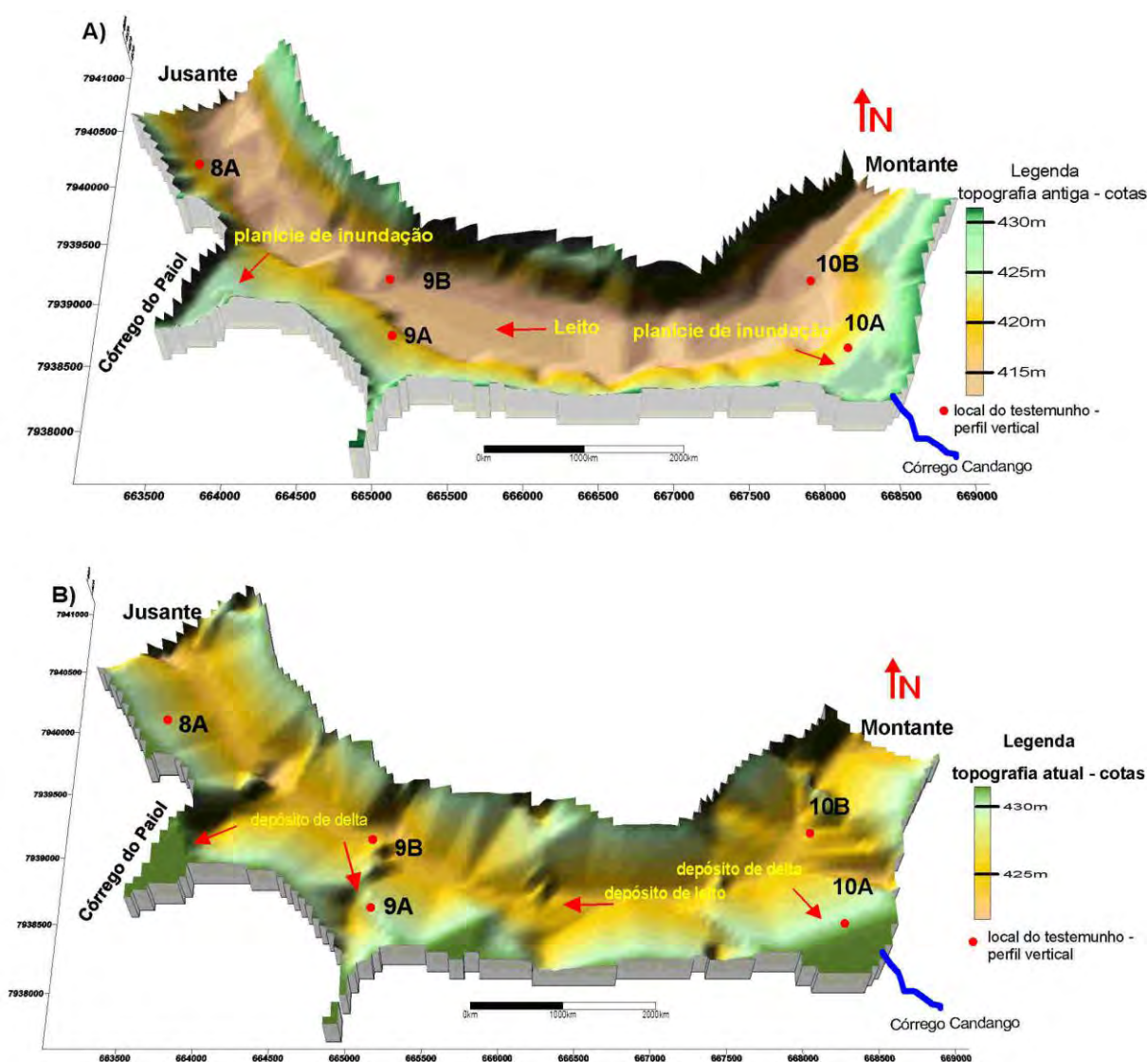


Figura 58: Modelo digital do terreno do setor 3, referente ao período anterior a formação do lago e período atual após a fase de enchimento do lago.

Na Figura 58 A é possível observar que o antigo leito do rio apresenta-se quase que totalmente assoreado e as antigas áreas de planície dos córregos do Paiol e do Candango, que se encontravam na faixa dos 4 m de profundidade, caso não ocorresse o processo de sedimentação, hoje se encontram com apenas 1,5 m de profundidade.

Quando se confrontam os perfis topográficos atuais e antigos, com os materiais coletados com o amostrador “CLS”, verifica-se que os depósitos estudados nesta seção são referentes somente à fase de enchimento.

No perfil vertical 8A (Figura 43), verificou-se que o material depositado na base é composto por sedimentos silto-argilosos, com presença de matéria orgânica na base, sedimentos de cor marrom escura. Acima do material silto-argiloso foram depositadas areias muito finas a finas com micas.

O perfil 8A foi amostrado sobre uma antiga área de transbordamento (planície de inundação), que tendia a receber sedimentos siltosos e arenosos em épocas de enchente; conforme as cotas topográficas antes da fase de enchimento, mas o material amostrado na atualidade é correspondente à fase após o enchimento do reservatório.

A granocrescência ascendente observada neste testemunho pode ser relacionada à um fluxo unidirecional, diminuição da velocidade de escoamento da água, diminuição dos valores de precipitação na bacia, diminuição do transporte de sedimentos pelo afluente e à expansão do delta do córrego do Paiol, que adentra ao reservatório carregando material de alteração da Formação Vale do Rio Peixe.

Na área onde foi realizada a prospecção do perfil vertical 8B, não foi possível coletar sedimentos devido à elevada quantidade de gramíneas e blocos de basalto, o que dificultou a cravação do tubo de PVC.

O perfil vertical 9A (Anexo 19) registra a deposição de sedimentos arenosos (três estratos). A granocrescência verificada na granulometria desse testemunho indica possíveis oscilações na velocidade de escoamento da água no último estrato, evidenciado pelas lentes de material silto-argiloso. Este testemunho foi interpretado como um depósito de delta, originado por um regime de fluxo superior que se caracteriza por baixa resistência ao escoamento e transporte intenso de sedimentos. O aumento do tamanho das partículas arenosas está associado ao aumento da velocidade de escoamento da água, que pode ser associada à variação pluviométrica registrada no posto Avantiguara.

Na amostra 9B (Anexo 19), verifica-se uma granocrescência com contato erosivo entre o estrato de base e topo. Na base do perfil amostrado predomina material silto-argiloso (Fm), contendo matéria orgânica e núcleos de oxidação de cor preta a marrom escura. Acima do estrato argiloso depositou-se areia muito fina a fina de cor amarelada que indica deposição por processo de maior energia. O material

desse perfil parece sofrer influência dos materiais dos deltas do córrego do Paiol e do ribeirão Piratininga, que são condicionados pela variação do nível d'água e da velocidade de escoamento do canal principal.

No perfil vertical 10A (Figura 59), verificou-se que o material da base é composto de sedimentos silto-argilosos (Fm), com presença de matéria orgânica, de cor preta, sendo que acima desse estrato ocorreu a deposição de areia fina, com presença de muscovita.

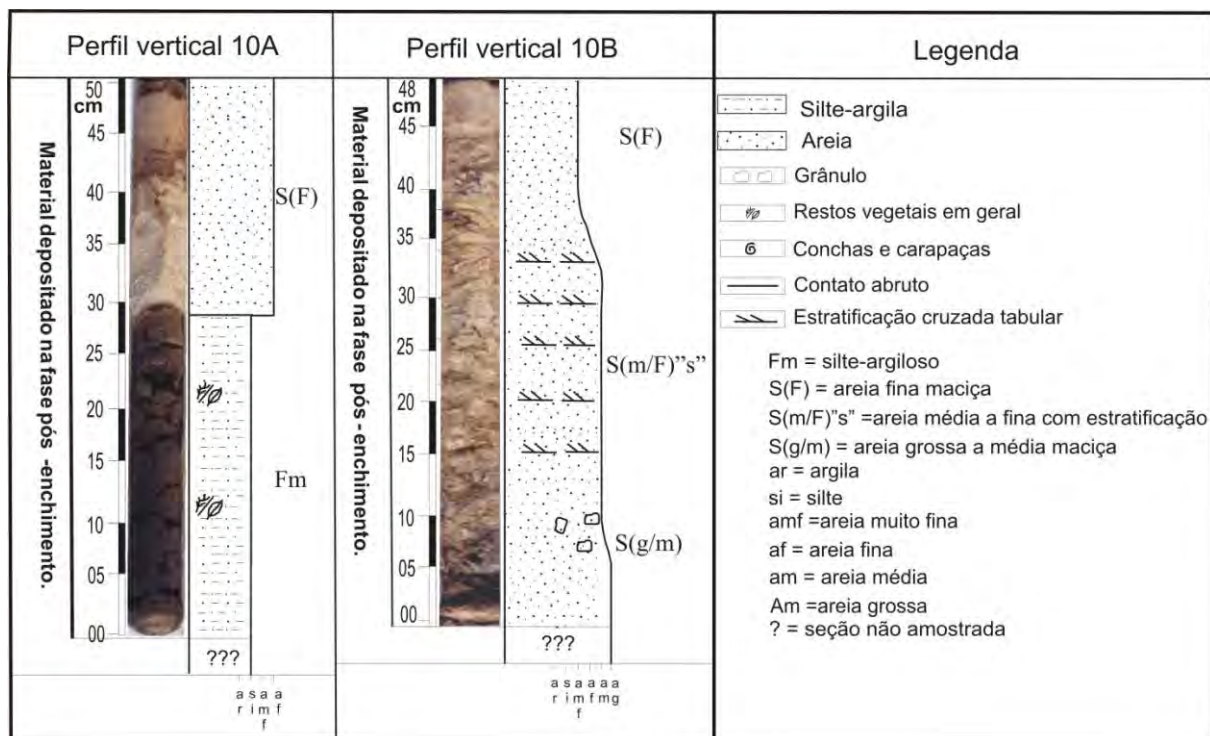


Figura 59: materiais amostrados nos perfis verticais 10 A e 10B

A passagem entre os estratos do perfil 10 A é abrupta, o que sugere ter havido dois ambientes distintos de fluxo de água proporcionados pelo avanço do delta do ribeirão Piratininga no reservatório, situação parecida com a do perfil 9A, visto que este perfil foi amostrado sobre a antiga planície de inundação.

No perfil vertical 10 B (Figura 59), verificou-se uma granodecrescência (areia grossa-média a areia siltosa), com ligeiro afinamento dos grãos para o topo, de cor amarelo-clara. Esse material foi produzido provavelmente pela decomposição das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe, carregado pelo ribeirão Piratininga e córrego do Candango, que possuem as suas nascentes sobre esse tipo de arenito, e, ainda, pelos materiais oriundos da Formação Marília, transportados pelo canal principal do Rio Paranaíba. Esses dois materiais estão misturados com sedimentos

finos oriundos das rochas da Formação Serra Geral, que compõem o estrato rochoso nas margens do reservatório.

O perfil 10 B foi amostrado sobre o antigo canal do rio Paranaíba, e o seu material parecem estar representando o processo de transição de um depósito de corrente para leito no futuro. A gradação dos estratos arenosos grossos e médios (S(g/m)) para fino (S(F)) pode ser interpretada, ainda, como produto do fluxo oscilatório gerado pelo regime de alta energia com período de calmaria devido à estabilização da vazão do reservatório e à influência dos materiais finos oriundos do não aproveitamento de areia pelas dragas nos setores posteriores.

As intercalações de materiais nos perfis 10A e 10B podem ser relacionadas às modificações do uso do solo na bacia hidrográfica, ao processo de extração de areia pelas dragas, que já trabalharam no local e estão trabalhando nos setores acima, à utilização dos pivôs de irrigação que fazem uso da água do lago de Cachoeira Dourada e ao avanço dos deltas. Os tipos de depósitos encontrados neste setor do reservatório correspondem a modelos deposicionais de deltas, segundo a classificação de Carvalho (1994, 2000), para os perfis 8A, 9A e 10A quando analisados em perfil longitudinal e depósito de corrente para os perfis 9B e 10 B.

A intercalação de material silte-argiloso com arenoso nos depósitos de fundo nesse setor pode ser explicada em virtude do avanço do regime fluvial dos afluentes para o interior do reservatório e das diferentes áreas-fonte. Essa é a principal área de aporte de sedimentos arenosos no lago, indicando que ocorre regime de fluxo trativo de alta energia relacionado a uns fluxos de baixa energia que permite a deposição dos sedimentos silte-argilosos.

Entre os córregos da Flecha e Candango (setor 3), os minerais identificados nas amostras são: quartzo, muscovita, biotita, ilmenita, calcita e caulinita. Esse setor é a principal área de aporte de sedimentos oriundos da Formação Vale do Rio do Peixe pelo córrego do Candango e pelo ribeirão Piratininga. Neste setor também não foi possível fazer uma correlação direta entre os minerais presentes, detectados pelo método do DRX, e as possíveis áreas-fonte, pois os minerais identificados podem ser originados de todas as unidades litológicas existentes na bacia.

6.2.6 – Setor 4 – Trecho compreendido entre o córrego do Candango e dos Patos

Nesse setor do reservatório de Cachoeira Dourada, entre o córrego do Candango e o dos Patos, os valores de visibilidade da água oscilaram entre 90 e 100 cm de profundidade no período úmido e 70 e 100 cm no período seco. Esses valores são superiores aos do setor 3 (os valores de CSS e SEC podem ser verificados nos quadros 7 e 8).

A CSS variou entre 10 e 15 mg/l na estação úmida e entre 2,4 e 15 mg/l no período seco. A diminuição dos índices da CSS e dos valores de maior visibilidade em relação ao setor anterior pode estar relacionada à presença de bancos de macrófitas aquáticas (Figura 60 A e B), que retêm parte dos sedimentos em suspensão. Esta variação da CSS pode ser associada, ainda, aos menores fluxos de materiais oriundos da Formação Vale do Rio do Peixe, dada a menor dimensão da área em relação ao setor anterior, à maior preservação das bordas do lago, ao aumento da seção transversal e à menor velocidade de escoamento em relação ao trecho anterior.

A)



B)



Figura 60: Exemplos de macrófitas aquáticas (A:Paliteiros, B:Ilhas) verificadas entre os córregos do Candango e dos Patos.

As macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Cachoeira Dourada são do tipo: 1) macrófitas emersas, plantas enraizadas nos sedimentos de fundo do lago com folhas fora d'água; 2) macrófitas submersas livres, plantas que possuem rizóides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência; 3) macrófitas flutuantes, plantas que flutuam em superfície de água com baixa velocidade de escoamento e em locais protegidos pelo vento.

Caso semelhante ao que ocorre neste setor de Cachoeira Dourada quanto à visibilidade da água (SEC) e CSS foi verificado por Cavenaghi (2003) em cinco

reservatórios do Rio Tietê, destacando-se que a visibilidade da água apresentou um acréscimo em profundidade e as concentrações de sedimentos em suspensão apresentaram um decréscimo contínuo ao longo do rio (da UHE – Barra Bonita para Nova Avanhadava). Isso se deve ao barramento da água e modificação no perfil de equilíbrio do ambiente fluvial para lacustre, que modificou o processo de transporte e deposição do material de montante para jusante. Isso indica a impossibilidade de dissociar os problemas de assoreamento à ocorrência de plantas aquáticas.

Em relação ao processo de assoreamento, este setor apresenta uma redução de capacidade em torno de 50% a partir da comparação dos perfis topográficos com os do levantamento batimétrico, que revelou assoreamento nas proximidades das margens da antiga ilha do Orlandão (Figura 61), valor que decresce para montante. Tal variação pode ser associada ao aumento da seção transversal, que diminuiu a velocidade de escoamento da água e quebra de equilíbrio do perfil fluvial devido à exploração de areia pelas dragas no setor a montante que alteram a topografia de fundo.

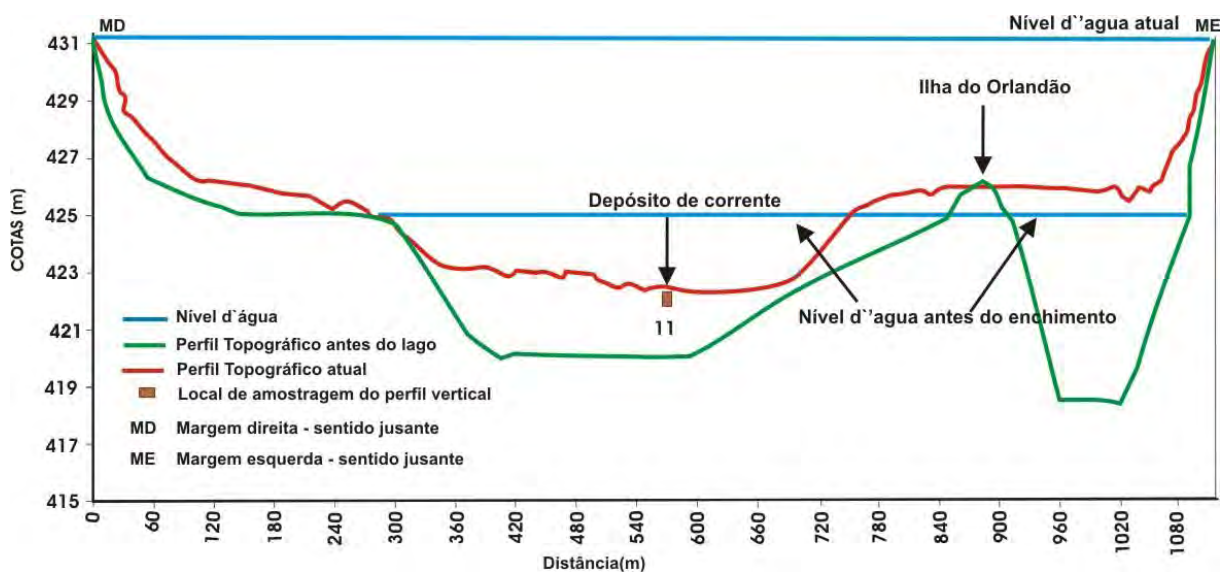


Figura 61: Perfil topográfico/batimétrico latitudinal apresentando erosão de margem e processo de sedimentação junto à ilha do Orlandão.

Nesse setor constatou-se a deposição de material silto-argiloso, possivelmente proveniente da decomposição das rochas da Formação Serra Geral, que é a unidade litológica predominante no substrato rochoso da área drenada (Figura 60) e material arenoso, oriundo das Formações Vale do Rio do Peixe, Marília e Complexo Granítico-Gnáissico, vindos de montante por intermédio do curso

principal do rio Paranaíba, formando bancos de areias (Figura 63) que deram anteriormente origem à antiga Ilha do Orlandão, hoje submersa.

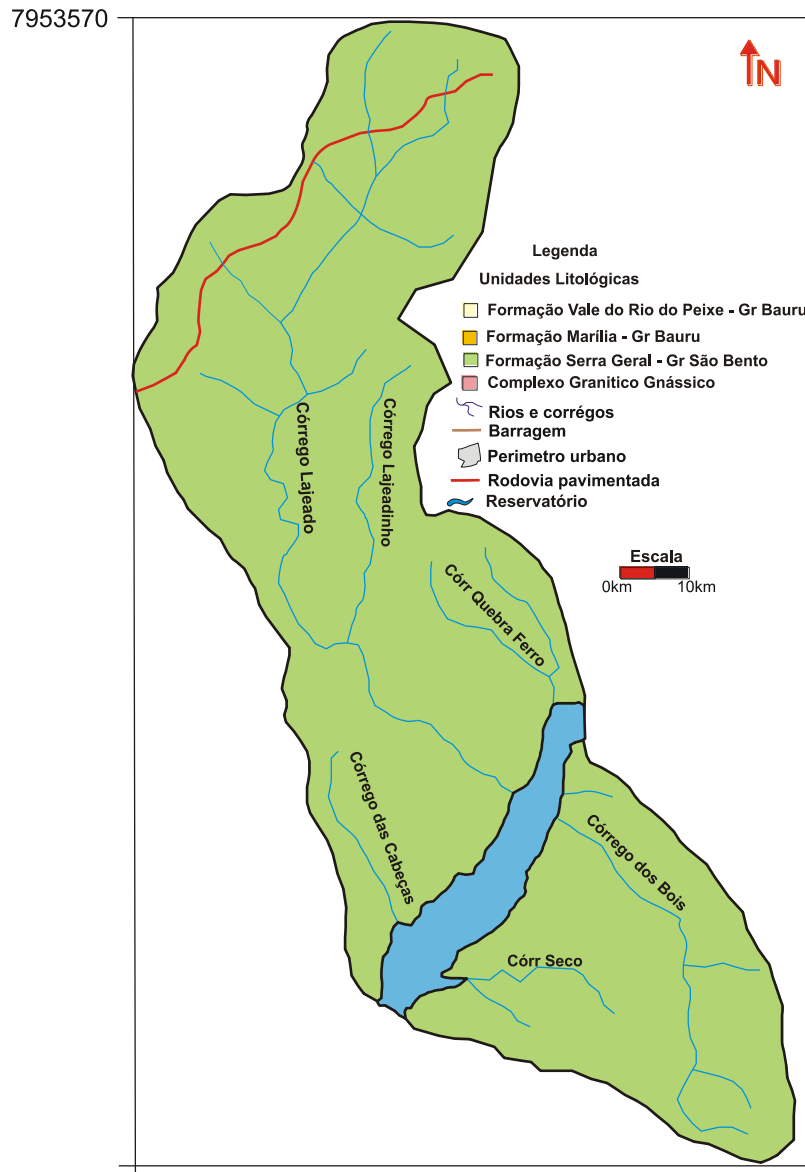


Figura 63: Mapa geológico do setor 4.

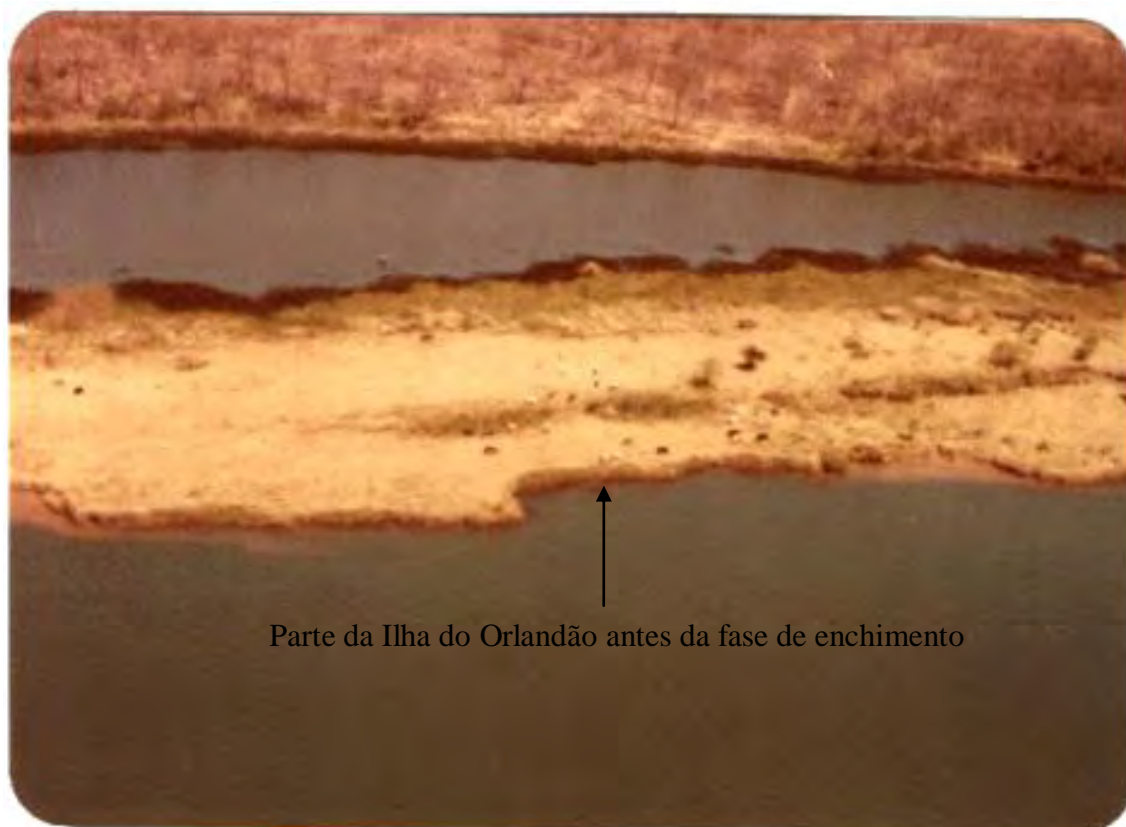


Figura 63: Antiga ilha do Orlandão, existente antes da fase de enchimento do lago (fonte: CDSA, 2003).

Avaliando-se a topografia de fundo na época da construção do reservatório e levando-se em consideração que antes do represamento esse trecho do rio tendia a apresentar características com anastomose fluvial, é possível supor que a Ilha do Orlandão pode ter sido originada de barras laterais longitudinais, quando num determinado momento a correnteza foi incapaz de transportar sua carga, formando um banco submerso que foi adquirindo expressão à medida que foi aproximando-se da superfície d'água (Bigarella, 2003).

Esse banco semi-submerso passa a constituir um obstáculo no leito, propiciando à acumulação de sedimentos mais finos a jusante. O crescimento do volume do depósito, localizado no meio do canal, promove o desvio das linhas de fluxo para as duas margens do canal, que, assim, passam a sofrer erosão. A seção do canal no trecho considerado alarga-se, e a superfície aquosa sofre um rebaixamento fazendo com que o banco, até então submerso, seja exposto adquirindo características de uma ilha (Bigarella, 2003).

A influência antrópica exercida pelo desmatamento na região das cabeceiras dos rios que compõem a bacia de drenagem, pelas atividades de exploração de

areia e, ainda, pelos possíveis despejos de resíduos urbanos contribui significativamente para acelerar o processo de sedimentação deste setor.

O trabalho das dragas no setor 5 (do córrego dos Patos ao Rio Piedade), com a retirada de areias do fundo do rio para fins comerciais e a devolução, para o leito do reservatório, do material considerado impróprio para consumo, principalmente de silte e areias finas, é o principal fator que contribui para o processo de assoreamento deste setor. Entretanto, a feição morfológica da Ilha do Orlandão já apresentava tendências à acumulação de material, conforme os dados descritos pelo DNAEE em 1954 (antes do período de preenchimento). Os estudos da viabilidade da utilização do Rio Paranaíba já indicavam que os processos de sedimentação não eram totalmente determinados pela existência do reservatório e/ou pelo processo de ocupação atual da bacia.

As características texturais dos materiais de fundo depositados nesse setor indicam o predomínio de material arenoso, com curvas granulométricas pobremente selecionadas e muito pobremente selecionadas e assimetria negativa a muito positiva (histogramas P11 a P14 – anexo 15 e histograma P11A a 14B - anexos 16) para as amostragens realizadas no período seco. As amostras do período úmido correspondem às classes de areia média a fina e silte grosso a fino.

Em 1998 essa seção do reservatório era utilizada para exploração de areia (informe do operador da draga, senhor Manoel). Atualmente deixou de ser explorado por apresentar grande quantidade de material silto-argiloso ou ter atingido o extrato rochoso em alguns trechos.

Quanto à descrição dos perfis verticais 11, 13A, 13B (Anexos 20 e 21), verificou-se o predomínio de material silto-argiloso, com cores variando entre preto e marrom escuro. Esses materiais foram transportados possivelmente pelos córregos do Lajeado e dos Patos do lado de Goiás e do córrego dos Bois e Fedegoso do lado de Minas Gerais e foram depositados sobre as antigas planícies de inundação desses córregos. O material amostrado no perfil 14 (Anexo 21) apresenta característica de depósito de corrente, com predomínio de material arenoso, que pode ter sido transportado até aquele local pelo regime de fluxo trativo, visto que os afluentes da sua área de abrangência transportam material somente oriundo da Formação Serra Geral e latossolos que possuem textura argilosa.

Entre os perfis 11 e 14, antes da fase de enchimento, existiam antigas ilhas e planícies de inundação (Figura 64) que atuavam como barreiras naturais, retendo

sedimentos da seção a montante, possivelmente em função da diminuição da capacidade de transporte, proporcionadas pela baixa declividade de fundo, e da diminuição da velocidade de escoamento. Outro fator importante a ser levado em consideração nesse setor é a concentração de sedimentos finos, proporcionada pela exploração de areia.

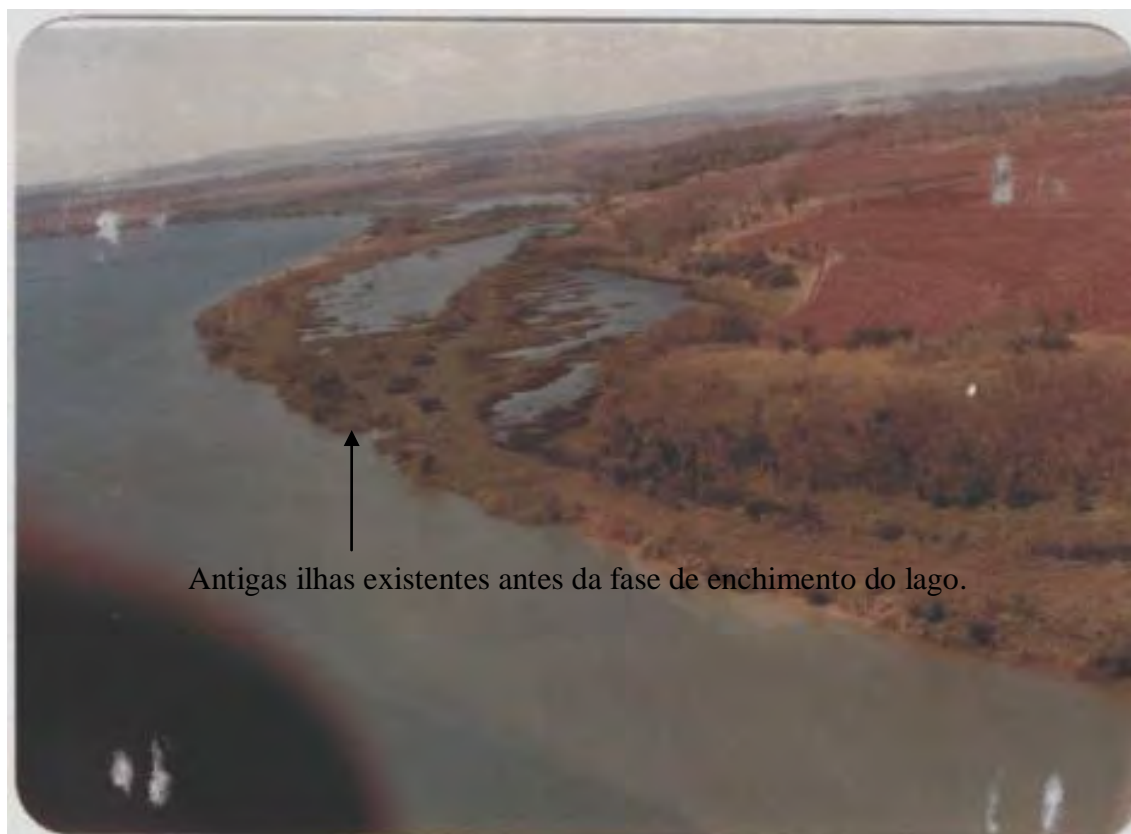


Figura 64: Exemplo de antigas planícies de inundações, formadas nos períodos das cheias, antes da fase de enchimento do reservatório entre o córrego Quebra Ferro e Lajeado (fonte – CDSA 2003).

No local onde foi feita a amostragem do perfil 12, também não foi possível obter amostras devido a uma fina camada de areia sobre o basalto. No geral esse setor apresenta trechos bem encaixados em rochoso (Figura 65). O leito lacustre é irregular, conforme indica o perfil batimétrico levantado em campo, com locais de até 60 metros de profundidade e outros muito rasos, devido à grande proporção de sedimentos depositados, oriundos principalmente do material não aproveitado na extração de areia que ocorre no setor 5.

Na classificação apresentada por Carvalho (1994, 2000), o perfil 13 B pode ser classificado como depósitos de leito, conforme Carvalho (1994 e 2002), e os perfis 11, 13 A e 14, como de corrente.

Neste setor foram identificados os seguintes minerais: quartzo, magnetita, illita, caulinita, mica, muscovita, biotita, magnesita, sílica e manganita. Neste setor também não foi possível fazer uma correlação direta entre os minerais presentes, detectados pelo método do DRX, e as possíveis áreas-fonte, pois os minerais identificados podem ser originados de todas as unidades existentes na bacia.



Figura 65: Exposição do substrato basáltico alterado nas margens do reservatório próximo ao córrego das cabaças.

6.2.7 – Setor 5 – Setor compreendido entre o córrego dos Patos e rio Piedade

Verificou-se que, nesse setor entre o córrego dos Patos e o rio Piedade, os valores da CSS em ambos os períodos oscilaram entre 10 e 20 mg/l. Isto pode estar relacionado à ressuspensão pela remobilização do material de fundo ocasionada pela exploração de areia com uso de dragas (Figura 66) que atuam no local, bem como à menor seção transversal e ao aumento da velocidade de escoamento da água provocado pelo encontro com a da água do rio Piedade, que é o maior afluente em termos de volume de água e vazão, e água advinda de montante pelo rio Paranaíba, que carregam materiais possivelmente originados das alterações das

formações Marília, Vale do Rio do Peixe, Serra Geral e Complexo Granítico Gnáissico.



Figura 66: Exemplos de possíveis oscilações nos valores da CSS e visibilidade SEC ocasionadas pela remobilização do material de fundo a partir da exploração de areia entre o córrego do Bálsamo e o rio Piedade.

As oscilações dos valores pluviométricos na bacia também podem ser consideradas um fator que contribui para a variação da CSS, pois conforme os tipos da textura dos solos podem ocorrer um aumento ou decréscimo dos índices de erosividade.

O índice médio de visibilidade na água (Figura 67 A e B) varia entre 70 e 90 cm de profundidade. O aumento dos valores de CSS e a diminuição da visibilidade da água em relação ao setor 4 podem ser atribuídos principalmente à ressuspensão do material de fundo devido à exploração de areia por meio de dragas e, ainda, ao aumento da carga de sedimentos carreados pelos rios Piedade e Paranaíba, principalmente no período úmido e por intermédio da diminuição da seção transversal do reservatório e do aumento da velocidade de escoamento.

A atividade de extração de areia é feita com draga pelo processo de sucção por bombas, que retira diretamente a areia do fundo do leito fluvial. O processo empregado faz com que os tubos de sucção provoquem um turbilhamento na água,

alterando a sua coloração e aumentando a quantidade de material em suspensão. Dessa forma, a densidade das águas é alterada e sua cor e transparência, modificadas.

A)



B)



Figura 67 – Diferenças de cor da água devido à concentração distinta de sedimentos em suspensão no rio Piedade (A) e no encontro com o reservatório de Cachoeira Dourada (B).

Segundo Silva *et al* (1997), normalmente as margens de rios e reservatórios apresentam-se solapadas em decorrência das atividades extrativas de areia, sobretudo por sucção. Assim, aprofunda-se o talvegue, produzindo uma compensação do processo erosivo nas margens do leito fluvial. A evolução desse processo minerador provoca o desbarrancamento das margens e tufos de vegetação ciliar, incluindo árvores de médio a grande porte, para dentro do rio. Esse procedimento acaba por colaborar com o aumento na quantidade de areia dentro do canal fluvial, estimulando a continuidade do processo.

Nesse setor foi verificada a deposição desde silte fino até areia grossa, que podem ser originados de qualquer uma das formações geológicas que compõem o substrato rochoso nesse setor (Figura 68) e que é carregado pelos afluentes e pelo canal principal do antigo leito do rio Paranaíba.

Os resultados das análises granulométricas para esse setor indicam o predomínio de material pobremente selecionado e moderadamente selecionado, curvas granulométricas com assimetria muito positiva e aproximadamente simétrica, que pode ser associada à existência de fluxo turbulento não uniforme devido às

alterações na profundidade do leito e ao aumento da velocidade da corrente ao longo do canal ocasionado pela exploração de areia.

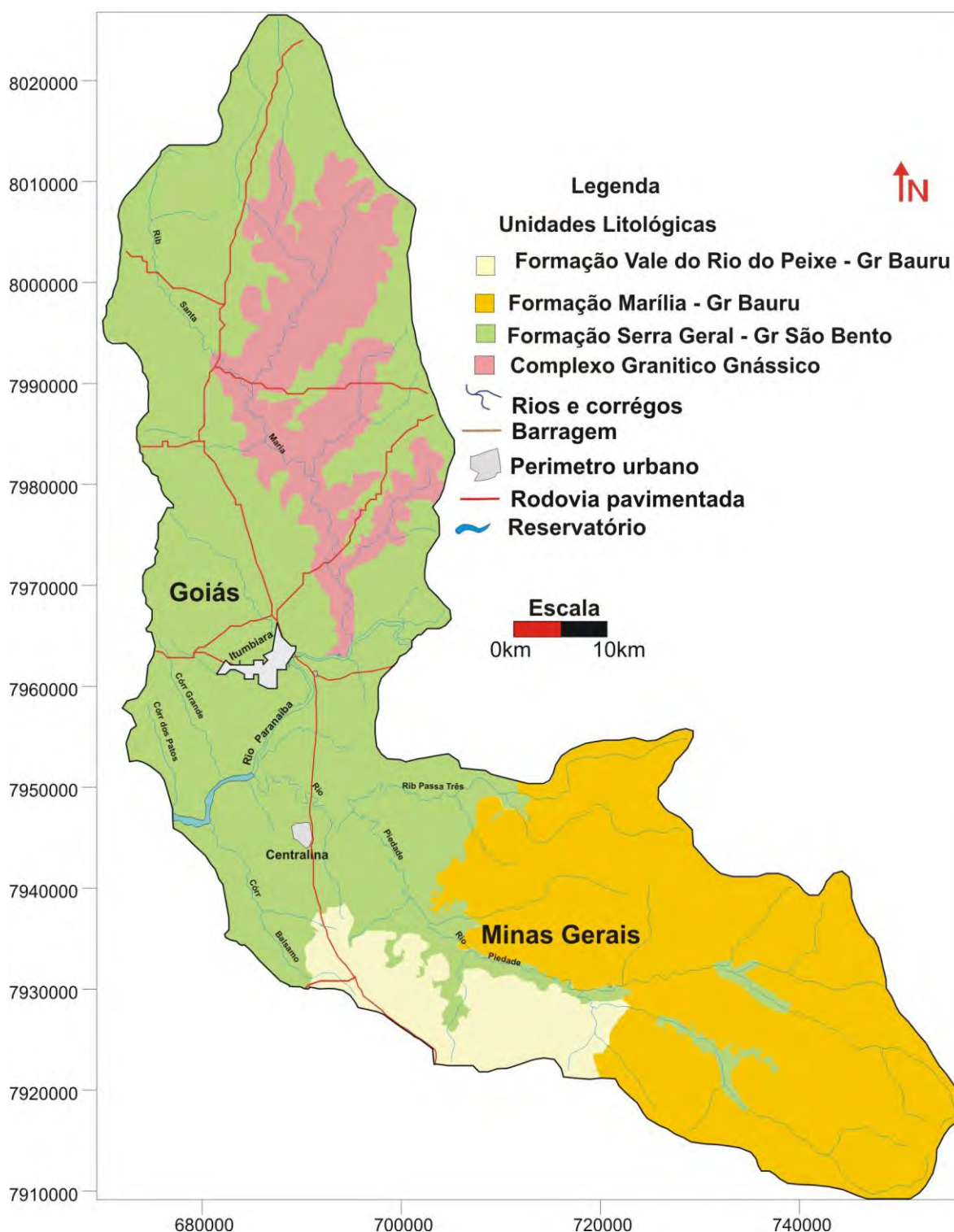


Figura 68 – Mapa geológico do setor 5.

Nas áreas de margens e antigas planícies de inundações, ocorre o predomínio das classes pobremente selecionadas e muito pobremente

selecionadas, com a deposição de silte grosso e areia fina, que pode ser associado à proximidade de áreas-fonte e material não aproveitado na exploração de areia pelas dragas. Os sedimentos moderadamente selecionados e bem selecionados, com a deposição de areia fina e grossa, ocorrem principalmente sobre o antigo leito onde o fluxo é mais turbulento, sendo os materiais possivelmente provenientes das áreas de abrangência dos postos pluviométricos Brilhante e Fazenda Cachoeira Pouso Alegre, que estão sobrepostos aos arenitos da Formação Marília.

Na comparação dos dados batimétricos e topográficos da área entre o córrego do Bálsamo e o rio Piedade, verificam-se as maiores taxas de erosão, proporcionada pela alteração do leito lacustre devido à extração de areia. O volume estimado para esse setor é de $26 \times 10^6 \text{ m}^3$ pelos dados topográficos. Nos dias atuais conforme os dados batimétricos, esse setor possui um volume aproximado de $28 \times 10^6 \text{ m}^3$, proporcionando um acréscimo no volume em 7,1% devido ao processo de erosão vertical e lateral, criando um novo fundo ou nível para o reservatório (Figura 69).

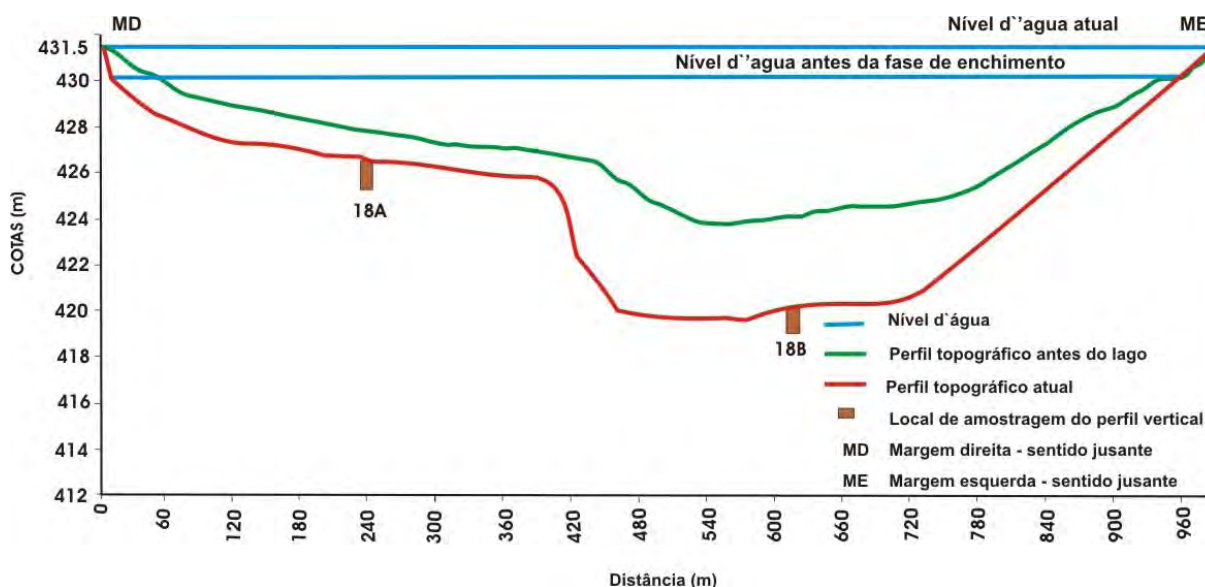


Figura 69: Exemplo de rebaixamento na antiga superfície de fundo do rio ocasionado pelo processo de exploração de areia pelas dragas, próximo à área de abrangência do rio Piedade.

Em relação aos testemunhos amostrados nesse setor, verificou-se que o material sedimentado na base do perfil vertical 15 (Anexo 22) é de areia grossa. O material depositado acima desse estrato (areia média) apresenta carapaças, possivelmente oriundas das formações Vale do Rio do Peixe e Marília, material mal

selecionado que apresenta cor amarelo/avermelhado. A granodecrescência ascendente da granulometria indica uma diminuição do fluxo de energia neste local.

Esse perfil (15) apresenta características de depósito de corrente, visto que os afluentes que atuam nesse trecho onde o mesmo foi amostrado só transportam material da Formação Serra Geral e de solos de textura predominantemente argilosa.

O material depositado no perfil vertical 16 (Figura 70) apresenta intercalações de material, silto-argiloso com arenoso e, em alguns intervalos, materiais bem selecionados e outros mal selecionados. Os dois estágios de granodecrescência verificados podem ser associados a fluxos oscilatórios e efêmeros de alta e de baixa energia, sofrendo influência direta do córrego do Balsamo e do material carregado pelo rio Paranaíba. O material depositado antes da fase de enchimento é composto de areia grossa com grânulos e, após, intercala silto-arenoso.

Pode-se considerar que esse depósito apresenta características de diques marginais e de canal, pois o estrato de areia grossa é representativo da fase de antes da formação do lago; as areias grossas podem ter sido originadas a partir da meteorização das rochas das formações Marília e Complexo Granítico Gnáissico. Após o processo de barramento da água, as fácies posteriormente verificadas foram interpretadas como material que sofre influência devido ao avanço do delta do córrego do Balsamo, que transporta materiais oriundos das formações Vale do Rio do Peixe e Serra Geral, sendo este perfil 16 classificado como depósito de delta.

Esse é o único perfil vertical que apresenta registros do período da época da construção do reservatório e do período atual.

O perfil vertical 17 (Anexo 22) foi obtido próximo ao antigo córrego da Barreira, o qual recebe materiais provenientes de alteração da Formação Serra Geral. Todavia, o local sofre forte influência do rio Piedade, que é o principal afluente do rio Paranaíba na área do reservatório e transporta materiais das formações Vale do Rio do Peixe e Marília. Neste local, o material analisado é recente conforme o perfil batimétrico realizado no local, sendo composta de areia média a grossa misturada com cascalheiras basais e possuindo cores entre marrom claro e amarelo, característico de depósito de corrente.

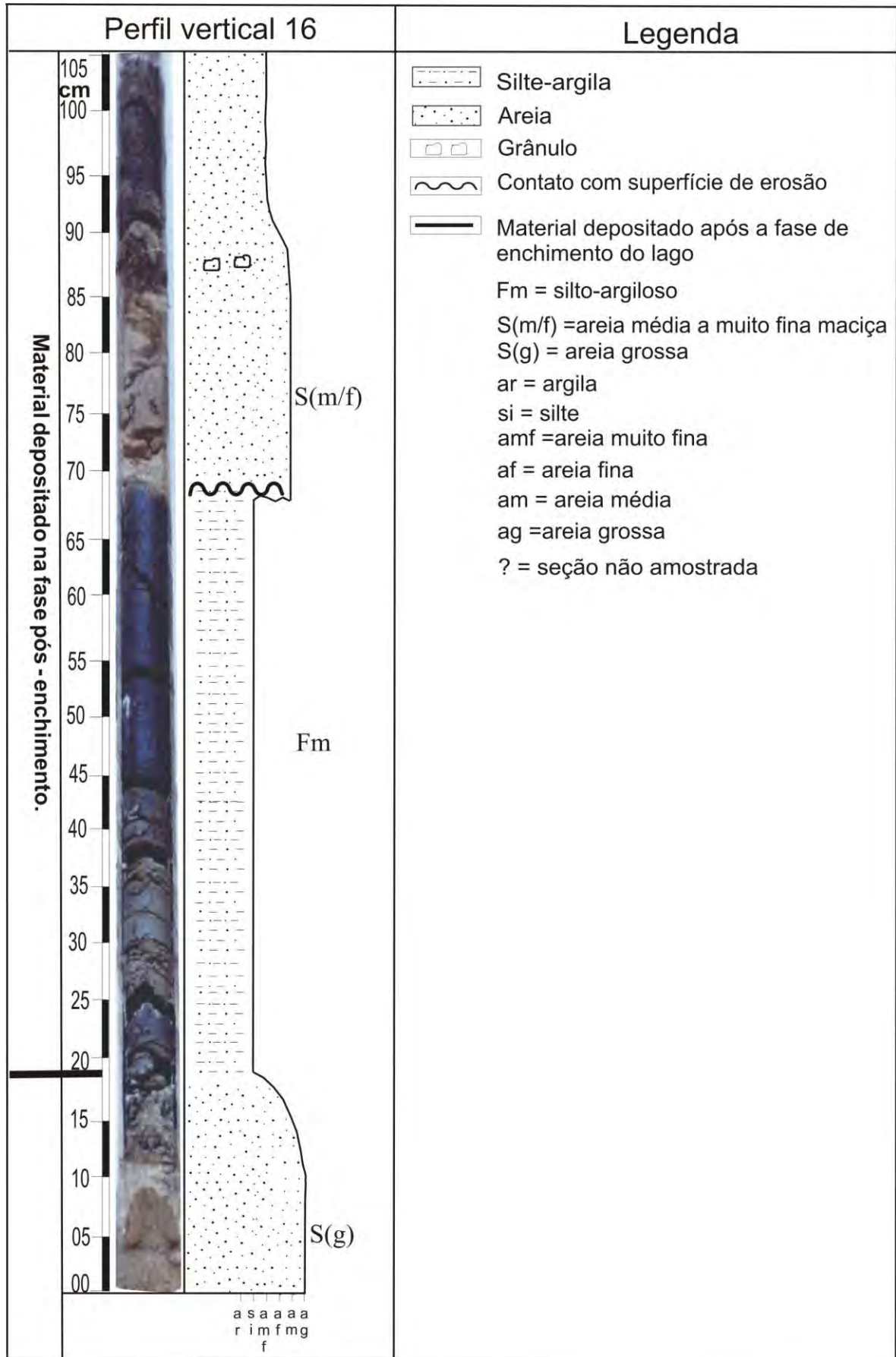
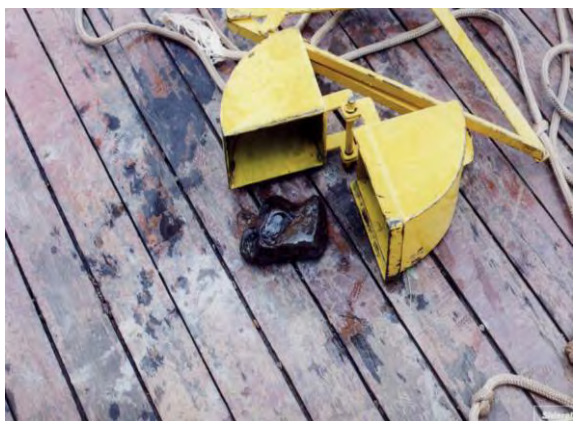


Figura 70: material amostrado no Perfil Vertical 16.

Nos locais de amostragem dos perfis verticais 18A, 18B e 19A não foi possível obter amostras com o equipamento “CLS” devido à pequena espessura dos depósitos. Verificou-se que esses locais são constituídos por uma fina camada de areia grossa sobreposta ao basalto (Figura 71 A), o que não permitiu a cravação do amostrador “CLS”. Mesmo nas amostragens com draga se obteve pequena quantidade de areia conjuntamente com blocos de basalto.

A)



B)



Figura 71: Amostra de basalto coletada na área de exploração de areia por uma draga.

O fundo do reservatório nesse setor foi completamente modificado pela exploração de areia. Esse local recebe materiais provenientes das alterações das rochas de todas as formações geológicas existentes na bacia. A exploração de areia (Figura 71 B) é intensa nesse local e segue para montante, alterando as condições normais do reservatório.

Relacionando-se os resultados verificados para os setores 4 e 5 e atualmente a não utilização dos setores 1, 2 e 3 para exploração de areia, é possível supor que isto não ocorra, provavelmente, devido ao tipo de materiais depositados nesses setores. Entre a barragem e o córrego Candango, encontra-se depositado, em maior proporção, materiais silto-argilosos e, em menor proporção, materiais arenosos.

Considerando que a maior proporção de areia fina seja oriunda da alteração do material proveniente da FVPR, o custo da extração seria mais elevado devido à falta de liga (cimentação) para sua utilização no comércio em relação à areia média, oriunda da Formação Marília. Os arenitos da Formação Marília estão entre finos a médios, imaturos, com frações grossas e grânulos resistentes à erosão. Isso se deve à abundância de cimento carbonático que propiciou um arcabouço resistente e que

apresenta indícios de que a maior quantidade de areia depositada na atualidade no reservatório seja da Formação Vale do Rio do Peixe.

Os resultados das análises obtidos pelos difratogramas de raios X indicam a presença de quartzo, ilmenita, illita, muscovita, ortoclásio e mica. Por ser este o principal ponto de dragagem da areia no reservatório e por receber sedimentos de todas as formações, não foi possível distinguir qual a principal área-fonte a colaborar com maior intensidade no processo de assoreamento.

7– Conclusões

O presente estudo foi conduzido para caracterizar o material sedimentado por assoreamento e sua distribuição no reservatório de Cachoeira Dourada, GO/MG. A partir dos resultados obtidos pelos métodos selecionados no desenvolvimento dessa pesquisa, podem-se assinalar as seguintes conclusões.

- Os valores de precipitação indicam a existência de duas estações bem definidas na bacia do reservatório: a estação úmida, que ocorre de outubro a março, com valores de precipitação acima de 100,0 mm, e a estação seca, de abril a setembro, com valores de precipitação abaixo de 100,0 mm.
- Conforme indicou a análise dos valores de erosividade e intensidade pluviométrica, a bacia é altamente suscetível à erosão na estação úmida, justamente na época em que o solo é preparado para o cultivo agrícola. A máxima pluvial acontece nos meses de dezembro ou janeiro, e o mínimo pluvial acontece em junho e julho, no período da colheita, com pouca produção de sedimentos em função da baixa erosividade.
- As principais áreas-fonte identificadas na bacia hidrográfica do reservatório, sugeridas pelos valores de erosividade e intensidade pluviométrica, encontram-se na região de abrangência da estação Avantiguara, que fornece material a partir da alteração e erosão das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe pelo córrego do Candango e pelo Ribeirão Piratininga, bem como na área correspondente à estação Brilhante, que fornece material proveniente da alteração de rochas da Formação Marília pelo rio Piedade.
- No contexto geral em que se encontra o reservatório em relação aos segmentos inundados do rio, os parâmetros limnológicos indicam que existe um ecossistema lântico entre o barramento e o córrego do Paiol, visto que o reservatório localiza-se imediatamente a jusante do reservatório de Itumbiara e de Emborcação. Nesse setor do lago, encontram-se as maiores seções transversais e as menores velocidades de escoamento da água. Por esse motivo, grande parte da água que chega neste setor do reservatório de Cachoeira Dourada já passou pelo processo de deposição do material particulado em suspensão. Entre os córregos do Paiol e do Candango, localiza-se a principal área de aporte de sedimentos em suspensão, oriundo do material erodido da Formação Vale do Rio do Peixe.

- Comparando as seções topográficas anteriores à formação do lago com as seções de levantamentos batimétricos realizados, estimou-se que o reservatório perdeu cerca de 38,5% do seu volume inicial, ou seja, o equivalente a uma taxa anual de 0,68%. A espessura do material sedimentado, considerando-se uma deposição uniforme em toda a área, é de 2,62 m, com uma taxa de sedimentação anual de 4,68 cm/ano.
- O trecho de maior acúmulo de sedimentos encontra-se entre os córregos do Paiol e do Candango, e as possíveis áreas-fonte de sedimentos para este setor são os produtos da alteração das rochas das formações Vale do Rio do Peixe e Marília, que constituem o substrato rochoso nesse setor da bacia. O menor acúmulo de material ocorre entre a barragem e o córrego do Paiol. A vida útil estimada para o reservatório no geral é de aproximadamente 145 anos.
- O material coletado na superfície de fundo é constituído principalmente por silte e argila no setor entre o barramento e o córrego do Corgão. Entre os córregos do Corgão e da Flecha foi verificada a deposição de silte grosso a areia fina. As areias finas a muito finas são carregadas até o córrego do Corgão devido à energia de fluxo existente no local. O material de granulometria mais grossa (areia média a grossa) é depositado principalmente na desembocadura do rio Piedade. Entre os córregos do Paiol e do Candango localiza-se a principal área de aporte de material arenoso fino a muito fino e pobremente selecionado. A distância das áreas-fonte em relação ao reservatório não é suficiente para que os sedimentos cheguem a atingir melhor seleção, indicando que os mesmos são poucos retrabalhados.
- Mediante descrições dos perfis verticais, se verificou que há o predomínio de material silto-argiloso entre a barragem e o córrego do Corgão, materiais silto-argilosos e arenosos (areia fina e muito fina) entre o córrego do Corgão e o córrego da Flecha e do córrego do Candango ao do Bálsamo. A deposição de material arenoso ocorre predominantemente entre os córregos do Paiol e do Candango (areia fina) e do córrego do Bálsamo ao rio Piedade (areia fina a grossa).
- Os modelos deposicionais identificados no reservatório de Cachoeira Dourada conforme as associações de fácies são: 1) deltas: ocorrem nas áreas de

desembocadura dos afluentes com o lago; 2) leito: do barramento ao córrego do Corgão; 3) depósitos de correntes: ocorrem no antigo leito principal do rio Paranaíba entre o córrego do Corgão e rio Piedade.

- Levando-se em consideração apenas os fatores hidráulicos do reservatório, pode-se afirmar que a classificação dos depósitos segundo os modelos propostos por Carvalho (1994, 2000) e Morris e Fan (1997) revelaram-se inadequados para explicar os tipos de depósitos existentes no reservatório de Cachoeira Dourada por desconsiderar as prováveis áreas-fonte, associações de fácies e todos os processos atuantes na remoção, transporte e deposição de partículas no reservatório, não explicando as possíveis modificações que possam ocorrer no processo de sedimentação do ambiente fluvial para lacustre.
- Face às lacunas existentes na compreensão das modificações ocorridas do ambiente fluvial para o lacustre e devido à inexistência da descrição de modelos deposicionais a partir da análise de fácies, verifica-se que o conhecimento do processo de assoreamento deve ser feito a partir do conhecimento dos processos antrópicos e naturais existentes na bacia e no lago, e a partir da preservação dos registros históricos. Isso permitirá avaliar o processo deposicional no ambiente antigo e atual. Por esses motivos, a complexidade e o dinamismo do processo de sedimentação em ambiente lacustre intensifica a necessidade de uma interdisciplinaridade que contemple as contribuições das diversas ciências ligadas ao tema, incentivando-se, assim, o conhecimento sobre abordagens variadas que possam ser aí empregadas para esclarecer o problema.

8. Recomendações

- Constatou-se nesta pesquisa que existe a necessidade de atualização e alimentação do banco de dados pluviométricos, o que permitirá estudos mais aprofundados sobre o potencial de perdas de solos da bacia do reservatório de Cachoeira Dourada;
- Constatou-se também que é necessária a instalação de novos pluviômetros na bacia, além de réguas nos afluentes para medir as oscilações do nível d'água e para realizar cálculos sobre a quantidade de material transportado para o reservatório pelos afluentes;
- Para se ter um índice mais preciso sobre o volume do material depositado no lago, recomenda-se a realização de novos levantamentos batimétricos, com transectos longitudinais (de montante para jusante ou vice versa) e transectos latitudinais (da margem esquerda para a direita), com distanciamento a cada 200m, garantindo melhor precisão;
- Aconselha-se que os órgãos gerenciadores da rede hidro-sedimentométrica desenvolvam ou patrocinem em conjunto com instituições de pesquisa e com o grupo Cachoeira Dourada Sociedade Anônima, estudos sobre a adequação de modelos de transporte e deposição de sedimentos na bacia e no reservatório;
- A dragagem das principais áreas de assoreamento pode ser interessante, desde que economicamente viável, pois, com isso, amplia-se o tempo de vida útil do reservatório e permite-se maior tempo de residência da água para gerar o montante de energia fornecida no período seco;
- Explicita-se a exigência da recuperação das matas ciliares nas bordas do reservatório e dos afluentes (bordas e cabeceiras), fazendo valer as leis já existentes, bem como a necessidade de proporcionar aos administradores públicos, agricultores e pecuaristas cursos de atualização e técnicas de manejo mais adequadas quanto ao uso reacional do solo.
- Refinamento nas análises de fácies em reservatórios.

9 - Referências bibliográficas

- Agência Goiana de Indústria e Mineração/Companhia de Recurso Minerai (AGIM/CPRM). *Mapa geológico do estado de Goiás*. CD-ROM. 2002.
- Alvim, A.M. Chaudhry, F.H. *Modelo matemático do assoreamento de reservatórios* In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos/ III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos. 236-247p. V3. 1987.
- Alvim, A.M. Righetto, A.M. *Simulação do transporte de sedimentos no reservatório de Pirapora*. IN: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/I Simpósio Hídricos do Cone Sul. Gramado-RS. 184 – 192p. V5. 1993.
- Andriotti, J. L. S. *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. Ed. Unisinos, São Leopoldo (RS), 168 p. 2003.
- Ayoade.J.O. *Introdução à climatologia para os trópicos*, 3ed Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 332p. 1991.
- Baccaro, C.A.D. *Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de Cerrado - Uberlândia - MG*, São Paulo – SP. Tese (Doutorado em Geografia. Área de concentração Geografia Física). FFLCH/USP, 164p.1990.
- Bertol, I., Schick, J., Batistela, O., Leite, D., Visentin, D. Cogo, N.P: “*Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages(SC)*”, Revista Brasileira de Ciências do. Solo, 26: 455-464p. 2002.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. São Paulo - SP, Ícone, p 355. 1999.
- Bertoni, J. C. E Tucci, C. E. M., *Precipitação*. Cap 5. In: Tucci, C. E. M. (Editor), *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2a Edição, Editora Universidade/UFRGS, ABRH, Porto Alegre, 943p. 2000.
- Bérzin, I. C.G; *O investimento estrangeiro direto e a desnacionalização da indústria brasileira: o caso das privatizações nos anos 1990*. (Mestrado em Economia) UNESP - Universidade Estadual Paulista – Campus Araraquara. 150p. 2002.
- Bigarella, J. J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Vol 3. Florianópolis: Editora da UFSC. 1346p. 2003.
- Borland, W.M. Miller, C.R. *Distribution of sediment in large reservoirs*. JHD. ASCE. V84, 1958.
- Botelho, S.A; David, A.C. *Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares*. In: Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Anais. Belo Horizonte – MG. 123-145p. 2002.

Braga, C.Z.F; *Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, Transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruana*, RJ. Rio de Janeiro - RJ. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração Geoquímica Ambiental) UFF - Universidade Federal Fluminense. 213p. 1998.

Brazilian Committee on Dams – CBDB. *Large Brazilian Spillways – An overview of Brazilian Practice and Experience in designing and Building for Large Dams*. CIGB – ICOLD. 205p. 2002.

Brune, G.M; Allen, R.E. *A consideration of factor influencing reservoir sedimentation*. In: The Ohio Valley Region. American Geophysical Union. V2. 1941.

BRUNE, G. - “*Trap Efficiency of Reservoirs*”. Transactions American Geophysical Union, N34, 3, Junho. 407-418p. 1953.

Bufon, A.G.M. *Variação temporal da taxa de sedimentação na represa Velha (CEPTA/IBAMA/SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema. Um estudo de impacto ambiental*. Pirassununga. Monografia de graduação apresentada a faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga. 85p. 1999.

Cabral, J.B.P. *Utilização de técnicas de segmentação e componente principal de imagens TM, para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita-SP*. Rio Claro - SP. Dissertação (Mestrado em Geociências, Área de Concentração Geociências e Meio Ambiente) UNESP - Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro. 94p. 2001.

Cabral, J.B.P. *Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em Imagens TM para o Estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil* In: International Review of Geographical Information Science and Technology - GeoFocus - ISSN: 1578-5157. N3. 235-267p. 2003.

Cabral, J. B. P; Becegato, V. A; Lopes, R. M; Scopel, I: *Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás / Brasil para o período de 1971 a 2000*. In: International Review of Geographical Information Science and Technology - GeoFocus - ISSN: 1578-5157. N5. 1-18p. 2005.

Cabral, J.P.C; Becegato.V.A. *Erosividade das chuvas e sua distribuição espacial na carta topográfica de Uberlândia-MG*. In: Revista de Estudos Ambientais. V7. 12p. 2005.

- Cachoeira Dourada Sociedade Anônima – CDSA. *Relatório técnico (fotos)*. 24p. 20p. 2003.
- Camargo, M.G. *SYSGRAN para Windows: sistema de análises granulométricas*. Pontal do Sul. 2 disquetes, 5 ¼ . 1999.
- Cant, D.J. *Fluvial facies models and their application*. In: SCHOLLE, P. A; SPEARING, D. (ed.) *Sandstone depositional environments*. AAPG, V.31, p.115-137, 1982.
- Carlstron Filho, C; Gimenez,A.F; Pires Neto,A.G; Pradini,L.F; Melo,M.S; Fulfaro,V.J; Ponçano,W.L. *Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS)*. In: CBGE, 3, Itapema (SC). Anais – São Paulo. ABGE. 143-162p. 1981.
- Carvalho, N.O. *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM e ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ. 384p. 1994.
- Carvalho, N.O. *assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos*. In: IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. Santa Maria-RS. Cdrom. 1-22p. 2000.
- Carvalho.N.O; Catharino.M.G. *Avaliação do assoreamento de reservatório da UHE Itaipu*. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/ I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. 174-183p. V5. 1993.
- Carvalho, N. O; Filizola Jr., Santos, P. M. C; Lima, J. E. F. W. - *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília : ANEEL, 132p. 2000.
- Cavenaghi.A.L. *Caracterização da qualidade de águas e sedimentos relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê*. Tese (doutorado em agronomia. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrônômicas).Universidade Estadual Paulista – Campus Botucatu. 73p.2003.
- CELG – Centrais Elétrica de Goiás - Usina Hidrelétrica de Cachoeira Dourada - Etapa IV Estudo de Viabilidade. 450p. 1984.
- Chella,M.R. *Simulação física do transporte de sedimentos e assoreamento em reservatórios – caso da usina hidrelétrica Melissa*. Curitiba - PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) UFPR - Universidade Federal do Paraná. 141p. 2002.
- Christofolletti, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP. 188p. 1974.
- Código Florestal Brasileiro. Lei nº 4771, de 15 de Setembro de 1965. Disponível em: <www.ipef.br/legislacao/codigo.html> Acesso em setembro de 2006.

- Coelho, M.P. *Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana – SP*. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Campus de Rio Claro. 69p. 1993.
- Coimbra, A.M.; Góes, A.M.; Yamamoto, J.K.; *Análise Granulométrica de Sedimentos*. Apostila de Sedimentologia. 35p. 1991.
- Colodro, G.; Carvalho, M.P.; Roque, C.G.; Prado, R.M. *Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP)*, IN: Revista Brasileira de Ciências do Solo, N26. 809-818p. 2002.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L.G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico* [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, Anais. São Paulo: Imagem Multimídia. Seção de Comunicações Técnico-Científicas. 1996.
- Davide, A.C.; Ferreira, R.A.; Faria, J.M.R.; Botelho, S.A. *Restauração de matas ciliares*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.21, n.207, p.65-74, 2000.
- Dedecek, R.A. *Capacidade erosiva das chuvas de Brasília-DF*, In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo. Anais.[S.l.]: Embrapa-SNLCS. 157-161p. 1978.
- Dekker, A. G. *Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing*. Ph.D Thesis - Free University, Amsterdam. 241p. 1993.
- DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) - Ministério das Minas e Energia do Brasil. *Boletim fluviométrico – 12*. Bacia do rio Paranaíba. 96p. 1954.
- Dussart, B. 1979. *Lagos e cursos d'água*. Enciclopédia de Ecologia. São Paulo. 57-78p. 1979.
- DUSSART, B. Lagos e cursos d'água. In: CHARBONNEAU, J.P. et alii. Enciclopédia de Ecologia. São Paulo: E.P.U. p.57-78. 1979.
- Dutra, G.C. *Estratificação ambiental visando à recuperação da vegetação ciliar no entorno do lago da usina hidrelétrica de Funil, em Minas Gerais*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras – MG. 111p. 2005.
- Eakin, H.M. *Silting of reservoirs, revised by Brow.C.B. Dept Agricultura, Tech Bulletin (524)*. 90-167p. 1939.

- Einstein, H.A. The bed-load function for sediment transportation In: Open Channel Flows. US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Technical Bulletin 1026. Washington, DC. 1950.
- 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 Vol 3. 1988.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa. Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412 p. 1999.
- Esteves, F. de A. Fundamentos de limnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 548p. 1988.
- Esteves, F.A; Barbosa, F.A R.; *Rios e Lagos*, Ciência Hoje V5 N27. P57-61, 1986.
- Fearnside, P. Impactos ambientais da Barragem de Tucuruí: Lições ainda não aprendidas para o desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia. Relatório Técnico – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 42p. 2002.
- Fernandes, L.A. *A cobertura Cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP: Os Grupos Bauru e Caiua*. Dissertação (Mestrado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - São Paulo. 171p. 1992.
- Fernandes, L.A. 1998. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - São Paulo. 216p. 1998.
- Fernandes, L.A. *Mapa litoestratigráfico da parte oriental da bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000*. In: Boletim Paranaense de Geociências, N55. 53-66p. 2004.
- Fiock, L.R. *Records of silt carried by the Rio Grande and its accumulation in elephant butte reservoir*. American Geophysic. Union Trans. V15. 468-473p. 1934.
- Folk, R.L; Ward, W.C. *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal sedimentology Petrology, 27:3-27. 1957.
- Gandolfi, S; Rodrigues, R.R. *Recomposição de florestas nativas: algumas perspectivas metodológicas para o estado de São Paulo*. In: Balensiefer, M. Recuperação de áreas degradadas – III. Curso de atualização. 83 a 100p. 1996.
- Gardner, R.J.; Raju, K.G.R. Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems. Wiley Eastern. 618p. 1985.

Jimenez, A.F; Carlstron Filho, C; Carneiro, C.D.R; Stein, D.P; Pradini, L.F; Melo, M.S; Fulfaro, V.J; Ponçano, W.L. *Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR)*. In: CBGE, 3, Itapema (SC). Anais – São Paulo. ABGE. 205-224p. 1981.

Glymph, L.M. *Sedimentation of Reservoirs*. In: ACKERMANN.W.C et al , ed. Man – made lakes: their problems and environmental. Washington DC. American Geophysical Union 342-348p. 1973.

Golden Software: SURFER, versão 8.0. conjunto de programas. 1CD-Rom e manuais. (informações em <http://www.goldemsoftware.com>). 1999.

Grover, H.G; Howards, C.S. *The passage of turbid water through lake mead*. Tran ASCE.103. 720p-736p. 1938.

ICOLD, International Commission on Large Dams. *Sedimentation control of reservoirs. Guidelines*. Bulletin 67. Paris. 1989.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Projeto Radambrasil*. Ministério das Minas e Energia. Secretária geral. Levantamento de Recursos hídricos. Folha SE 22 – Goiânia. V31. Geologia, geomorfologia, pedologia. Rio de Janeiro. 1983.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-A-III – Bom Jesus de Goiás. 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-A-VI – Cachoeira Dourada. 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-B-I – Itumbiara. 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-B-IV – Ituiutaba. 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-B-II – Corumbáiba. 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Folha SE-22-Z-B-V – Tupaciguara. 1973.

Jackson, M. L. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*, 2. ed., Madison, Univ. of Wisconsin. 835p.1969.

Juchem, P.A Morais, N.A. Técnicas para avaliação de impacto ambiental e elaboração de estudos de impacto ambiental de empreendimentos hidrelétricos. In: Maia 1. Ed Curitiba: PIAB:IAP/GTZ, 23p. 1992.

Kecler, D. *Surfer for Windows, User Guide*. Cap 15. 1995.

- Kirk, J.T.O *Light & photosynthesis in aquatic ecosystems*. London: Cambridge University. Press, 1996.
- Krumbein, W.V *Size frequency distribution of sediments*. Journal of Sedimentology Petrology. 4:65-77. 1934.
- Lamir - laboratório de Análises de Minerais e Rochas. Apostila 12p. 2005
- Lamour, M.R. 2000. *Dinâmica sedimentar do Canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá - PR*. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 100p. 2000.
- Landim, P.M.B. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Geomática. Texto didático 02*. DGA.IGCE.UNESP/Rio Claro. 20p. 2000.
- Landim, P.M.B., Monteiro, R. & Corsi, A.C. *Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER. Geomatemática. Texto didático 8*. DGA.IGCE.UNESP/Rio Claro, 20p. 2002.
- Lanna, E. A. *Elementos de estatísticos e probabilidade*. In: Hidrologia. Cap 4. Tucci, C.E.M. 79 -176p. 2000.
- Lara, J.M. Pemberton, E.L. *Initial unit weight of deposited sediments*. Proc of the federal Interagency Sedimentation Conference, Dep of Agric. Miscellaneous Publication N970. 1963.
- Latrubesse. E.M; Carvalho, T.M; Stevaux, J.C. Mapa geomorfológico do estado de Goiás – relatório (no prelo). 85p. 2004.
- Leite, M.A. *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (América – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. Dissertação de mestrado em ciências da engenharia ambiental. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. 164p. 1998.
- Leite, M.A. *Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do reservatório de Salto Grande, Americana-SP*. Tese de doutorado em ciências da engenharia ambiental. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. 175p. 2002.
- Leopold, L. B; Wolman, M. G. River channel patterns: braided, meandering and straight. *U.S. Geology Survey*. V.282b, p.29-84, 1957.
- Linsley, R.K; Franzini, J.B. *Engenharia de Recursos Hídricos*. São Paulo - SP. 198p. 1978

- Lopes. *Aplicação de métodos de previsão de assoreamento de reservatórios*. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Unicamp. Campinas. 127p. 1993.
- Mariano, Z.F. A importância da variável climática na produtividade da soja no sudoeste de Goiás. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Rio Claro – SP. 251p.2005.
- Margolis, E.; Silva, A.B; Jaques, F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. N9. 165-169p. 1985.
- Mendes, A.B; Análise sinérgica da vida útil de um complexo hidrelétrica: caso do rio Araguaia, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – COPPE). UFRJ. 98p. 2005.
- Mendes, J.C. *Elementos de estratigrafia*. São Paulo. Ed da universidade de São Paulo. 453p.1984.
- Meyer-Peter, E.; Muller, R. *Formulas for bed load transport*. In: Meeting International Association for Hydraulic Research 2. 39-64p. 1948.
- Miall, A.D. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, Springer-Verlag, New York, 668p. 1996.
- Minuzzi, R. B; Sediayama, G.C; Ribeiro, A; Costa, J.M.N. *El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais* In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, 364-371p, 2005
- Modesto, R.P. *Uso e ocupação do solo e sua influência na formação de depósitos sedimentares e assoreamento na bacia da represa Billings*. Dissertação de mestrado em Geografia Física. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de São Paulo. 174p. 1999.
- Morris, G.L; Fan, J. *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoir, and watersheds for sustainable use*. New York, McGraw-Hill. 805p. 1997.
- Novo, E.M.L.M; Braga, C.Z.F. *Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. São José Dos Campos. 75p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais. 1991.
- Novo, E.M.L.M; Braga, C.Z.F. *Segundo Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. São José dos Campos. 102p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1995.

- Netto, A.S.T. *Manual de sedimentologia*. Salvador – BA. Petrobrás/Fapesp. 194p. 1980.
- Nimer, E. *Climatologia do Brasil*. Climatologia da Região Centro-Oeste. IBGE: Rio de Janeiro, 421p, 1989.
- Oliveira, A.M.S. *Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivari, rio Paranapanema, SP / PR*. Tese de Doutorado em Geografia Física. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de São Paulo. 211p. 1994.
- Odreski, L.L.R. *Evolução sedimentar e batimétrica da baía de Antonina – PR*. Dissertação de mestrado em geologia ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Paraná. 79p. 2002.
- Paiva, J.M.O. *Sedimentação de reservatórios de barragens*. Dissertação de mestrado em hidráulica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. 217p. 1993.
- PEREIRA FILHO, W. *Integração de Dados de Campo e Sensoriamento Remoto no Estudo da Influência das Características da Bacia de Captação na Concentração de Sólidos em Suspensão em Reservatório: O Exemplo de Tucuruí*. São José dos Campos – SP. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1991.
- Pereira Filho, W. *Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará*. São Paulo. Tese (Doutoramento em Geografia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 138p. 2000.
- Pinto, Maria Novaes (Org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 3. ed. Brasília: UNB, 2002.
- Pombo, L. C. A.; Klamt, E.; Kunrath, L; Gianluppi, D. *Identificação de óxidos de ferro na fração argila de Latossolo Roxo*. In: Revista Brasileira de Ciências do Solo. V6, N1. 12-18p. 1992.
- Ponçano, W.L; Gimenez, A.F.; Fúlfaro, V.J. *Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto*. Anais I Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, vol. 2 ABGE, Rio de Janeiro, 111-139p. 1976.

- Ponçano, W.L.; Gimenes, A.F.; Leite, A.A.G.; Carlstron Filho, C; Pradini, F.L.; Melo, M.S.de. – *Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro*. In: CBGE, 3, Itapema (SC), anais, São Paulo, ABGE, V2. 331-353p. 1981.
- Reis, J.C. *Proposição metodológica para estudo e mensuração do processo de assoreamento de reservatórios, utilizando sistema de informações geográficas*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa. 119p.1995.
- Rossato, M.S; Basso, L.A; Suertegaray, D.M.A. *Formação de depósitos tecnogênicos em barragens. O caso da Lomba do Sabão, Rio Grande do Sul, Brasil*. In: Revista Bibliográfica De Geografía Y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9796. Vol. VII, N407. 2002.
- Rubin, J.C.R. *Sedimentação Quaternária, Contexto Paleoambiental e Interação Antrópica nos Depósitos Aluviais do Alto Rio Meia Ponte, Goiás/GO*. Tese de doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Campus de Rio Claro. 324. 2002.
- Salvador, J.L.G. *Comportamento de espécies florestais nativas em áreas de depleção de reservatório*. In: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Piracicaba - SP. N33. 73-78p. 1986.
- Saunitti, R.M. *Estudo sobre sedimentação no reservatório da barragem do rio Passaúna*, Dissertação de mestrado em Geologia. UFPR. 120p. 2003.
- Saunitti, R.M; Fernandes, L.A; Bittencourt, A,V.L. *Estudo do assoreamento do reservatório da barragem do rio Passaúna – Curitiba -PR*, In: Boletim Paranaense de Geociências. N54 . 65-82p. 2004.
- Schumm, S. A. Evolution and response of the system, sedimentologic implications. *Society of Economic Paleontologists*. V31, 19–29p, 1981.
- Schumm, S. A. Alluvial river response to active tectonics. *Active tectonics, studies in geophysics*. National Academy Press, 80-94p. 1986.
- Scopel, I. *Avaliação do risco de erosão através de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)*. Curitiba. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 156p. 1988.

- Scopel, I., Assunção.H.F. *Erosividade no estado de Goiás*. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. II Reunião Latino America de Agrometeorologia. Anais – cdrom. Florianópolis - SC, 1-9p, 1999.
- SCT - Sistema de Cálculo Topográfico. 1994.
- SECTEC - Superintendência de Ciências e Tecnologia de Goiás. *Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba*. Capturado em agosto de 2000. Online. Disponível na Internet: <http://www.sectec.go.gov.br>. 16 de agosto de 2000.
- Shen, H.W; Lai, J.S. *Sustain reservoir useful life by flushing sediment*. International Journal of Sediment Research, Beijing, V11, N3, 11-17p, 1996.
- Shields A. Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement. *Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau* 26: 5–24p. 1936.
- SIG-GOIÁS (sistema de informação geográfica de Goiás): Solos de Goiás. CD-ROM. 2003.
- SIEG (*Sistema de informações estatísticas e geográficas de Goiás*). [online]<<http://www.sieg.go.gov.br>> . 2004.
- Silva, J. W., Guimarães, E. C., Tavares, M. “*Variabilidade temporal da precipitação e anual na estação climatológica de Uberaba-MG*”, In: *Ciências e Agrotecnologia*, Lavras. V.27, N3. 665-674p. 2003.
- SILVA, C.M.S; Mauro, C.A; Barcelos, J.H; Thomaziello, S.A; Marinho, V.L.F. *Laudos Periciais em intervenções sobre canais de drenagem*. In: *Laudos periciais em depreciações ambientais*, coordenador: Mauro. C.A. cap 3. 149-180p. 1997.
- Simons, D. B., Richardson, E.V., and Nordin, Jr. C.F. *Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels*. In: Middleton, G.V., ed., *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*: SEPM Special Publication 12, p. 34-52.1965.
- Soares, C.R. *Natureza dos sedimentos da superfície de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – complexo estuarino da baía de Paranaguá (Estado do Paraná – Brasil)*. Dissertação de mestrado em análise ambiental. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista – Campus Rio de Rio Claro. 137p. 1990.
- Sousa, S.P. *Proposta metodológica para estimativa de assoreamento de reservatórios: Estudo de caso do sistema Manso*. Dissertação de mestrado em

engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. 147p. 1996.

Souza, I.A. *Mudança no canal do rio Paraná durante o Holoceno*. Dissertação de mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Programa de Pós-graduação em Geociências. Rio Claro – SP. 112p. 2000.

Souza, J.L.G. Estudo da fração argila da Terra Roxa Estruturada do Município de Botucatu para fins de gênese e classificação de solos. (Tese de Doutorado). Faculdade de Ciências Médica e Biológicas de Botucatu - FCMBB, UNESP, Botucatu, 73p. 1973.

Souza Filho, E.E; *Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná (MS) e Guairá (PR)*. Tese de doutorado em Geologia Sedimentar. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade de São Paulo. 214p. 1993.

Sperling, M.V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: DESA/UFMG. V1, 243p. 1996.

Stevaux, J.C *O rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (Região de Porto Rico, PR)*. Tese de doutorado em Geologia Sedimentar. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade de São Paulo. 242p. 1993.

Stokes, G.G *On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulum*. Trans Cambridge Philos. Soc. 9. Parte 2, 8-106p. 1851.

Strand, Robert I. *Reservoir Sedimentation* – In: Design of Small Dams. US Bureau of Reclamation. Washington, DC.767-795p. 1974.

Suguió, K. *Introdução a Sedimentologia*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 317p.1973.

Suguió, K. *Geologia sedimentar*. Editora Edgard Blucher LTDA. São Paulo – SP. 400p. 2003.

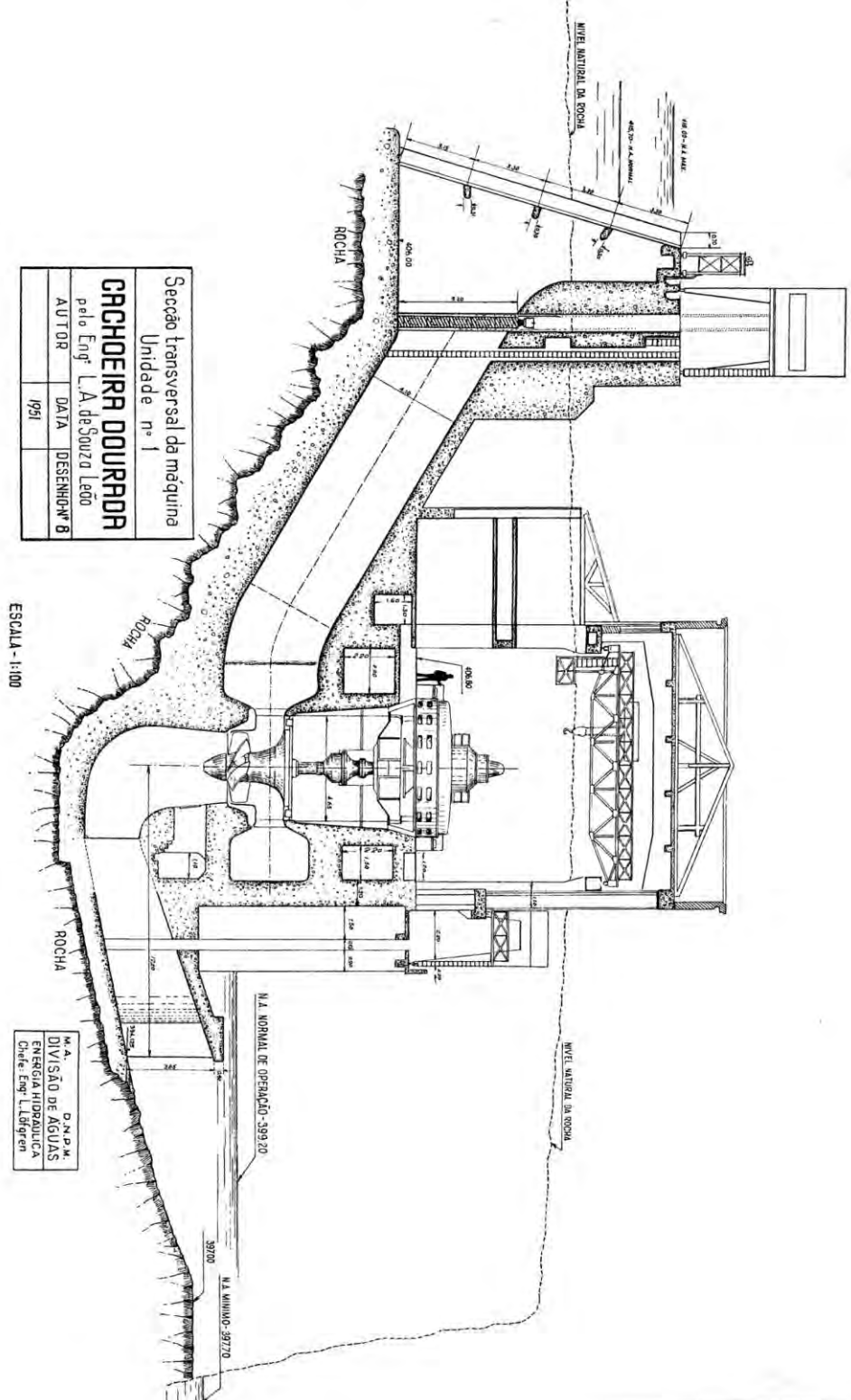
Suguió, K, Bigarella. J.J. Ambientes fluviais. 2.ed. Florianópolis: UFSC, UFPR, 1990.
TANAKA, R. *Prejuízos provocados por plantas aquáticas*. In: Workshop Sobre Controle de Plantas Aquáticas. Anais. Brasília: IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos recursos Naturais Renováveis. 36-38p.1998.

Tarela,P.A; Menendez,A.N. *A model to predict reservoir sedimentation*. In: Lake & Reservoirs: Research and Management. V4. 121-133p. 1999.

Thomann, R. V; Mueller, J.A. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper Collins, Publisher, New York - USA. 493p. 1987.

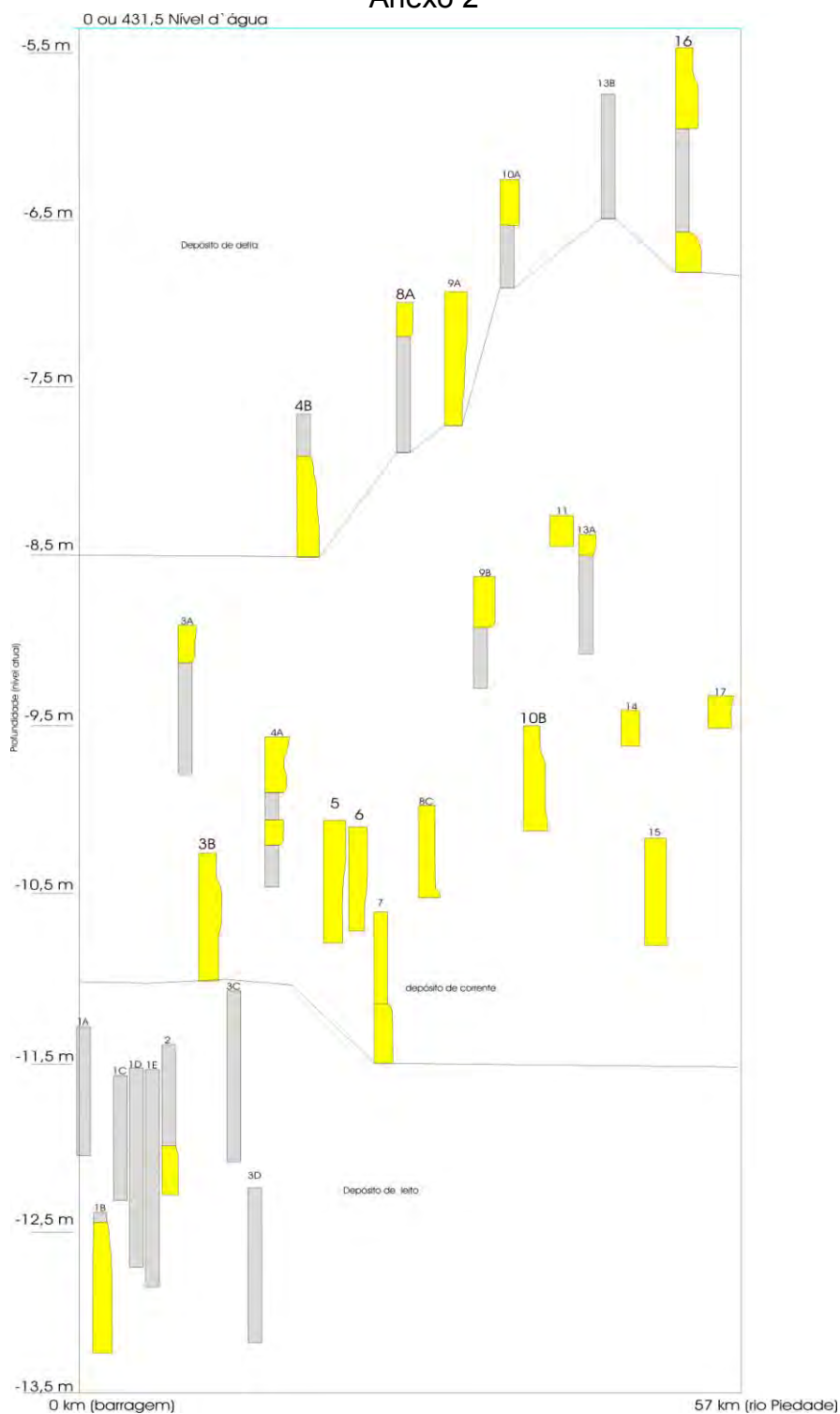
- Thornton, K.W.; Kimmel, B.L.; Payne, F.E. - *Reservoir Limnology, Ecological Perspectives*. Chichester (U.K.), 246p, 1990.
- Vanoni, V.A. *Sedimentation Engineering*. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY. 743p. 1977.
- Vieira.A.C.C. *Transporte de sedimentos e assoreamento de reservatórios em bacias hidrográficas agrícolas*. Dissertação de mestrado em hidráulica e saneamento. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 156p. 1990.
- Vilhena,R.M; Roig.H.L; Meneses.P.R *Determinação do assoreamento de reservatório utilizando técnicas de geoprocessamento, o caso do reservatório de Funil – RJ.IN: XI SBSR (cdrom)*. Belo Horizonte – MG. 2649-2651p. 2003.
- Villela, S.M; Mattos, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p. 1975.
- Walker, R.G. Facies models, Geosciences Canada Reprint Series, 1, 1984, 317p.
- Wetzel.R.G; Likens,G.E. *Limnological analisys*. 2ed. New York. Springer Verlag. 391p. 1991.
- Wentworth,C.K. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology.30: 377-392p. 1922.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: United States Department of Agriculture. 58p. (Agriculture Handbook, 537).1978.

Anexo 1



Perfil esquemático da barragem e da casa de máquina a serem implantadas em Cachoeira Dourada no ano de 1959 (Fonte: DNAEE, 1958).

Anexo 2



Perfis esquemáticos com a distribuição dos perfis verticais mostrando a variação nas espessuras, profundidade e possíveis depósitos para o reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG

Anexo 03

Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1973 a 2002.

Estações	Média	DP	CV	P	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	
Avantiguara	127,4	107,3	84,2	1529	329,4	201,4	179,4	90,6	39,5	17,8	7,1	19,2	53,9	124,5	197,2	269,3	
Brilhante	130,4	118,5	90,9	1564	339,7	202,7	197,9	62,8	37,5	14,9	8,0	16,6	62,1	101,8	200,2	320,0	
Corumbazul	110,8	92,9	83,9	1329	229,7	165,0	191,9	73,4	30,7	12,4	6,5	18,0	39,7	106,7	195,6	259,4	
Faz Cac Pouso Alegre	109,1	87,4	80,1	1309	240,0	174,2	178,5	73,0	42,3	15,8	6,9	17,1	47,9	100,4	178,0	235,2	
Ituiutaba	117,0	89,4	76,4	1404	258,3	195,0	189,1	86,7	45,0	17,1	9,6	18,5	58,8	119,4	181,8	225,2	
Monte Alegre de Minas	117,7	96,0	81,6	1515	293,3	189,8	192,9	89,4	41,0	18,3	10,6	18,0	51,1	128,7	210,3	271,5	
Morrinhos	126,2	102,5	81,2	1412	248	187	209	88,1	41	14	5,2	18	50	104	181	267	
Ponte Meia	120,3	96,0	79,8	1444	256,7	188,6	201,5	101,0	38,0	14,5	5,5	17,3	51,4	117,1	192,7	259,3	
Tupaciguara	119,1	104,0	87,4	1429	277,8	194,8	171,2	62,4	35,2	14,6	8,8	15,0	51,1	102,3	207,8	287,7	
Xapetuba	123,7	101,7	82,2	1485	268,3	199,3	194,3	77,2	44,7	18,7	8,1	21,8	50,3	107,4	209,7	284,7	
				Média	1442	274,1	189,8	190,6	80,5	39,5	15,8	7,6	17,9	51,6	111,2	195,5	267,9

CV = coeficiente de variação (%), DP = desvio padrão, P = precipitação média anual (mm)

Anexo 04

Valores médios mensais e anuais de erosividade no período de 1973 a 2002.

Estações	R	RS	RU	RM	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	8345.8	507.2	7838.6	695.5	2521.6	1092.6	897.5	281.0	68.5	17.7	3.7	20.1	116.2	482.3	1054.1	1790.4
Brilhante	8869.6	387.1	8482.6	739.1	2606.7	1083.6	1040.3	147.8	61.5	12.8	4.5	15.4	145.0	336.0	1061.0	2354.9
Corumbazul	7417.0	384.1	7032.9	618.1	1539.4	877.2	1134.0	221.3	50.3	10.8	3.6	20.3	77.9	418.1	1171.4	1892.9
Faz Cac Pouso Alegre	7142.7	457.8	6685.0	595.2	1679.8	974.2	1015.5	222.1	87.8	16.5	4.0	18.8	108.5	381.8	1010.6	1623.0
Ituiutaba	7411.9	561.7	6850.1	617.7	1793.0	1111.8	1055.2	280.3	91.9	17.7	6.7	20.3	144.8	482.9	986.9	1420.2
Monte Alegre de Minas	7695.5	508.5	7187.0	641.3	1665.2	1034.4	1245.2	286.9	78.5	12.1	2.4	18.8	109.9	378.6	979.1	1884.5
Morrinhos	8137.6	501.7	7635.9	678.1	2086.8	995.7	1023.5	276.9	73.6	18.7	7.4	18.2	107.0	514.4	1185.4	1830.0
Ponte Meia	7760.3	568.2	7192.1	646.7	1733.3	1026.3	1148.4	355.0	67.4	13.1	2.5	17.7	112.6	456.4	1064.5	1763.2
Tupaciguara	8044.6	363.1	7681.5	670.4	1999.9	1093.9	878.3	157.9	59.7	13.4	5.7	14.0	112.5	366.0	1220.9	2122.6
Xapetuba	8045.1	462.2	7582.9	670.4	1824.7	1100.8	1054.2	219.5	86.7	19.7	4.8	25.6	106.0	384.8	1200.2	2018.3
Média	7887.0	470.2	7416.9	657.3	1945.0	1039.0	1049.2	244.9	72.6	15.2	4.5	18.9	114.0	420.1	1093.4	1870.0

R - erosividade média anual, RS - erosividade média anual no período seco, RU erosividade média anual no período úmido, RM - erosividade média anual mensal

Anexo 05

Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1973 a 2002.

Estações	P	PU	PS	TD	TU	TS	IP	IPU	IPS	GV	GVU	GVS
Avantiguara	1529	1301	228	93	75	18	493.3	520.5	380.2	V	V	MV
Brilhante	1564	1362	202	99	80	19	474.0	510.6	319.3	V	V	MEV
Corumbazul	1329	1148	181	95	79	16	419.7	436.1	338.8	MV	V	MEV
Faz Cac Pouso Alegre	1309	1106	203	90	77	13	436.4	431.0	468.5	V	V	V
Ituiutaba	1448	1212	236	97	76	21	447.7	478.4	336.7	V	V	MEV
Monte Alegre de Minas	1515	1287	228	125	102	23	363.6	378.2	298.5	MV	MV	MEV
Morrinhos	1372	1156	216	131	102	29	397.6	456.8	228.4	MV	V	MEV
Ponte Meia	1444	1216	228	122	99	23	314.1	339.9	223.5	MEV	MEV	ME
Tupaciguara	1429	1242	187	112	91	21	355.0	368.5	297.0	MV	MV	MEV
Xapetuba	1485	1264	221	112	83	29	382.7	409.3	267.3	MV	MV	MEV

P - Precipitação média anual, PU - Precipitação no período úmido; PS - Precipitação no período seco; TD - total de dias com chuva; TU - total de dias com chuva no período úmido; TS - Total de Chuva no período seco; IP - intensidade pluviométrica para o período total; IPU - intensidade pluviométrica para o período úmido; IPS - intensidade pluviométrica para o período seco; GV - Grau de vulnerabilidade; GVU - Grau de Vulnerabilidade no período úmido; GVS - Grau de Vulnerabilidade no período seco.

Anexo 06

Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1973 a 1982.

Estações	Média	DP	CV	P	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	139.2	122.8	88.2	1670.4	378	205.7	143.3	89.1	52.7	19.9	8.9	12.8	55	151.5	244.8	308.7
Brilhante	143.8	132.1	91.9	1725.1	392	192.4	172.2	66.3	48.8	20.6	11.8	17.2	71.3	119.2	259.3	354
Corumbazul	117.5	99.9	85.1	1409.4	230.7	158.8	171.3	78.1	35	15.7	3.3	16.4	41.5	134	227.7	296.9
Fazenda Cac Pouso Alegre	116.3	96.3	82.8	1395.8	256.7	141.1	191.4	83.4	44.7	21	6.2	14.3	42.1	116.7	203.7	274.5
Ituiutaba	116.3	92.7	79.7	1395.0	268.5	169	178.5	93	37.5	13.4	12	10.6	49.6	132.2	192.9	237.8
Monte Alegre de Minas	131.7	104.7	79.5	1580.5	302.9	168.8	186.6	114.7	50.9	27	10.4	13.4	44	157.2	213.4	291.2
Morrinhos	117.6	91.8	78.0	1411.7	253.57	177	161	88.8	39	9.2	4.9	16	63	152	210	238
Ponte Meia	126.0	109.0	86.5	1511.7	305.3	168.1	180	88.2	32.8	17.6	4.3	11	49.1	149.4	201.6	304.3
Tupaciguara	125.7	109.8	87.3	1508.5	293.9	194.3	131.3	73.6	41	20.8	12.6	10.4	50.1	124.1	265.2	291.2
Xapetuba	136.7	111.0	81.2	1639.8	299.7	220.3	183.8	95.1	53.8	24.3	9.6	22.3	55.3	119.1	245.3	311.2
			Média	1524,8	298.1	179.5	169.9	87.0	43.7	18.9	8.4	14.4	52.1	135.6	226.3	290.7

CV = coeficiente de variação (%), DP = desvio padrão, P = precipitação média anual

Anexo 07

Valores médios mensais e anuais de erosividade no período de 1973 a 1982.

Estações	R	RS	RU	RM	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	9210.1	502.9	8707.1	767.5	2956.0	1050.7	568.3	253.4	103.8	19.8	5.0	9.4	111.6	624.7	1412.4	2095.0
Brilhante	9670.2	450.0	9220.2	805.8	3059.6	912.5	755.7	149.2	88.6	20.4	7.9	15.0	168.8	404.3	1515.5	2572.7
Corumbazul	7847.0	406.5	7440.4	653.9	1475.3	781.9	889.4	234.0	59.8	15.3	1.1	16.5	79.9	585.8	1442.8	2265.3
Faz Cac Pouso Alegre	7660.3	479.3	7181.0	638.4	1783.6	644.9	1082.9	263.8	91.4	25.3	3.2	13.2	82.5	467.0	1203.8	1998.9
Ituiutaba	7531.4	524.0	7007.4	627.6	1926.1	876.8	962.2	317.6	67.8	11.8	9.8	7.9	109.1	577.5	1097.9	1566.9
Monte Alegre de Minas	8347.1	642.9	7704.2	695.6	2126.2	786.9	933.1	408.0	102.5	34.9	6.9	10.6	80.0	697.2	1172.3	1988.5
Morrinhos	7540.4	549.3	6991.1	628.4	1730.0	936.5	797.9	290.5	73.1	6.1	2.1	15.9	161.6	727.0	1251.0	1548.7
Ponte Meia	8404.6	448.7	7955.9	700.4	2238.0	811.5	911.6	271.1	50.4	17.5	1.6	7.9	100.2	664.1	1105.2	2225.6
Tupaciguara	8412.3	417.7	7994.6	701.0	2101.6	1039.9	534.1	199.7	73.8	23.3	9.9	7.2	103.8	485.3	1764.7	2068.9
Xapetuba	8693.0	569.7	8123.4	724.4	2023.8	1199.3	881.4	287.5	109.2	28.3	5.8	24.4	114.4	421.5	1439.7	2157.6
Média	8331.6	499.1	7832.5	694.3	2142.0	904.1	831.7	267.5	82.0	20.3	5.3	12.8	111.2	565.5	1340.5	2048.8

R - erosividade média anual, RS - erosividade média anual no período seco, RU erosividade média anual no período úmido, RM - erosividade média anual mensal

Anexo 08

Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1973 a 1982.

Estações	P	PU	PS	TD	TU	TS	IP	IPU	IPS	GV	GVU	GVS
Avantiguara	1631	1393	238	95	77	18	515.1	542.6	397.3	V	V	MV
Brilhante	1691	1455	236	116	97	19	437.4	449.9	373.3	V	V	MV
Corumbazul	1372	1182	190	110	94	16	374.2	377.2	356.3	MV	MV	MV
Faz Cac Pouso Alegre	1357	1145	212	94	81	13	432.9	424.0	488.5	V	MV	V
Ituiutaba	1448	1231	216	124	103	21	350.2	358.7	308.7	MV	MV	MEV
Monte Alegre de Minas	1561	1300	260	158	135	23	296.4	288.9	340.3	MEV	MEV	MEV
Morrinhos	1372	1151	221	115	86	29	357.8	401.4	228.8	MV	MV	MEV
Ponte Meia	1467	1264	203	101	78	23	435.7	486.0	264.8	MV	V	MEV
Tupaciguara	1505	1297	209	99	78	21	456.1	498.7	297.9	V	V	MEV
Xapetuba	1613	1353	260	97	68	29	499.0	596.9	269.4	V	V	MEV

P - Precipitação média anual, PU - Precipitação no período úmido; PS - Precipitação no período seco; TD - total de dias com chuva; TU - total de dias com chuva no período úmido; TS - Total de Chuva no período seco; IP - intensidade pluviométrica para o período total; IPU - intensidade pluviométrica para o período úmido; IPS - intensidade pluviométrica para o período seco; GV - Grau de vulnerabilidade; GVU - Grau de Vulnerabilidade no período úmido; GVS - Grau de Vulnerabilidade no período seco.

Anexo 09

Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1983 a 1992.

Estações	Média	DP	CV	P	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	128.5	108.6	84.5	1541.5	328.3	194	216.4	121.4	22.7	7.6	7.3	23.5	51	141.4	162	265.9
Brilhante	129.8	121.7	93.8	1557.8	349.1	216.4	221.4	70.9	25.8	3	9.2	19.7	50.2	115.6	161	315.5
Corumbazul	114.1	98.2	86.1	1368.9	230	189.1	218.6	80.1	25.4	4.7	10.6	27.5	33	91.1	189.3	269.5
Faz Cac Pouso Alegre	112.5	88.6	78.7	1349.9	234.8	198.6	188.9	90.2	32.3	6.4	22.7	19.7	41.3	116	160.7	238.3
Ituiutaba	114.2	89.3	78.2	1370.6	257.5	162.9	219.8	91.2	37.3	9	12.3	21.8	57.5	117.7	160.4	223.2
Monte Alegre de Minas	123.3	99.9	81.0	1479.8	279.8	195.2	192.2	99.3	32.2	5.6	14.1	23.9	46.4	125.4	211.1	254.6
Morrinhos	115.3	94.6	82.0	1383.9	256.1	176.7	199.1	90.09	34.7	9.28	5.12	24.1	49	111.2	164.7	263.9
Ponte e meia	125.5	94.1	75.0	1506.3	244.8	197.1	232.9	127.1	31.5	3.9	52.1	24.4	39.9	115.5	182.3	254.8
Tupaciguara	115.3	104.4	90.5	1384.0	270	208	172.6	65.1	25	3	8.9	16.3	41.3	108.9	174.7	290.2
Xapetuba	124.8	103.9	83.3	1497.4	259.9	179.5	230.3	91.2	39.3	7.2	10.8	25.1	43.8	114.9	200.9	294.5
			Média	1446,8	271.0	191.8	1444.0	92.7	30.6	6.0	15.3	22.6	45.3	115.8	176.7	267.0

CV = Coeficiente de variação (%), DP = Desvio padrão, P = Precipitação média anual (mm)

Anexo 10

Valores médios mensais e anuais de erosividade no período de 1983 a 1992.

Estações	R	RS	RU	RM	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	8446.4	626.7	7819.7	703.9	2490.5	1018.3	1226.2	459.0	26.5	4.1	3.9	28.1	105.1	594.8	749.5	1740.4
Brilhante	9022.8	343.6	8679.2	751.9	2740.0	1215.3	1263.4	182.3	32.7	0.8	5.7	20.7	101.4	418.6	735.1	2306.9
Corumbazul	7716.9	392.1	7324.8	643.1	1504.5	1078.5	1379.9	250.4	35.5	2.0	8.0	40.7	55.5	311.6	1080.5	1969.7
Faz Cac Pouso Alegre	7275.7	502.9	6772.8	606.3	1576.9	1186.3	1089.5	310.1	54.1	3.5	29.7	23.3	82.2	475.5	827.6	1617.1
Ituiutaba	7338.5	566.3	6772.3	611.5	1821.0	836.1	1391.4	311.9	68.2	6.1	10.3	27.4	142.4	481.2	814.4	1428.2
Monte Alegre de Minas	7985.7	524.9	7460.8	665.5	1964.9	1065.4	1037.7	337.7	49.8	2.5	12.2	30.0	92.6	502.1	1217.1	1673.6
Morrinhos	7580.0	511.2	7068.7	631.7	1789.0	952.3	1166.8	302.9	60.0	6.4	2.3	32.1	107.6	433.0	844.5	1883.0
Ponte e meia	7808.0	767.0	7041.0	650.7	1542.1	1066.9	1416.9	506.0	47.2	1.4	111.1	30.6	70.6	430.1	934.3	1650.8
Tupaciguara	8006.5	312.5	7694.0	667.2	1957.6	1256.4	914.9	174.4	34.3	0.9	5.9	16.6	80.4	418.2	933.9	2213.0
Xapetuba	8171.3	485.4	7685.9	680.9	1715.9	914.6	1397.1	289.3	69.2	3.9	7.7	32.3	83.1	428.4	1107.6	2122.2
Média	7935.2	503.3	7431.9	661.3	1910.2	1059.0	1228.4	312.4	47.7	3.2	19.7	28.2	92.1	449.4	924.5	1860.5

R - erosividade média anual, RS - erosividade média anual no período seco, RU erosividade média anual no período úmido, RM - erosividade média anual mensal

Anexo 11

Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1983 a 1992.

Estações	P	PU	PS	TD	TU	TS	IP	IPU	IPS	CV	CVU	CVS
Avantiguara	1542	1308	234	92	74	18	502.7	530.3	389.2	V	V	MV
Brilhante	1558	1379	179	95	76	19	491.9	544.1	282.8	V	V	MEV
Corumbazul	1369	1188	181	92	76	16	446.4	468.8	339.9	V	V	MEV
Faz Cac Pouso Alegre	1350	1137	213	87	74	13	465.5	461.1	490.6	V	V	V
Ituiutaba	1371	1142	229	87	66	21	472.6	518.9	327.3	V	V	MEV
Monte Alegre de Minas	1480	1258	222	126	103	23	352.4	366.4	289.4	MV	MV	MEV
Morrinhos	1412	1191	221	137	108	29	309.1	330.7	228.8	MEV	MEV	MEV
Ponte Meia	1506	1227	279	129	106	23	350.3	347.4	363.8	MEV	MEV	MV
Tupaciguara	1384	1224	160	115	94	21	361.2	390.9	228.0	MV	MV	MEV
Xapetuba	1497	1280	217	100.03	71	29	449.1	540.6	224.9	V	V	ME

P - Precipitação média anual, PU - Precipitação no período úmido; PS - Precipitação no período seco; TD - total de dias com chuva; TU - total de dias com chuva no período úmido; TS - Total de Chuva no período seco; IP - intensidade pluviométrica para o período total; IPU - intensidade pluviométrica para o período úmido; IPS - intensidade pluviométrica para o período seco; GV - Grau de vulnerabilidade; GUV - Grau de Vulnerabilidade no período úmido; GVS - Grau de Vulnerabilidade no período seco.

Anexo 12

Valores médios mensais e anuais das precipitações no período de 1993 a 2002.

Estações	Média	CV	DP	P	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	114.7	95.5	83.3	1376.2	281.8	204.7	178.5	61.2	43.1	25.8	5.1	21.3	55.8	80.6	184.8	233.5
Brilhante	117.5	105.4	89.7	1410.1	278.1	199.2	200.1	51.2	38.1	21.1	3	13	64.7	70.6	180.5	290.5
Corumbazul	100.7	83.4	82.8	1208.3	228.4	147.2	185.8	62	31.6	16.6	5.7	10.2	44.5	94.9	169.7	211.7
Faz Cac Pouso Alegre	100.5	80.5	80.1	1205.8	225.9	171.4	157	52.6	49.1	19.7	5.1	17.6	56.4	72.7	162.7	215.6
Ituiutaba	120.6	90.5	75.1	1447.5	248.9	253.1	169.1	75.9	60.2	28.8	4.5	22.9	69.2	108.4	192	214.5
Monte Alegre de Minas	123.7	105.2	85.0	1484.6	297.2	205.3	200.1	54.2	39.8	22.4	7.5	16.5	63	103.6	206.3	268.7
Morrinhos	117.7	96.0	81.6	1412.4	248	187	209	88.1	41	14	5.2	18	50	104	181	267
Ponte Meia	113.0	85.4	75.6	1356.2	220	200.5	191.5	87.7	49.5	21.9	3.7	16.5	65.3	86.4	194.4	218.8
Tupaciguara	116.2	102.2	88.0	1393.8	269.5	182.2	209.8	48.4	39.6	20.1	5	18.3	62	73.8	183.4	281.7
Xapetuba	109.7	92.3	84.2	1316.5	245.2	198.2	168.9	45.3	41.1	24.6	4	17.9	51.7	88.3	183	248.3
			Média	1361.1	255,0	195,8	184,5	62.7	43.3	21.5	4.9	17.2	58.3	88.3	183.8	245

CV = coeficiente de variação (%), DP = Desvio padrão, P = Precipitação média anual (mm)

Anexo 13

Valores médios mensais e anuais de erosividade no período de 1993 a 2002.

Estações	R	RS	RC	RM	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
Avantiguara	7582.7	444.4	7138.4	631.9	2115.4	1228.5	973.4	157.7	86.9	36.3	2.3	26.2	134.8	251.9	1032.5	1536.7
Brilhante	8073.7	390.3	7683.5	672.8	2026.0	1148.9	1157.8	114.1	69.0	25.3	0.9	11.1	169.8	197.0	971.7	2182.0
Corumbazul	6792.9	370.6	6422.4	566.1	1653.1	783.4	1163.9	180.1	57.3	19.2	3.1	8.4	102.5	371.4	997.7	1452.9
Faz Cac Pouso Alegre	6646.6	460.9	6185.7	553.9	1625.3	1016.5	875.6	136.4	121.4	25.7	2.6	21.2	153.6	236.5	930.3	1501.4
Ituiutaba	7532.1	623.2	6908.9	627.7	1640.9	1688.3	850.5	217.9	146.9	42.0	1.8	28.4	186.2	399.4	1055.5	1274.3
Monte Alegre de Minas	8189.0	393.7	7795.3	682.4	2171.1	1157.6	1108.2	120.3	71.2	26.8	4.2	15.9	155.4	361.9	1167.2	1829.2
Morrinhos	7695.5	508.5	7187.0	641.3	1665.2	1034.4	1245.2	286.9	78.5	12.1	2.4	18.8	109.9	378.6	979.1	1884.5
Ponte Meia	7167.7	630.5	6537.1	597.3	1406.1	1200.9	1110.7	294.4	111.4	27.8	1.4	17.2	178.3	287.1	1139.4	1393.1
Tupaciguara	7902.8	384.5	7518.3	658.6	1939.8	997.1	1267.3	104.7	74.5	23.5	2.2	20.0	159.5	214.5	1008.3	2091.4
Xapetuba	7354.2	361.1	6993.1	612.8	1734.0	1207.6	920.1	98.2	83.3	34.8	1.6	20.3	123.0	305.5	1054.5	1771.4
Média	7493.7	456.8	7037.0	624.5	1797.7	1146.3	1067.3	171.1	90.0	27.3	2.2	18.8	147.3	300.4	1033.6	1691.7

R - erosividade média anual, RS - erosividade média anual no período seco, RC erosividade média anual no período úmido, RM - erosividade média anual mensal

Anexo 14

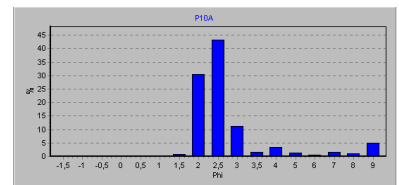
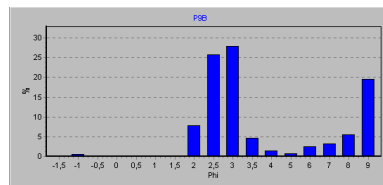
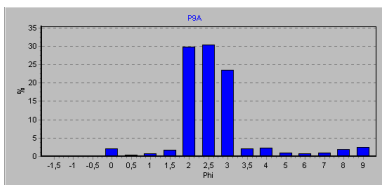
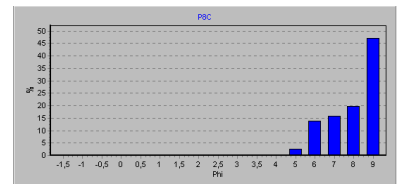
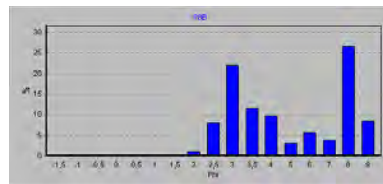
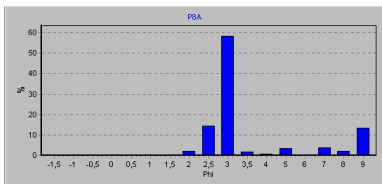
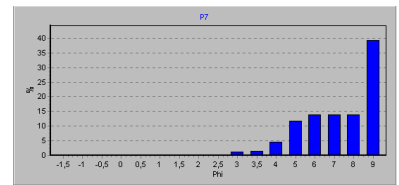
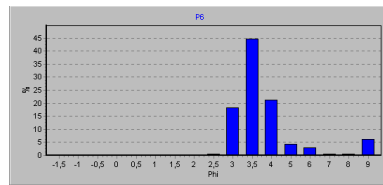
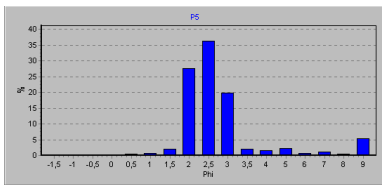
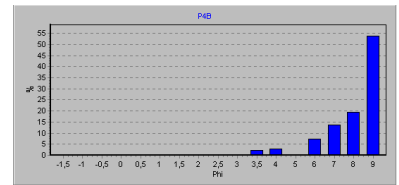
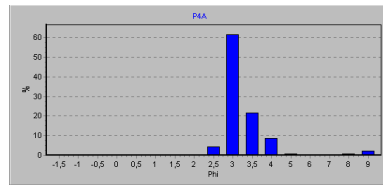
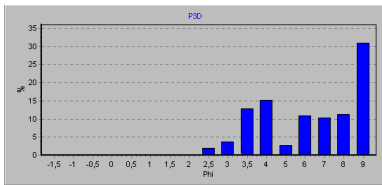
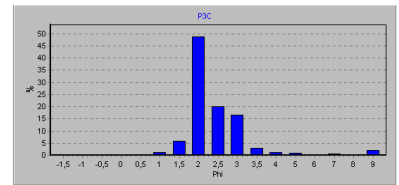
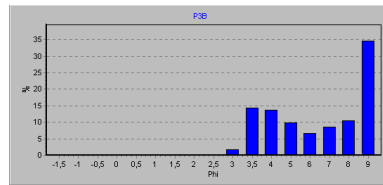
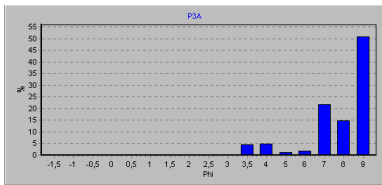
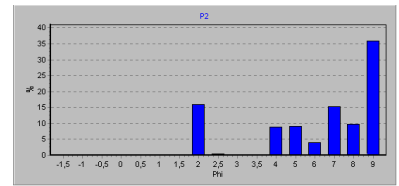
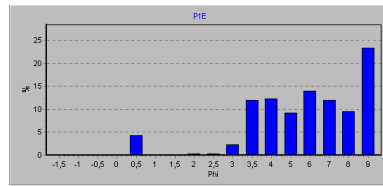
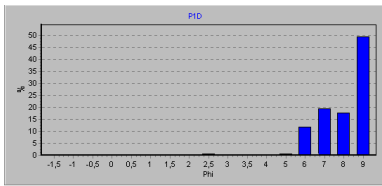
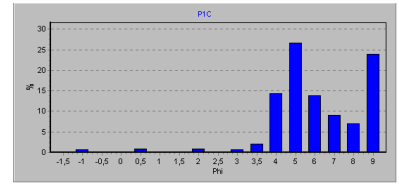
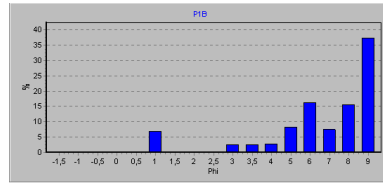
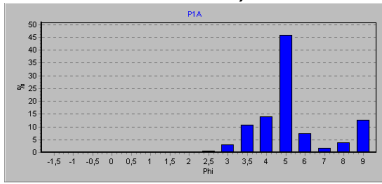
Valores médios anuais das intensidades pluviométricas referente ao período de 1993 a 2002.

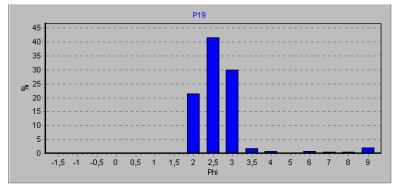
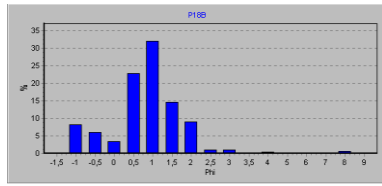
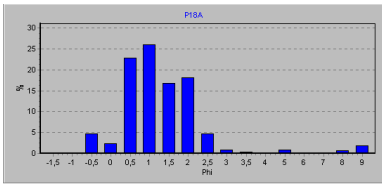
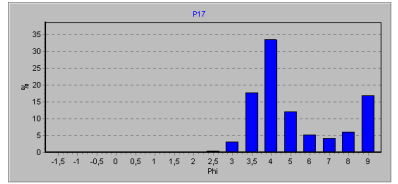
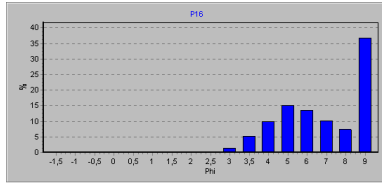
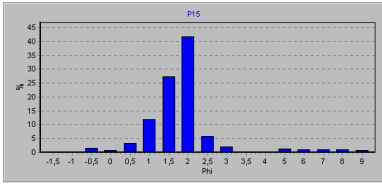
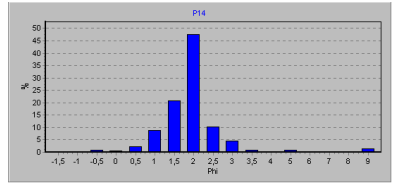
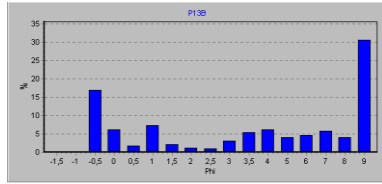
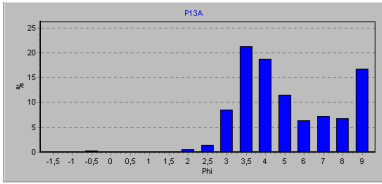
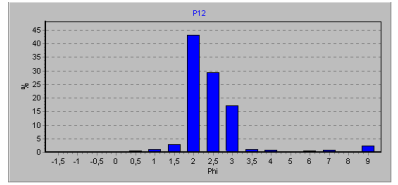
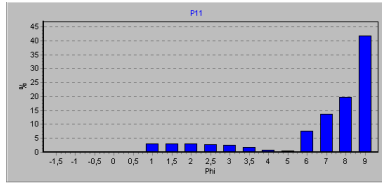
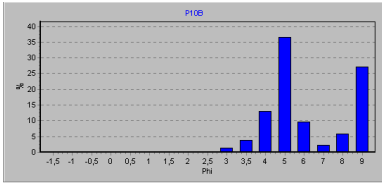
Estações	P	PU	PS	TD	TU	TS	IP	IPU	IPS	CV	CVU	CVS
Avantiguara	1376	1164	212	88	70	18	469.2	498.8	353.8	V	V	MV
Brilhante	1410	1219	191	100	81	19	423.0	451.3	302.3	MV	V	MEV
Corumbazul	1208	1038	171	93	77	16	389.8	404.3	319.9	MV	MV	MEV
Faz Cac Pouso Alegre	1206	1005	201	80	67	13	452.2	450.1	462.7	V	V	V
Ituiutaba	1448	1186	262	107	86	21	405.8	413.7	373.6	MV	MV	MV
Monte Alegre de Minas	1485	1281	203	121	98	23	368.1	392.0	265.8	MV	MV	MEV
Morrinhos	1412	1196	216	131	102	29	323.4	351.9	223.5	MEV	MV	ME
Ponte Meia	1356	1112	245	120	97	23	339.1	343.8	319.0	MEV	MEV	MEV
Xapetuba	1394	1200	193	119	98	21	351.4	367.5	276.3	MV	MV	MEV
Tupaciguara	1317	1132	185	114	85	29	346.4	399.5	191.0	MEV	V	ME

P - Precipitação média anual, PU - Precipitação no período úmido; OS - Precipitação no período seco; TD - total de dias com chuva; TC - total de dias com chuva no período úmido; TS - Total de Chuva no período seco; IP - intensidade pluviométrica para o período total; IPC - intensidade pluviométrica para o período úmido; IPS - intensidade pluviométrica para o período seco; GV - Grau de vulnerabilidade; GVC - Grau de Vulnerabilidade no período úmido; GVS - Grau de Vulnerabilidade no período seco.

Anexo 15

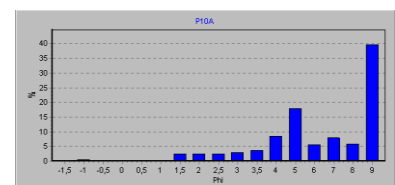
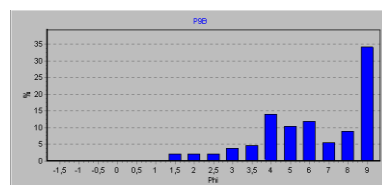
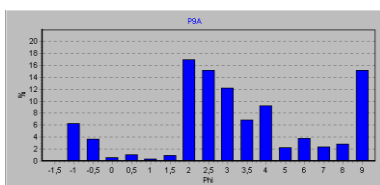
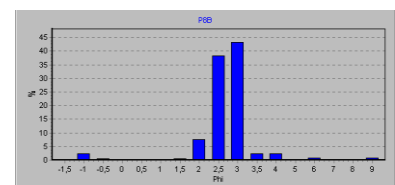
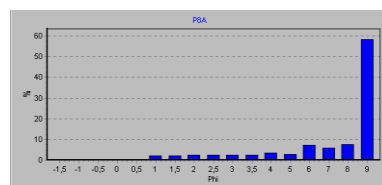
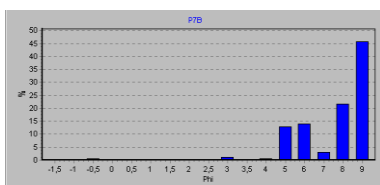
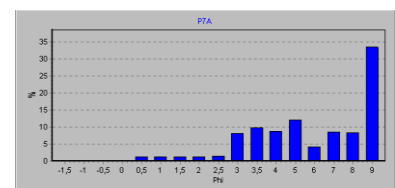
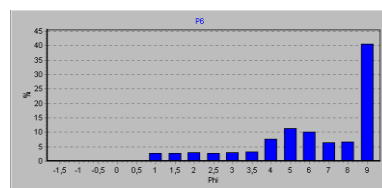
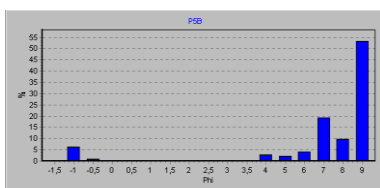
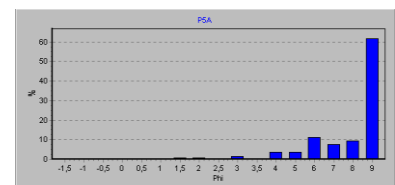
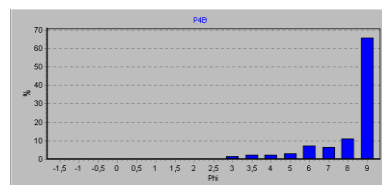
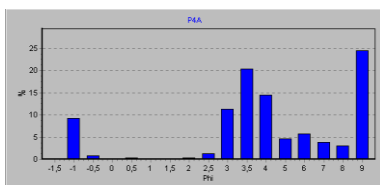
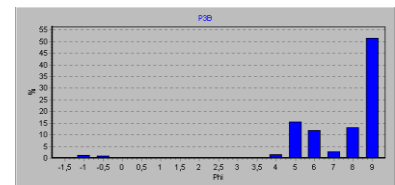
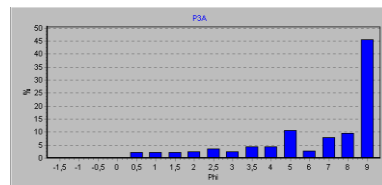
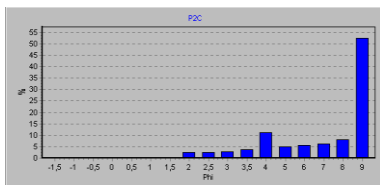
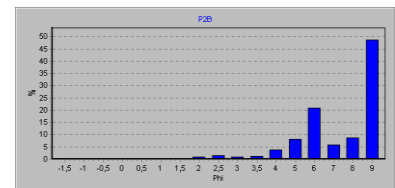
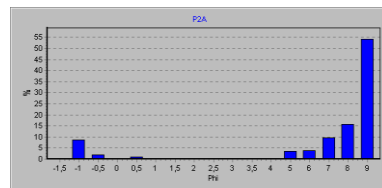
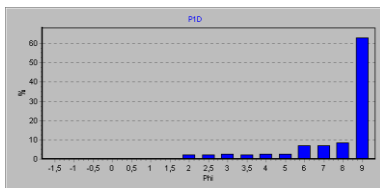
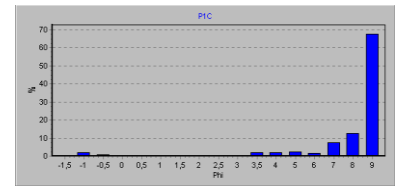
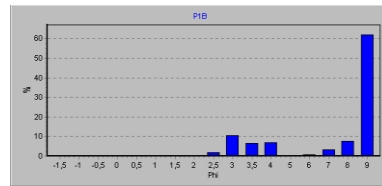
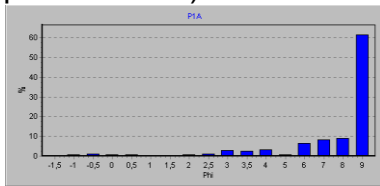
Histogramas das amostras do primeiro levantamento a campo (06/02/03 e 07/02/03 – Período úmido)

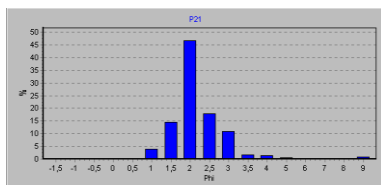
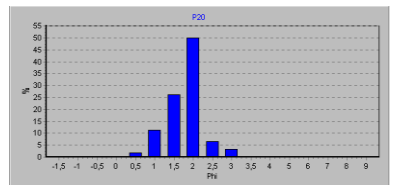
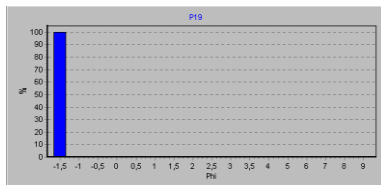
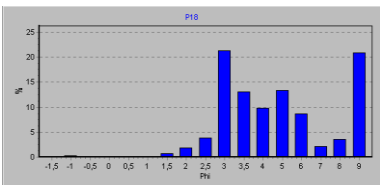
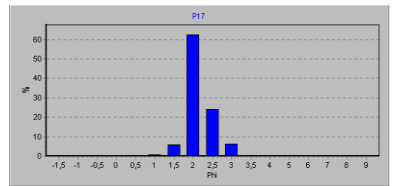
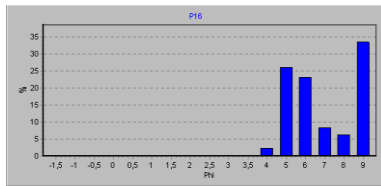
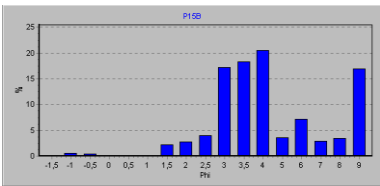
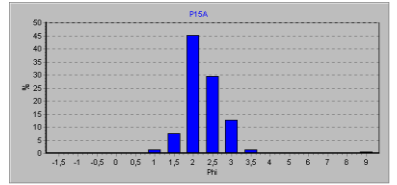
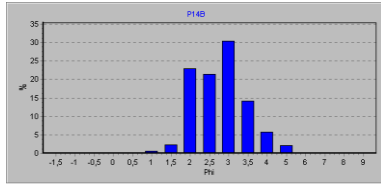
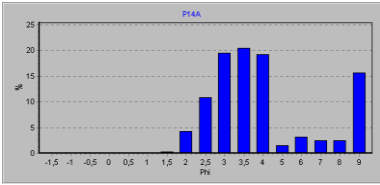
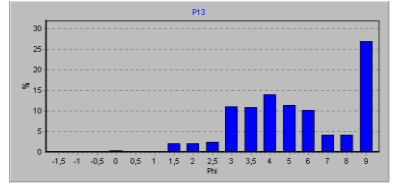
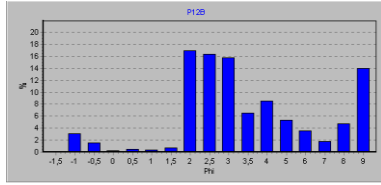
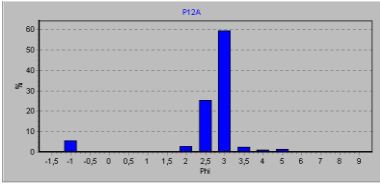
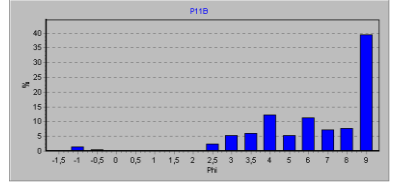
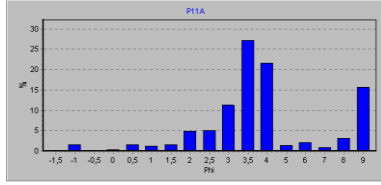
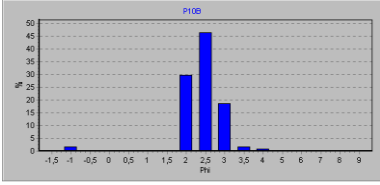




Anexo 16

Histogramas das amostras do segundo levantamento a campo (03 e 04/05/05 – período seco)





Anexo - 17

Lei nº 4.777/65 do Código Florestal

Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será: (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; (Número acrescentado pela Lei nº 7.511, de 7.7.1986 e alterado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (Número acrescentado pela Lei nº 7.511, de 7.7.1986 e alterado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação. (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

i) nas áreas metropolitanas definidas em lei. (Alínea acrescentada pela Lei nº 6.535, de 15.6.1978)

Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo. (Parágrafo acrescentado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

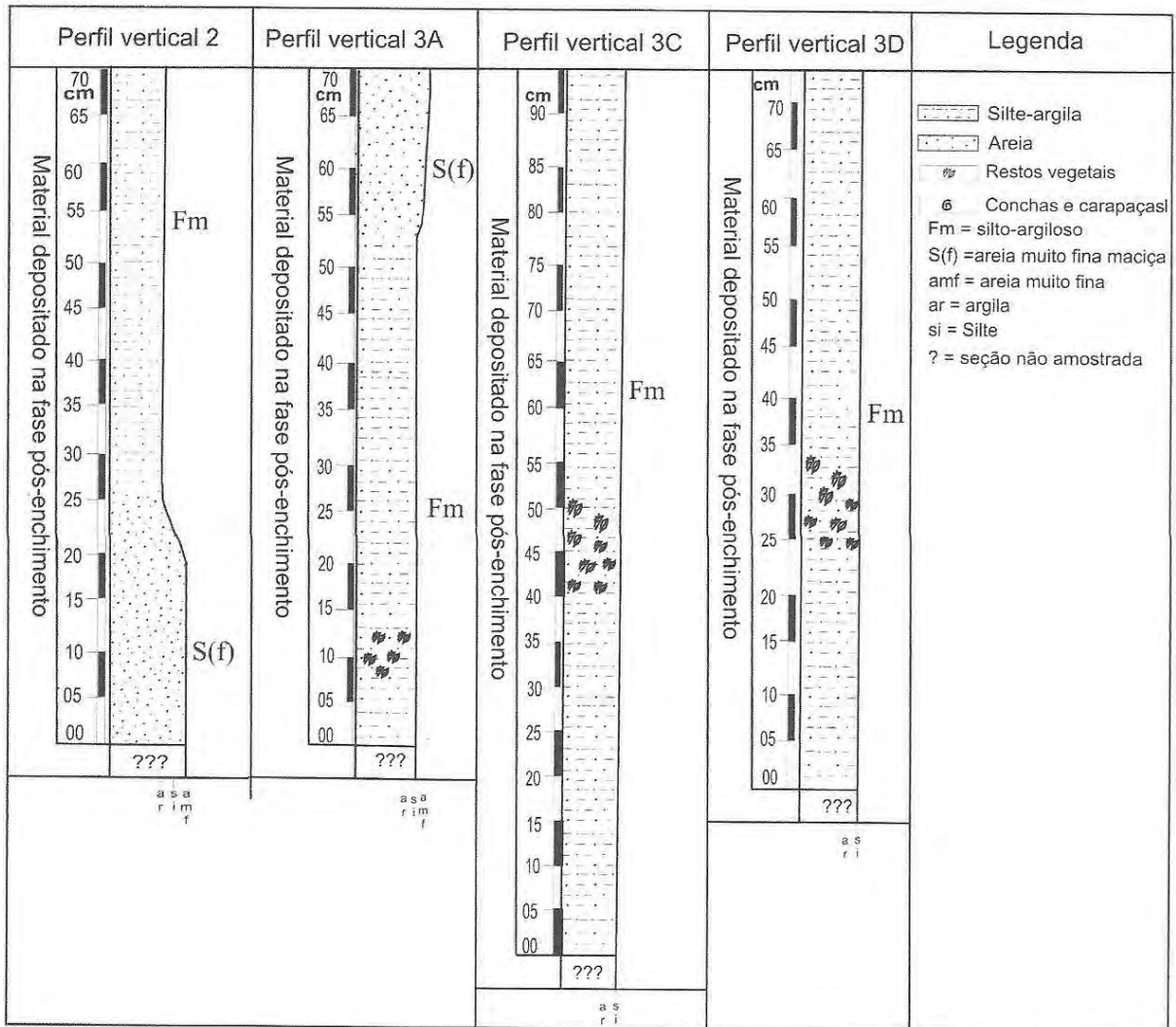
Art. 3º Consideram-se, ainda, de preservação permanentes, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

- a) a atenuar a erosão das terras;*
- b) a fixar as dunas;*
- c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;*
- d) a auxiliar a defesa do território nacional a critério das autoridades militares;*
- e) a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico;*
- f) a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção;*
- g) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas;*
- h) a assegurar condições de bem-estar público.*

§ 1º A supressão total ou parcial de florestas de preservação permanente só será admitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

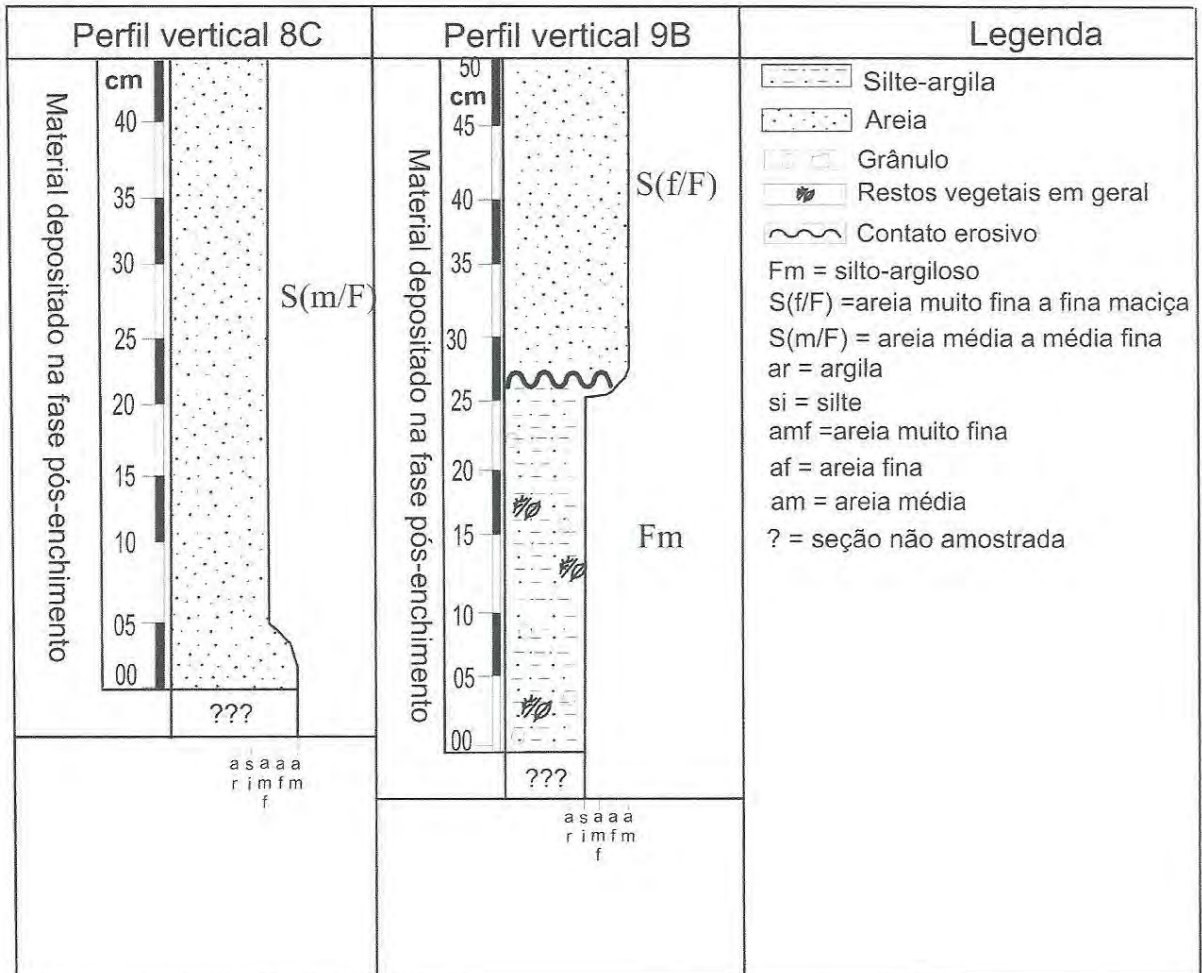
§ 2º As florestas que integram o Patrimônio Indígena ficam sujeitas ao regime de preservação permanente (letra g) pelo só efeito desta Lei.

Anexo 18



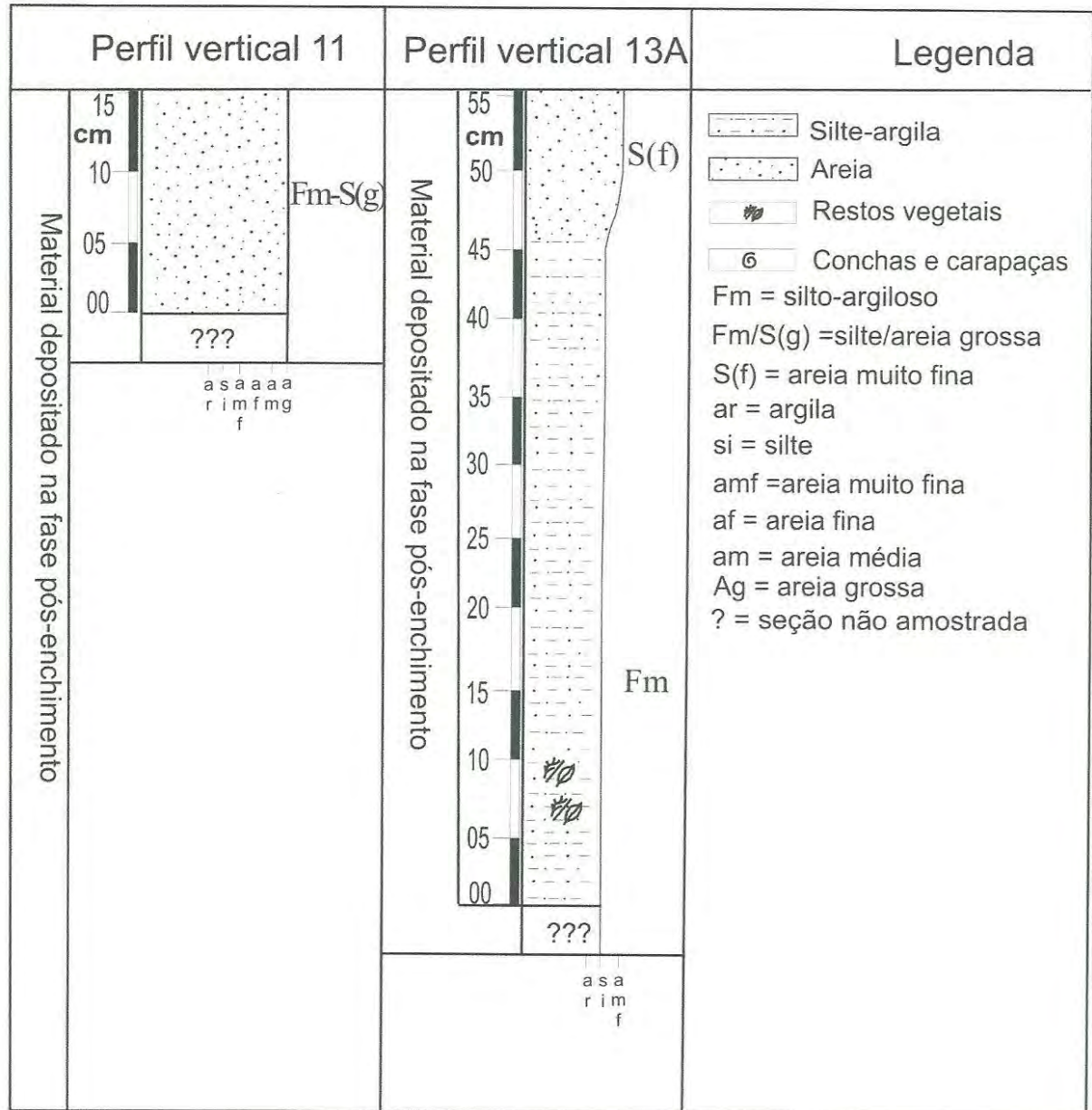
Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 2, 3 A, 3C e 3D.

Anexo 19



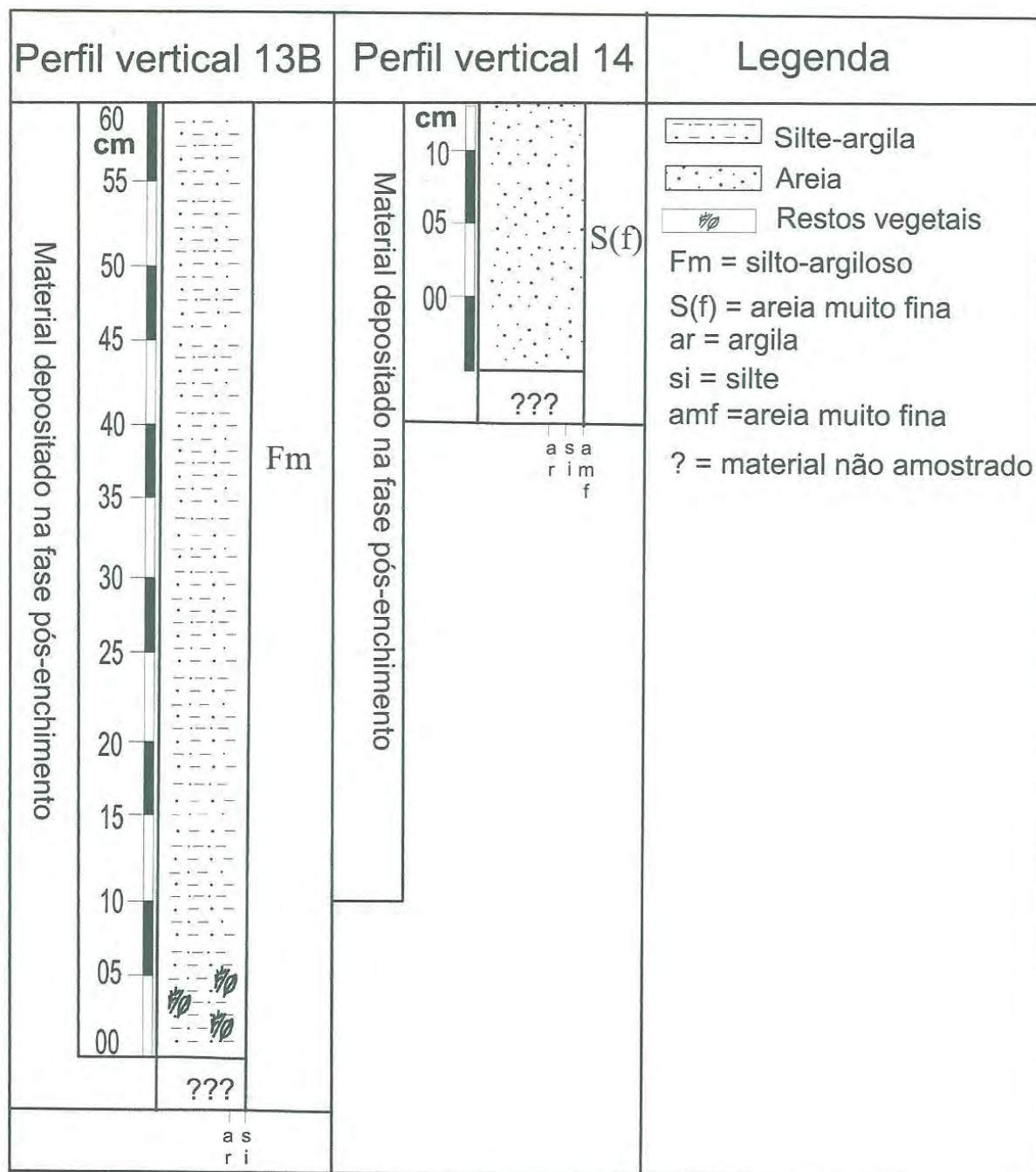
Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 8C e 9B.

Anexo 20



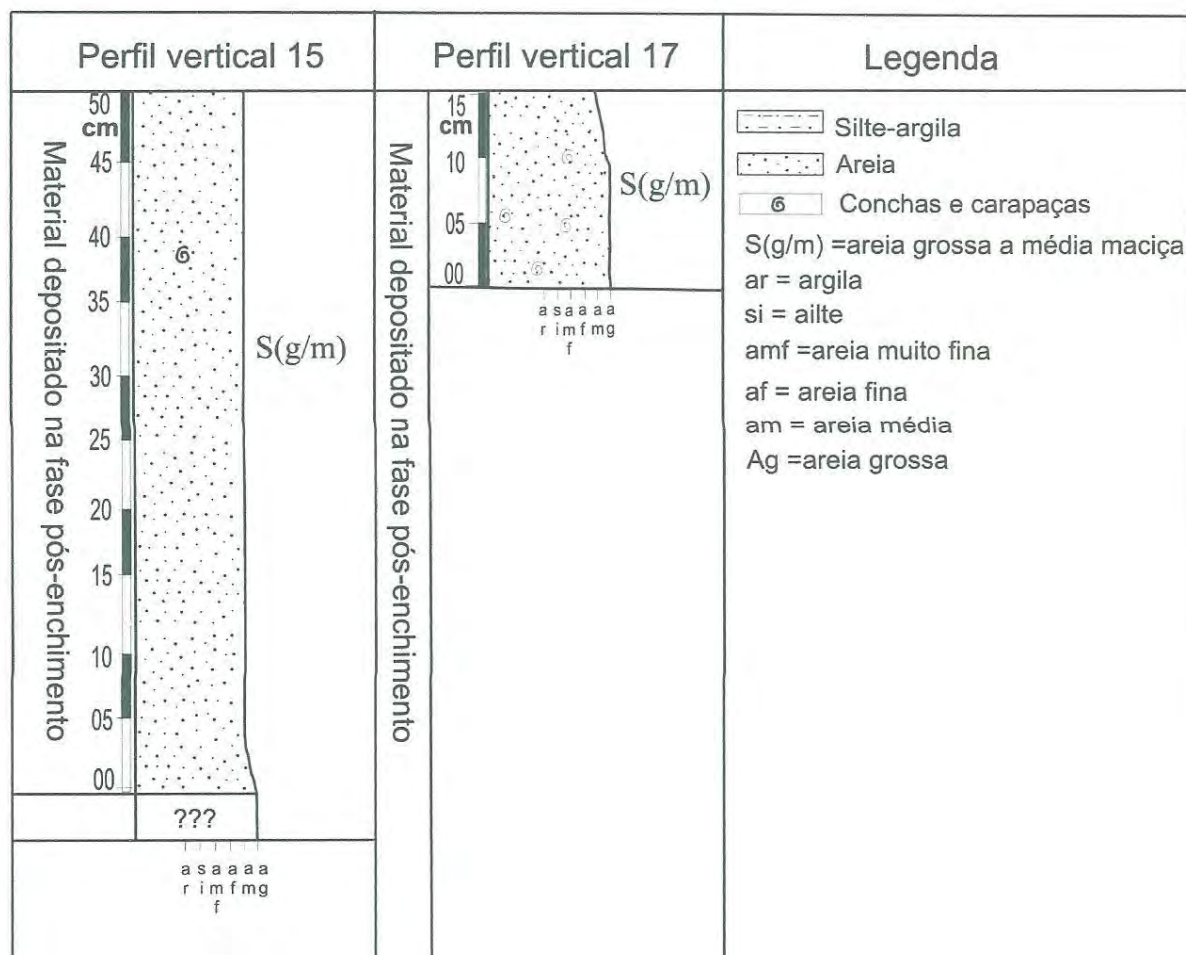
Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 11A e 13A.

Anexo 21



Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 13B e 14.

Anexo 22



Perfis verticais dos materiais depositados nos locais de amostragem dos pontos 15 e 17.