MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

METAIS PESADOS NA ÁGUA E SEDIMENTOS DOS RIOS DA BACIA DO ALTO PARAGUAI

ANTÔNIO CARLOS SILVA SAMPAIO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profª. Drª. Maria Lúcia Ribeiro

Campo Grande, dezembro de 2003.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é fruto de um trabalho de pesquisa que se baseou na identificação de metais pesados em amostras de água e de sedimentos dos rios da Bacia do Alto Paraguai.

O trabalho foi desenvolvido com a coleta de amostras de águas e sedimentos em pontos determinados, e que foram analisados no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFMS, através do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação da Prof^{a}. Dr^{a}. Maria Lúcia Ribeiro, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente à minha mãe Verônica (em memória), que sempre esteve presente ao meu lado nos momentos difíceis.

A Deus pela mão amiga e força suprema.

A Professora Drª. Maria Lucia Ribeiro, mesmo com muito trabalho, orientou-me dando liberdade para buscar soluções para os problemas encontrados.

Ao Professor Dr. Carlos Nobuyoshi Ide, pelo apoio durante toda a pesquisa.

Ao Professor Luiz Augusto Araújo do Val, pela colaboração nas coletas de amostras de sedimentos.

Aos professores do PGTA, pelas sugestões e apoio, de maneira geral.

A equipe do Laboratório de Qualidade Ambiental, José Luiz Gonçalves, Marcelo Campos, Maria Aparecida Cabral Seixas, Leila Marques Imolene de Souza, Vicente Pereira da Cruz e Cristina Gimenez, pelo apoio e colaboração recebido durante a realização do mestrado.

A Prefeitura Municipal de Campo Grande - MS, especialmente aos membros do Departamento de Controle Ambiental, pelo apoio recebidos durante a realização do mestrado.

Aos colegas e alunos de graduação em Engenharia Ambiental Dulce Buchala Bicca Rodrigues, Edson Satoshi Miyazato, Erica Silva Moreira e Luciene da Silva Santos, pela colaboração na preparação das amostras de sedimentos.

Ao apoio dado pela ANA/GEF/PNUMA/OEA, através do financiamento que possibilitou o desenvolvimento da pesquisa.

Finalmente a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho pesquisou a presença de metais pesados nas águas e nas primeiras camadas superiores do perfil do sedimento da Bacia do Alto Paraguai. Foram realizadas coletas de amostras em vários pontos. Devido a grande extensão estudada foram coletadas amostras somente em um transcepto de cada ponto, duas amostras de água bruta, sendo uma composta, outra pontual e uma amostra de sedimento. Foi utilizado um amostrador de saca para amostras compostas de água, amostrador alfa horizontal para amostras pontuais de água e amostrador de núcleo, "Core", para sedimentos. Foram analisados os seguintes metais em águas e em sedimentos: cobalto, prata, cobre, ferro, manganês, cádmio, zinco, chumbo, níquel, e cromo. Cálcio, alumínio e magnésio também foram quantificados nos sedimentos. Foram analisados por Espectroscopia de Absorção Atômica, segundo metodologia do Standard Methods, 19th ed.. Os resultados obtidos nas análises foram enquadrados segundo a Resolução CONAMA nº 20/86, na classe 3, vários pontos amostrados dos seguintes metais: cádmio, cobre, manganês, níquel, zinco e chumbo. Sedimentos moderadamente poluídos com cobre foram encontrados no Rio Aquidauana e em relação ao manganês no Rio Negro, Rio Vermelho e no Rio Piquiri.

Palavras-chave: sedimento; metais pesados; Bacia do Alto Paraguai; água.

ABSTRACT

The present work researched the presence of heavy metals in the waters and in the first superior layers of the profile of the sediment of the Upper Paraguay River Basin. Collections of samples were accomplished in several points. Due to great studied extension samples were only collected in a cross section of each point, two samples of natural water, being a composed one, other punctual one and a sediment sample. A bag sampler was used for samples of composed water, horizontal alpha sampler for sample punctual water and core sampler for sediments. The following metals were analyzed in waters and in sediments: cobalt, silver, copper, iron, manganese, cadmium, zinc, lead, nickel, and chrome. Calcium, aluminum and magnesium were also quantified in sediments. They were analyzed by Espectroscopy of Atomic Absorption, according methodology of Standard Methods, 19th ed. The results obtained in the analyses were framed according to the CONAMA Resolution nº 20/86, in the class 3, several points samplered of the following metals: cadmium, copper, manganese, nickel, zinc and lead. Sediments moderately polluted with copper were found in Aquidauana River and in relation to the manganese in Negro River, Vermelho River and in Piquiri River.

Keywords: sediment; heavy metals; Upper Paraguay River Basin; water.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO ii
AGRADECIMENTOS iii
LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS x
INTRODUÇÃO 1
1. OBJETIVOS 3
1.1. Objetivo Geral 3
1.2. Objetivos Específicos 3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. Caracterização da Bacia do Alto Paraguai – (BAP) 4
2.2. Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos da BAP 8
2.2.1. Agroquímicos e Metais Pesados Existentes na BAP 8
2.3. Características de Alguns dos Metais em Estudo 9
2.4. Metais em Águas 17
2.5. A Qualidade das Águas 18
2.5.1. Padrões e Parâmetros de Qualidade 19
2.6. O Sedimento 21
2.6.1. Classificação do Sedimento 22
2.6.2. O Sedimento como Indicador do Nível de Poluição do Ecossitema 23
2.7. Metais Pesados e Sedimentos 24
3. MATERIAIS E MÉTODOS 29
3.1. Amostragem 29
3.1.1. Amostras de Água Bruta 30
3.1.2. Amostras de Sedimentos 31
3.2. Pontos de Amostragem 32
3.3. Coletas Realizadas 32
3.3.1. Coleta de Sedimentos 35
3.4. Metodologia de Análise 35

3.4.1. Digestão das Amostras do Sedimento 35
3.4.2. Análise dos Metais Totais 36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 37
4.1. Metais em Águas 37
4.2. Metais Pesados em Sedimentos 24
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55
ANEXOS 59

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização geográfica do Rio Paraguai.....6
Figura 2.2. Caracterização do relevo do Planalto e Pantanal em parte da bacia 7
Figura 3.1. Amostrador de saca para rios profundos.....30
Figura 3.2. Amostrador alfa horizontal 30
Figura 3.3. Amostrador “Core” 31
Figura 3.4. Amostrador “Core” e acessórios 32
Figura 3.5. Mapa de localização dos pontos de amostragem 34
Figura 4.1. Concentração de cobalto em águas 37
Figura 4.2. Concentração de prata nas águas.....38
Figura 4.3. Concentração de cobre em águas 38
Figura 4.4. Concentração de ferro em águas 39
Figura 4.5. Concentração de manganês em águas 40
Figura 4.6. Concentração de cádmio em águas 41
Figura 4.7. Concentração de zinco em águas 41
Figura 4.8. Concentração de chumbo em águas 42
Figura 4.9. Concentração de níquel em águas 43
Figura 4.10. Concentração de cromo em águas.....43
Figura 4.11. Concentração de zinco em sedimentos 44
Figura 4.12. Concentração de cálcio em sedimentos.....45
Figura 4.13. Concentração de cobalto em sedimentos 46
Figura 4.14. Concentração de cádmio em sedimentos 47
Figura 4.15. Concentração de ferro em sedimentos 48
Figura 4.16. Concentração de alumínio em sedimentos.....48
Figura 4.17. Concentração de magnésio em sedimentos.....49
Figura 4.18. Concentração de níquel em sedimentos 49
Figura 4.19. Concentração de cromo em sedimentos.....50
Figura 4.20. Concentração de chumbo em sedimentos 51
Figura 4.21. Concentração de cobre em sedimentos 51
Figura 4.22. Concentração de manganês em sedimentos 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos 19

Tabela 2.2. Padrões de qualidade físico-químicos (valores em $mg.L^{-1}$).....21

Tabela 2.3. Concentração de alguns elementos traço na água e no sedimento do Rio Elbe (Alemanha).....24

Tabela 2.4. Diretriz para classificação de poluição para sedimentos das enseadas dos Grandes Lagos (concentração em $mg.kg^{-1}$) 27

Tabela 2.5. Concentrações de metais em sedimentos em Ontário (concentração em $mg.kg^{-1}$ em peso seco) 28

Tabela 3.1. Identificação dos pontos de coleta.....33

Tabela 3.2. Metais pesados monitorados em água e sedimentos, unidades e técnicas analíticas utilizadas.....35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC – Amostra Composta

Al – Alumínio

ANA – Agência Nacional de Águas

AP – Amostra Pontual

BAP – Bacia do Alto Paraguai

C – Amostra de sedimentos “core”

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

Co – Cobalto

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

Cr – Cromo

Cu – Cobre

EPA – Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana

GEF – Global Environmental Facility

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis

Mn – Manganês

OEA – Organização dos Estados Americanos

Pxx – Ponto de coleta xx

Pb – Chumbo

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Rx – Rota de coleta x

UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Zn – Zinco

INTRODUÇÃO

Os processos responsáveis pela sedimentação são muito complexos, abrangendo erosão, deslocamento das partículas por enxurradas ou outros meios até os rios, transporte do sedimento nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e a sua compactação. Todos são processos naturais que sempre ocorreram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela forma atual da superfície da terra. Muitos dos fenômenos podem ser mesmo visualizados, ou presenciados, mas são muito complexos (CARVALHO, 1994).

A erosão é o processo inicial da sedimentação. É tanto mais intensa quanto menor for a proteção do solo, podendo-se citar:

- em zonas agrícolas, promove a remoção da camada fértil, com o empobrecimento do solo, e o sedimento atua como portador de poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados;

- trabalhos de mineração em cursos d'água prejudicam a calha do rio, provocando a degradação.

O deslocamento e o transporte do sedimento dependem da forma, tamanho e peso da partícula, e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição.

Como forma de grande depósito interior, pode-se citar o Pantanal Mato-Grossense, com cerca de 180.000km², cuja formação se deve ao trabalho de milhares de anos de transporte e depósito no outrora mar dos Xaraés (CARVALHO, 1994).

O transporte e as transformações de poluentes no ambiente aquático são influenciados por:

- processos de transportes no ambiente;

- propriedades físico-químicas dos poluentes;

- processos de transformação dos poluentes.

No sedimento dos ambientes aquáticos ocorrem processos biológicos, físicos e/ou químicos que influenciam na produtividade dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Além disso, o sedimento, através de sua composição química e biológica, é de fundamental importância no estudo da evolução histórica, armazenando alguns elementos conservativos definitivamente. O sedimento é importante também na avaliação da intensidade e da forma de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos.

A distribuição vertical do sedimento é um importante indicador da evolução da poluição em ambientes aquáticos. Para este tipo de análise a retirada de amostras de sedimento em perfil vertical (“core”) é de fundamental importância.

O grande desenvolvimento da agricultura na região do planalto da Bacia do Alto Paraguai (BAP) se deu no início da década de setenta, com a substituição do cerrado, de forma acelerada, pela monocultura de soja. A introdução dessa cultura, foi realizada de forma tão rápida, que a grande maioria dos produtores não teve preocupação com a conservação dos solos, a manutenção de reservas florestais e a proteção dos mananciais de água. O uso intensivo de máquinas agrícolas, de sementes certificadas, corretivos de solos, fertilizantes e de defensivos agrícolas, passou a gerar grande quantidade de poluentes para os rios da BAP.

Este estudo irá identificar pontos críticos na BAP em relação a concentração de metais em águas e em sedimentos, podendo futuramente subsidiar novos estudos em locais críticos de contaminação.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo Geral

Quantificar metais pesados na Bacia do Alto Paraguai – BAP.

1.2. Objetivos Específicos

Avaliar a qualidade da água, em relação a metais pesados, nos locais de coleta dos sedimentos.

Avaliar a qualidade do sedimento em relação a metais pesados, nas primeiras camadas superiores do perfil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escassez de informações sobre a qualidade das águas e dos sedimentos da Bacia do Alto Paraguai -BAP torna-se preocupante, à medida que suas principais alterações originam-se, em geral, de atividades antrópicas agressivas no planalto que o envolve: monoculturas intensivas, uso de agrotóxicos, aporte de sedimentos e mineração, resultando em efeitos danosos já conhecidos como contaminação, desmatamento e alterações morfológicas dos rios que formam a planície. Outro motivo preocupante é a implantação da Hidrovia Paraguai-Paraná pelos riscos ambientais potenciais que representam, como alterações na hidrodinâmica do sistema de transporte de cargas tóxicas.

2.1. Caracterização da Bacia do Alto Paraguai – (BAP)

A Bacia do Alto Paraguai – (BAP) é uma área que, em grande parte, ainda tem um comportamento natural. Essa bacia necessita ser preservada ou utilizada com o mínimo de alterações nas suas condições naturais por causa de sua fragilidade do equilíbrio ambiental.

As precipitações anuais máximas, em torno de 1800mm, ocorrem nas proximidades do divisor com a Bacia Amazônica. A redução ocorre no sentido leste-oeste e norte-sul, chegando a valores inferiores a 1.000mm no limite oeste. Esse mesmo comportamento pode ser observado nas vazões específicas da região do Planalto, entretanto, para o Pantanal, o processo é completamente diferente (PCBAP, 1997).

A precipitação se concentra nos meses de verão. O período mais úmido compreende os meses de dezembro a fevereiro, enquanto o mais seco ocorre de junho a agosto. A distribuição temporal da precipitação apresenta uma tendência de variar numa direção geral Norte-Sul.

Devido a sua caracterização morfológica ao longo de muitos anos, a declividade dos rios do Pantanal é muito pequena. O escoamento, ao deixar os Planaltos, encontra uma seção estreitada devido à deposição de sedimentos e uma baixa declividade. Portanto, o rio tem uma baixa capacidade de transporte de água, com isso o fluxo extravasa com grande freqüência para o leito maior. Este volume, que atinge o leito maior, encontra um número muito grande de depressões, que formam pequenos lagos (PCBAP, 1997).

Quando o nível abaixa, o volume retido não retorna ao leito menor para escoar a jusante, ficando retido no leito maior. Além disso, o rio, com o aumento de sedimentos proveniente de

montante, tende a aumentar de nível, deixando de ser a principal drenagem de uma bacia para ser quase um divisor ou um canal suspenso que recebe a vazão de um alimentador que são as bacias de montante (Planalto).

A Bacia do Rio Paraguai (figura 2.1) é uma das mais importantes da América do Sul, já que se estende através de quatro países – Brasil, Bolívia, Paraguai e Argentina – e representa uma das cabeceiras do Rio da Prata. Na Argentina, em Corrientes, o Rio Paraguai escoa para o Rio Paraná, o principal rio da Bacia do Prata (EDIPAB, 1979).

O Rio Paraguai está dividido em três seções (ANDERSON *et al.*, 1993):

- **Alto Paraguai,** escoando através do Brasil, Bolívia e Paraguai, das suas cabeceiras até a confluência com o Rio Apa, uma distância de 1873km;

- **Médio Paraguai,** escoando através do Paraguai e Argentina, da confluência com o Rio Apa até a confluência com o Rio Tebicuary, uma distância de 797km;

- **Baixo Paraguai,** atravessando o Paraguai e Argentina, da confluência com o Rio Tebicuary até a confluência com o Rio Paraná, a uma distância de 130km.

O Rio Paraguai nasce no Brasil e sua bacia faz limites com a Bacia Amazônica e apresenta montanhas de 500 a 1400m. A parte superior da Bacia é chamada de Alto Paraguai e é limitada pelo posto de Porto Esperança (PCBAP, 1997). Esta bacia possui uma extensão de, aproximadamente, 496.000km², sendo que 80% desta encontra-se dentro do território brasileiro e 20% no paraguaio e boliviano. Cerca de 207.249km² pertencem ao estado de Mato Grosso do Sul e 189.551km² ao estado do Mato Grosso (PCBAP, 1997).

A bacia do alto Paraguai é dividida em duas partes principais (figura 2.2):

- na parte superior, (acima da cota 200m) encontra-se a região denominada de *Planalto*, onde o comportamento dos processos naturais se assemelham às bacias hidrográficas tradicionais, com fluxo predominantemente no sentido horizontal e com tempo de resposta de horas ou de poucos dias na relação entre precipitação-vazão;

- na parte inferior (abaixo da cota 200m) encontra-se a Planície que é uma grande Terra Úmida (*wetland*) com um comportamento hidrológico diferenciado pelos grandes tempos de deslocamento do escoamento e pelas grandes áreas de inundação.

A Bacia do Alto Paraguai, no lado brasileiro, encontra-se dentro dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Na região, como um todo, existe crescimento de atividade agropastoril que pressiona o uso do solo rural e, em conseqüência, pode produzir impactos ambientais que podem comprometer o meio ambiente.

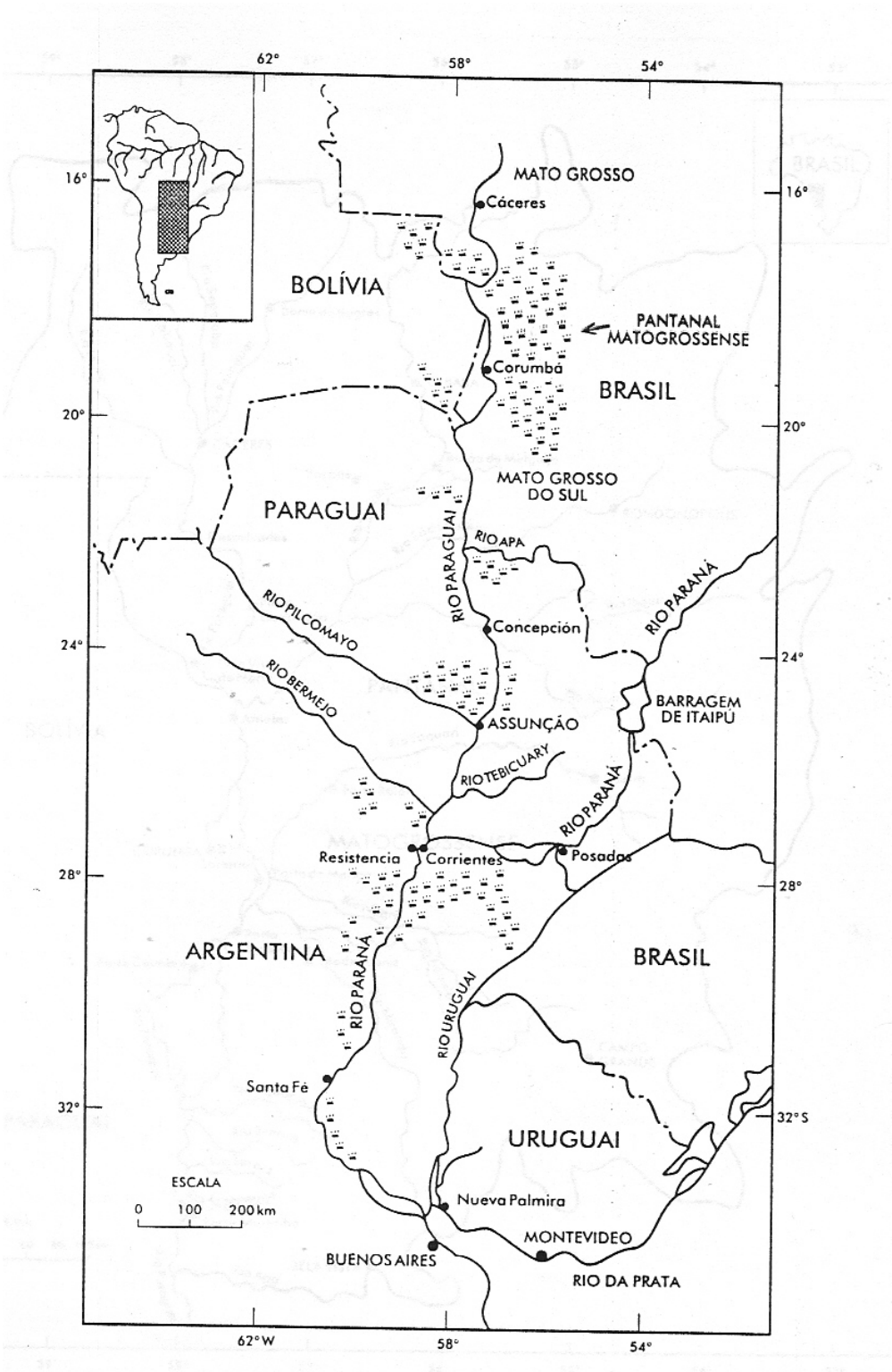


Figura 2.1. Localização geográfica da Bacia do Rio Paraguai.
Fonte: EDIBAP (1979)

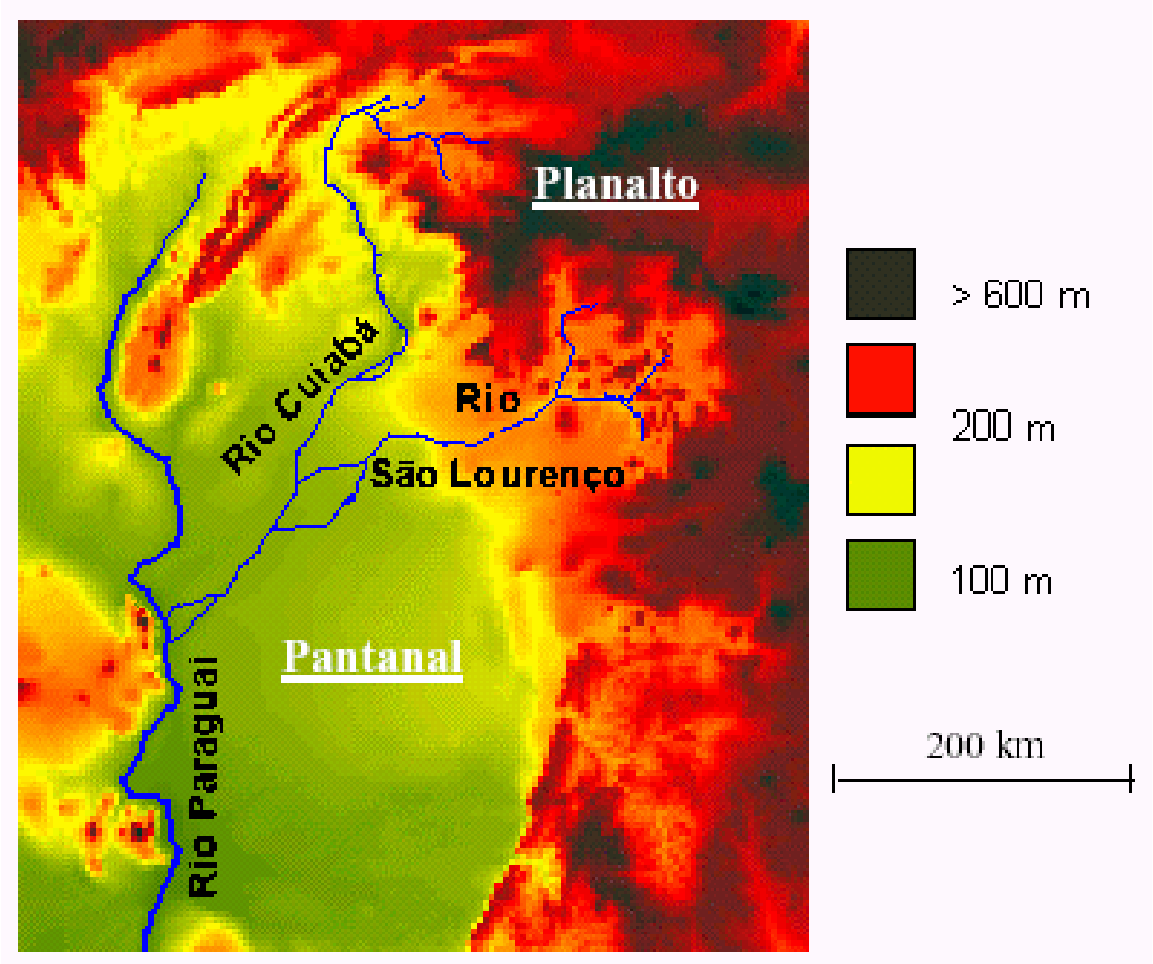


Figura 2.2. Caracterização do relevo do Planalto e Pantanal em parte da bacia.
Fonte: COLLISHONN e TUCCI (2002)

A declividade dos rios na parte superior (Planalto) da bacia e nos seus tributários é superior a 6cm/km. Os rios dessa região escoam para o Pantanal que tem baixa capacidade de escoamento e pequena declividade (1 a 3cm.km^{-1}), por isso inundando grandes áreas.

Os principais rios que nascem no Planalto e escoam no sentido do Pantanal são: o próprio Paraguai, nas suas cabeceiras, o Cuiabá, o São Lourenço, o Itiquira, o Taquari, o Negro, o Aquidauana e o Miranda (PCBAP, 1997).

As cabeceiras da bacia do Rio Paraguai estão localizadas na Serra de Tapirapuã, nas proximidades da Vila de Parecis, no estado de Mato Grosso (EDIPAB, 1979).

O Pantanal Mato-Grossense é uma depressão sazonalmente inundada, totalmente contida na bacia de drenagem do Alto Paraguai, compreendendo aproximadamente 136.700km² (RADAMBRASIL, 1982a, b). O Pantanal é um imenso reservatório natural, recebendo vazões

distribuídas oriundas do Alto Paraguai e seus afluentes, e as concentrando no escoadouro da bacia, a confluência com o Rio Apa.

Grande parte do Pantanal é inundada somente durante as cheias anuais do Alto Paraguai e seus tributários, e muita terra firme não-inundável está entremeada na região. A mistura de áreas permanentemente aquáticas, sazonalmente aquáticas e não-inundáveis, assim como a proximidade do Pantanal a grandes biomas sul americanos condiciona a exuberância e variedade da sua vegetação e clima (PRANCE e SCHALLER, 1982). Dessa maneira, os ecossistemas do Pantanal mantêm uma fauna rica e diversa, incluindo numerosas espécies de mamíferos, répteis, peixes, pássaros, borboletas e outros invertebrados (BROWN, 1986).

O regime de cheias do Alto Paraguai é o resultado de complexas interações climáticas nas várias escalas atmosféricas espaciais. O clima é determinado basicamente pela localização geográfica da bacia e secundariamente por seu relevo topográfico e características da superfície. A precipitação média anual varia de 1800mm na Chapada dos Parecis, na parte mais ao Norte da bacia, até 800 mm no cone aluvial do Rio Taquari, perto do centro da bacia (RADAMBRASIL, 1984).

2.2. Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos da BAP

A crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas trouxe como conseqüência o comprometimento das águas dos rios, lagos e reservatórios. A falta de recursos financeiros nos países em desenvolvimento tem agravado esse problema, pela impossibilidade da aplicação de medidas corretivas para reverter a situação.

2.2.1. Agroquímicos e Metais Pesados Existentes na BAP

- Agroquímicos

O desenvolvimento da agricultura em terras sem curvas de nível, sem conservação das matas ciliares, possibilita com maior facilidade o carreamento de agrotóxicos e de fertilizantes, a erosão e o assoreamento dos rios, desviando o leito dos rios, diminuindo a altura da lâmina d’água, criando depósitos e diminuindo a vida aquática.

A Lei Federal nº 7802, de 1989, define em seu artigo 2º, que se considera agrotóxicos e afins, os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas

pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos, considerados nocivos.

A Lei Federal nº 7802, retirou da definição os produtos destinados à defesa animal e inclui entre os agrotóxicos, aqueles destinados a alterar a flora e fauna, mesmo em ambientes urbanos. Ampliou a denominação de agrotóxico para qualquer veneno que vise matar baratas, por exemplo, em uma rede de esgoto. Até os venenos usados para controle de mosquitos em saúde pública, também são agrotóxicos.

- Metais Pesados

Como as várias formas de metais pesados geralmente exibem diferentes propriedades químicas, a medida das concentrações individuais é uma prova inestimável para o entendimento de suas importâncias geoquímicas e interações biogeoquímicas.

2.3. Características de Alguns dos Metais em Estudo

Alumínio

O alumínio, pertencente ao Grupo III-A, é nitidamente metálico, sendo o terceiro metal em abundância na crosta terrestre. A maior parte do alumínio ocorre nos aluminosilicatos tais como: argilas, micas e feldspatos. O mineral de alumínio mais abundante é a bauxita, que é óxido de alumínio hidratado, impuro ($Al_2O_3.H_2O$). Este é separado de suas impurezas, essencialmente óxido de ferro (III) e dióxido de silício, pelo processo Bayer, no qual o óxido de alumínio é inicialmente dissolvido em hidróxido de sódio concentrado a quente. O óxido férrico (um óxido básico) é insolúvel, mas o dióxido de silício (ácido) e o óxido de alumínio (anfótero) se dissolvem. O óxido de alumínio se dissolve formando o íon aluminato, pela seguinte reação (RUSSEL, 1994):

$$Al_2O_{3(s)} + 2\ OH^-_{(aq)} + 3\ H_2O \rightarrow 2Al(OH)_{3(aq)}$$

O alumínio é muito utilizado em indústrias automobilísticas e também nas estruturas das ligas que incorporam pequenas quantidades de cobre, silício e manganês, entre outros metais.

Cálcio

Os elementos do grupo II-A, do qual faz parte o cálcio, têm todos dois elétrons nos orbitais mais externos, exibem muita semelhanças entre si e uma variação gradual nas propriedades à medida que o tamanho do átomo aumenta. Os metais alcalino-terrosos têm brilho branco acinzentado quando são cortados recentemente, com exceção do berílio. O cálcio ocorre nos minerais gipsita ($CaSO_4$), apatita (CaF_2,$3Ca_3(PO_4)_2$), e em enormes quantidades na dolamita ($MgCO_3$), no giz, calcários e mármores, que são as diversas formas do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Os sais de cálcio ocorrem na maioria das águas naturais e são componentes essenciais tanto dos tecidos das plantas como dos animais, e das conchas e ossos (RUSSEL,1994).

Em seu uso, o cálcio é aproveitado principalmente na forma livre, por sua grande reatividade com oxigênio.

Cádmio

É um metal branco, brilhante, bastante maleável, ocorrendo amplamente na natureza como sulfeto, ou cádmio combinado, geralmente com uma impureza em minério de zinco-chumbo.

O cádmio é usado na natureza para ligar-se com cobre, chumbo, prata, alumínio e níquel. É também usado em galvanização, cerâmica, pigmentação, baterias, reagentes fotográficos e reatores nucleares. Sais de cádmio são muitas vezes empregados como inseticidas e antihelmínticos.

Ainda que cloreto, nitrato e sulfato de cádmio sejam altamente solúveis em água, o carbonato e o hidróxido são insolúveis, assim, para altos valores de pH haverá precipitação do cádmio. Os sais de cádmio podem ser encontrados em resíduos de plantas de galvanização, trabalhos com pigmentos, estampagem têxtil, minas de chumbo e indústrias químicas.

O consumo de sais de cádmio em casos de intoxicação inicial causa cãibras, náuseas, vômitos e diarréia.

O cádmio tende a se concentrar no fígado, rins, pâncreas e tireóide de pessoas e animais. Uma vez que entra no organismo, é provável que permaneça. Normalmente, muitas plantas e tecidos animais contém aproximadamente 1mg de cádmio por kg de tecido, mas não há evidências de que o cádmio seja essencial ou benéfico.

O consumo diário de cádmio pelo homem pode variar de 4 a 60μg, dependendo dos alimentos ingeridos. As maiores fontes parecem ser alimentos do mar e grãos.

O cádmio pode atuar como um fator etiológico para vários processos patológicos no ser humano, incluindo tumores nos testículos, disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, aumento da inibição, doenças crônicas de envelhecimento e câncer. Os fetos humanos demonstram que a placenta não é uma barreira completa contra a penetração do cádmio.

Podem ocorrer outros efeitos nocivos por sua presença acima dos padrões ambientais, tais como:

- paralisia respiratória e colapso cardíaco em casos de intoxicação aguda;
- osteomalecia (afinamento dos ossos);
- doença Itai-Itai (ocorrida no Japão, caracterizando-se por alteração no sistema renal-urinário com grande perda de cálcio);
- alterações fisiológicas nos organismos aquáticos semelhantes às observadas para o homem.

Nas águas não poluídas, a concentração de cádmio encontrada é normalmente menor que $0{,}001 mg.L^{-1}$.

O cádmio age sinergeticamente com outras substâncias aumentando sua toxicidade. Concentrações de cádmio de $0{,}03 mg.L^{-1}$ em combinação com $0{,}15 mg.L^{-1}$ de zinco causa a morte de salmão (EPA, 1972).

Chumbo

É um metal cinzento, dúctil e maleável, sendo encontrado na água sob a forma solúvel, suspenso e em baixas concentrações devido à solubilidade; é um metal tóxico, que tende a se acumular nos tecidos do homem e de outros animais.

O chumbo aparece na natureza principalmente como sulfeto de chumbo, carbonato de chumbo, sulfato de chumbo e clorofosfato de chumbo.

Sua toxicidade é afetada pelo pH, matéria orgânica, pela presença de outros metais, dureza e oxigênio dissolvido. A toxicidade do chumbo diminui com o aumento da dureza e aumenta com a diminuição do oxigênio dissolvido.

O chumbo tem baixa solubilidade, 0,5mg.L^{-1} em águas moles e apenas 0,003mg.L^{-1} em águas duras, embora permaneçam na água altas concentrações de chumbo em suspensão e coloidal (EPA, 1972).

A presença, acima dos padrões ambientais, pode causar efeitos nocivos tais como:

- anemia, disfunção neurológica, enfraquecimento renal, irritabilidade;
- paralisia dos nervos;
- pressão sanguínea elevada, edema de papila, convulsão e coma;
- nefrite saturnina;
- cancerígeno, mutagênico e teratogênico;
- intoxicações consideradas como não graves;
- problemas na descendência, desde a provocação de abortos, partos prematuros e crianças com problemas que incluem desde alterações no sistema nervoso até morte prematura.

A Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA) recomenda que, devido a pouca informação disponível sobre a sua remoção nos processos convencionais de tratamento da água, o chumbo não deve exceder a 0,05mg.L^{-1} nos mananciais de água para abastecimento público, e menor que 0,15mg.L^{-1} na água de consumo humano.

Segundo a EPA (1972), a concentração de 0,03mg.L^{-1} é o nível seguro para a *Daphnia*, e é recomendado como critério para proteção da vida aquática. É também um valor seguro para peixes, segundo estudos já desenvolvidos.

Cobalto

Os sais deste metal podem ser encontrados na forma bivalente ou trivalente. As soluções contendo íons cobaltosos (Co^{2+}) são relativamente estáveis, mas cobálticos (Co^{3+}) são poderosos agentes oxidantes e conseqüentemente, são instáveis em águas naturais.

Tem se verificado que o cobalto tem relativamente baixa toxicidade ao ser humano, e que traços de cobalto são essenciais para a nutrição. A máxima concentração segura de cobalto na água potável não pode ser estabelecida ou estimada com base nos conhecimentos atuais. A ingestão de 0,1 e 0,25mg ao dia parece não exercer efeito algum adverso, ao passo que simples doses diárias de 25mg, durante uma semana ou mais, afeta o conteúdo de hemoglobina do sangue (EPA, 1972).

A presença de cobalto acima dos padrões ambientais pode causar efeitos nocivos tais como:

- insuficiência cardíaca congênita;
- hiperplasia da medula;
- deficiência da tireóide (mixidema);
- mutagênico.

Cobre

Os sais de cobre ocorrem em águas superficiais naturais apenas em quantidades traços, aproximadamente $0,05 mg.L^{-1}$

A toxicidade é afetada por condições ambientais, tais como temperatura, dureza, turbidez e presença de CO_2. Elevadas concentrações de cobre podem produzir vômitos, perturbações no fígado, sabor desagradável na água e efeitos tóxicos para uma extensa variedade de formas aquáticas.

Concentrações de 0,015 a $3,0 mg.L^{-1}$ tem sido indicadas como tóxicas, em água doce, para muitas espécies de peixes, crustáceos, moluscos e plânctons em geral (EPA, 1972).

Cromo

O cromo é um elemento traço essencial à nutrição humana, mas raramente encontrado em águas naturais.

A toxicidade do cromo, em relação à vida aquática, varia largamente com a espécie, temperatura, pH, valência, OD e efeitos sinérgicos e antagônicos. De maneira geral, o estado de oxidação depende da forma como o cromo é lançado e das condições ambientais do corpo receptor, mas, em condições normais de pH e OD, há predomínio da forma hexavalente, mais tóxica para os peixes.

Os efeitos que uma intoxicação por cromo pode causar são corrosão das mucosas, problemas respiratórios e modificações hematológicas.

Os organismos aquáticos apresentam grande variação em relação à sensibilidade ao cromo de 0,03 a 118mg.L^{-1}. Considerando o cromo hexavalente, uma concentração de 0,05mg.L^{-1} causa a morte de *Daphnia magna* em 6 dias (EPA, 1972).

Ferro

É um elemento metálico que ocorre em águas naturais, oriundo da dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos. Nestes tipos de solos, a matéria orgânica se decompõe consumindo oxigênio e produzindo gás carbônico, o qual solubiliza compostos de ferro.

Embora muitos dos sais férricos e ferrosos sejam altamente solúveis em água, os íons ferrosos, em águas superficiais, são oxidados a condições férricas e formam hidróxidos insolúveis. Estes precipitados apresentam-se na forma de gel ou flocos, podendo, quando suspensos na água, exercer efeitos nocivos sobre peixes e outras vidas aquáticas. Podem, também sedimentar, cobrindo o fundo dos rios e destruindo os invertebrados de fundo, plantas e ovos de peixes em incubação. Com o tempo, este material pode ligar-se, adquirindo características semelhantes ao cimento e tornando o local não apropriado para a desova de peixes.

O ferro é um elemento traço essencial às plantas e animais. Em algumas águas, é um fator limitante do crescimento de algas e outras plantas. É um mecanismo vital de transporte de oxigênio no sangue, para todos os animais vertebrados e alguns invertebrados.

O ferro é um constituinte indesejável em suprimentos de água potável, pois afeta as propriedades organolépticas e causa manchas nas roupas, sendo os limites permissíveis baseados não em considerações fisiológicas, mas de estética e sabor. As águas ferruginosas permitem o desenvolvimento das chamadas ferro-bactérias, as quais, desde o início do seu desenvolvimento, até a morte, transmitem à água odores fétidos e cores avermelhadas, verde-escuro ou negra.

Os processos convencionais de tratamento de água não removem ferro solúvel.

Manganês

O manganês, como cátion metálico, é semelhante ao ferro em seu comportamento químico e é freqüentemente encontrado em associação com o ferro. Este elemento existe sob a forma Mn^{+2} e é oxidado passando a forma Mn^{+4}.

O manganês está normalmente presente em superfícies de águas naturais em quantidades bastante pequenas: $0{,}2 mg.L^{-1}$ ou menos. Níveis mais altos devem ocorrer em águas subterrâneas, lagos profundos e reservatórios.

É um elemento essencial para nutrição, tanto de animais, como de seres humanos, tanto sua falta quanto seu excesso, produzem efeitos colaterais. O envenenamento por manganês produz efeitos semelhantes ao da doença de Parkinson, distúrbios psicológicos e falta de coordenação motora.

Concentrações de manganês acima de $0{,}2 mg.L^{-1}$, tornam a água desagradável para beber. As águas de irrigação para uso em solos ácidos, não devem exceder a $0{,}2 mg.L^{-1}$ de manganês, enquanto que águas contendo $10 mg.L^{-1}$ devem ser usadas em solos neutros ou alcalinos. As concentrações de $40 mg.L^{-1}$ são letais para certos peixes. As concentrações acima de $0{,}005 mg.L^{-1}$ causaram efeitos tóxicos em algumas algas. Para a proteção da vida aquática, foi recomendado o valor de $0{,}05 mg.L^{-1}$ (EPA, 1972).

Níquel

O níquel, na forma elementar, raramente ocorre na natureza, porém são encontrados compostos de níquel em muitos minerais.

Embora, como metal puro, o níquel seja insolúvel na água, seus sais são altamente solúveis, podendo estar presentes na água devido a despejos industriais.

Os sais de níquel são tóxicos para as plantas em geral. Para a vida aquática, os níveis de toxicidade são variáveis e determinados pelo pH e efeitos sinérgicos de outros metais.

Prata

Prata é um dos elementos raros com uma baixa solubilidade de 0,1 a 10mg.L^{-1} dependendo do pH e da concentração de cloreto.

O principal efeito da prata no corpo é cosmético. Causa uma permanente descoloração cinzenta na pele, olhos e membranas mucosas. A quantidade de prata coloidal requerida para produzir esta condição (*argyria*, *argyrosis*) é qualquer quantidade maior que um grama em adultos. É reportado também que a prata, uma vez absorvida, é presa imediatamente ao tecido (EPA, 1972).

Um estudo comparativo baseado nos estudos sobre ovos de *Echinoderm* (Soyer, 1963 *apud* EPA, 1972), a prata foi considerada 80 vezes mais tóxico do que o zinco, 20 vezes mais tóxico que o cobre, e 10 vezes mais tóxico que o mercúrio (EPA, 1972).

Concentração de prata para águas doces, nas classes 1 e 2, é de 0,01mg.L^{-1} e para a classe 3 é de 0,05mg.L^{-1} (BRASIL, 1986).

Uma grande parte deste metal é obtido de sub-produtos de metalurgia de outros metais, particularmente chumbo e cobre. Além disso, é um metal precioso, sendo freqüentemente recuperado dos processos industriais (PAGENKOPF, 1978)

Zinco

O zinco é um microelemento necessário ao desenvolvimento e crescimento de plantas e animais, ocorrendo em todas as águas naturais que suportem vida aquática. É, porém, em relação aos peixes e organismos aquáticos que este metal exibe sua maior toxicidade,

provocando mudanças adversas em sua morfologia e fisiologia, obstrução das guelras, crescimento e maturação retardados e morte.

A toxicidade do zinco está relacionada com as reações de troca iônica existentes no meio hídrico. É inversamente proporcional à dureza e OD, e diretamente proporcional à temperatura. Um exemplo, citado pela EPA (1972), é a variação da LC_{50} - 96 h. para *Pimephales promelas*, de 0,87 a 33,0mg.L^{-1}, dependendo da dureza da água.

2.4. Metais em Águas

A presença de metais no ambiente aquático em concentrações elevadas causa a mortalidade de peixes e comunidades bentônica, perifítica, planctônica, nectônica e seres fotossintetizantes.

As quantidades elevadas de matéria orgânica não degradada (de origem autóctone) geradas na bacia de drenagem, juntamente com os metais pesados, dentre muitos outros agentes de caráter perturbativo ao equilíbrio natural, causam uma intensa alteração na vida aquática. A ação química dos metais pesados tem despertado grande interesse ambiental. Isto se deve, em parte, ao fato de não possuírem caráter de biodegradabilidade, o que determina que permaneçam em ciclos biogeoquímicos globais nos quais as águas naturais são seus principais meios de condução, podendo-se acumular na biota aquática em níveis significativamente elevados. Segundo Thorton (1990), *apud* Leite (1998), os sedimentos depositados nos corpos d’água não é somente o maior poluente da água por peso e volume, mas também o grande transportador de pesticidas, resíduos orgânicos, nutrientes e organismos patogênicos, que quando em excesso provocam alterações nos ecossistemas aquáticos, reduzindo a qualidade da água.

Em ambientes onde a coluna d'água possui pouca profundidade, a taxa de intercâmbio de espécies solúveis pode até dobrar pela ação dos ventos, que provocam a ressuspensão dos sedimentos. Os metais, em depósitos de sedimentos recentes, geralmente são divididos em duas categorias de acordo com a sua origem predominante: litogênico e antropológico, ou seja, referida simplesmente como geoquímica e os oriundos de atividades humanas, respectivamente.

Estudos realizados por Bonotto & Silveira (2003) em amostras de água, sólidos em suspensão e em sedimentos de fundo no Rio Madeira, estado de Rondônia, foram analisadas em termos de parâmetros físicos e químicos, com o propósito de investigar a atual mobilização de

mercúrio no ambiente aquático, bem como de compará-la com a de outros metais pesados e elementos na área. O transporte de mercúrio, preferencialmente aos outros elementos analisados no material particulado, pode ocorrer se suas concentrações atingirem valores 10^4 vezes maiores que aqueles esperados ou quantificados na área investigada.

2.5. A Qualidade das Águas

A água é o elemento fundamental da vida. Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas, onde se destacam, entre outros, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática.

As disponibilidades de água doce na natureza são limitadas pelo alto custo da sua obtenção nas formas menos convencionais, como é o caso da água do mar e das águas subterrâneas. Deve ser, portanto, da maior prioridade a preservação, o controle e a utilização racional das águas doces superficiais.

A boa gestão da água deve ser objeto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação de nossos mananciais.

São áreas potenciais de poluição:

- áreas com intensa atividade de exploração dos recursos naturais, como garimpos e minerações;
- desmatamentos em áreas com alto potencial erosivo e em áreas de preservação permanente;
- queimadas e trechos de rios com sedimentos contaminados e comprometidos em termos de qualidade de água por agrotóxicos;
- centros urbanos;
- áreas de inundação (abaixo de 200m);
- áreas com alto potencial erosivo;

- áreas de recarga de aqüíferos, e pesca ilegal.

A poluição das águas é gerada por:

- efluentes domésticos (poluentes orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias);
- efluentes industriais (poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial);
- carga difusa urbana e agrícola (poluentes advindos da drenagem destas áreas: fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais e material em suspensão).

2.5.1. Padrões e Parâmetros de Qualidade

Para realizar o controle da poluição das águas dos rios, utilizam-se os padrões de qualidade, que definem os limites de concentração a que cada substância presente na água deve obedecer.

A tabela 2.1 apresenta alguns parâmetros físico-químicos e bacteriológicos necessários para avaliar a qualidade de águas doces, salinas e salobras em todo o território nacional.

Tabela 2.1. Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Alumínio	Ferro Total	Oxigênio Dissolvido (OD)
Bário	Fósforo Total	pH
Cádmio	Manganês	Resíduo Não Filtrável
Chumbo	Mercúrio	Resíduo Total
Cloreto	Níquel	Turbidez
Cobre	Nitrogênio Amoniacal	Zinco
Coliformes Fecais	Nitrogênio Kjeldahl Total	
Cor	Nitrogênio Nitrato	
Condutividade Específica	Nitrogênio Nitrito	
Cromo Total		

Em 1986, a Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabeleceu classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do Território Nacional, sendo definidas nove classes, segundo os usos preponderantes a que as águas se destinam. As águas doces, em particular, são distribuídas em cinco classes:

I - CLASSE ESPECIAL - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - CLASSE 1 - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;

e) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

III - CLASSE 2 - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);

d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;

e) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

VI - CLASSE 3 - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à dessedentação de animais.

V - CLASSE 4 - águas destinadas:

a) à navegação;

b) à harmonia paisagística;

c) aos usos menos exigentes.

Na tabela 2.2 estão apresentados os padrões de qualidade para os metais monitorados na BAP, segundo a Resolução CONAMA 20/86.

Tabela 2.2. Padrões de qualidade físico-químicos (valores em mg.L^{-1}).

PARÂMETRO	CLASSES				
	Especial	1	2	3	4
Alumínio	-	0,1	0,1	0,1	-
Cádmio	-	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo	-	0,03	0,03	0,05	-
Cobalto	-	0,2	0,2	0,2	-
Cobre	-	0,02	0,02	0,5	-
Manganês	-	0,1	0,1	0,5	-
Níquel	-	0,025	0,025	0,025	-
Zinco	-	0,18	0,18	5	-

2.6. O Sedimento

Segundo ESTEVES (1998), o sedimento é o compartimento do sistema aquático onde se depositam todos os compostos minerais, estruturas de animais e vegetais que não foram totalmente decompostos. Desta maneira, ao longo da evolução de um sistema aquático formam-se camadas no sedimento, contendo compostos químicos e estruturas biológicas que representam as diferentes fases deste processo. Além destes, os agrotóxicos e os metais pesados também se depositam nos sedimentos, podendo ser utilizados como indicadores da contaminação ambiental. A sua distribuição na vertical é um importante indicador da evolução da poluição em ambientes aquáticos.

Segundo CARVALHO (1994), sedimento é a partícula derivada da rocha, ou materiais biológicos, que pode ser transportada por fluído; é a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processos físicos e/ou químicos, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito.

Os sedimentos consistem de material particulado, trazidos ao corpo d’água pelo fluxo da drenagem da bacia, diretamente pela chuva ou por deposição seca.

A maioria dos ecossistemas sedimentares se distingue por duas camadas: a recente ou biológica e a permanente (ESTEVES, 1998). A camada recente de sedimento, geralmente com maior concentração de matéria orgânica é a que está em contato direto com a coluna d'água, corresponde à parte do sedimento biologicamente mais ativa. Possui, pelo alto teor de matéria orgânica, maior densidade de organismos bentônicos e grande atividade microbiana. O sedimento atua como portador de outros poluentes.

Os sedimentos de fundo desempenham o papel mais importante no esquema de poluição de sistemas de rios por metais pesados. Eles refletem a quantidade corrente do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais. Mais do que isso, os sedimentos agem como carregadores e possíveis fontes de poluição, pois os metais pesados não são permanentemente fixados por eles e podem ser redispostos na água, em decorrência de mudança nas condições ambientais tais como: pH; potencial redox ou presença de quelantes orgânicos. As propriedades de acúmulo e de redisposição de espécies nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram, em caráter mais permanente, os efeitos de contaminação (FÖRSTNER *et al.*,1983; MOZETO, 1996).

2.6.1. Classificação do Sedimento

Uma das proposições mais aceita para a classificação dos sedimentos, foi proposta por Naumann (1930) *apud* Esteves (1998), sendo que, o sedimento pode ser de dois tipos: orgânico e mineral.

O sedimento orgânico é aquele com elevado teor de matéria orgânica. Segundo Ungemach (1960) *apud* Esteves (1998), para o sedimento ser considerado orgânico deve apresentar concentração de matéria orgânica superior a 10% em peso seco. Dentre o sedimento orgânico podem ser distinguidos dois tipos: "gyttja" e "dy".

O termo "gyttja" é utilizado para caracterizar o sedimento orgânico cuja origem da matéria orgânica é principalmente autóctone, formado no próprio ambiente aquático.

Segundo Wetzel (1981), o sedimento "gyttja", em estado fresco, é pastoso e hidratado, de cor entre cinza esverdeado escuro a preto, porém nunca marrom. Em estados secos alguns "gyttja" são duros e pretos, no entanto outros são mais friáveis e de cor mais clara,

dependendo do material que os formaram. O conteúdo de carbono orgânico é menos de 50% e a relação C:N menor que 10.

O termo “dy”, utilizado para caracterizar o sedimento orgânico cuja matéria orgânica é de origem alóctone, principalmente de vegetais superiores terrestres. Segundo Wetzel (1981), o sedimento “dy” fresco é mole, hidratado é de cor marrom. O “dy” seco é muito duro e de cor marrom escuro. O carbono orgânico é maior que 50% e a relação C:N maior que 10.

O sedimento mineral é caracterizado pelo baixo teor de matéria orgânica (menos de 10% em peso) e ocorre principalmente em ambiente aquáticos oligotróficos de regiões temperadas. Na sua constituição pode predominar sílica, argila e compostos de cálcio, ferro e manganês, entre outros (ESTEVES, 1998).

2.6.2. O Sedimento como Indicador do Nível de Poluição do Ecossistema

A capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos, como inseticidas e herbicidas, ou inorgânicos como os metais pesados.

Além da concentração de elementos-traço (metais pesados) no sedimento, sua distribuição vertical é um importante indicador da evolução da poluição em ambientes aquáticos. Para este tipo de análise, a retirada de amostras de sedimento em perfis verticais (“core”) é de fundamental importância (ESTEVES, 1998). Este procedimento permite obter amostras não perturbadas, possibilitando assim identificar as diferentes camadas do material sedimentado.

A análise dos sedimentos tem sido usada há muito tempo como indicador da poluição por metais pesados devido à sua habilidade de integrar as descargas liberadas no sistema (LACERDA, 1982; FISZMAN *et al.*, 1984; LACERDA *et al.*, 1993; BUBB & LESTER, 1994 *apud* EMBRAPA, 1998). A deposição dos metais pesados nos sedimentos dos rios deveria ser observada cuidadosamente num programa de monitoramento, de forma a avaliar sua dispersão, disponibilidade e absorção pela biota (MALM *et al.*, 1989).

A tabela 2.3 apresenta a concentração de alguns elementos-traço na água e no sedimento do Rio Elbe (Alemanha). Neste rio, a concentração dos elementos traço no sedimento é significantemente superior à da água.

Como as várias formas de elementos traços (metais pesados) geralmente exibem diferentes propriedades químicas, as concentrações individuais é uma prova inestimável para o entendimento de suas importâncias geoquímicas e interações biogeoquímicas.

Tabela 2.3. Concentração de alguns elementos traço na água e no sedimento do Rio Elbe (Alemanha).

Elemento traço	Água ($\mu g.L^{-1}$)	Sedimento ($mg.kg^{-1}$)
Cd	1	30
Pb	5	570
Cu	15	600
Cr	10	500
Zn	150	1200

Fonte: FORSTNER & MÜLLER (1974) *apud* ESTEVES (1998)

A determinação das concentrações de elementos-traço (metais pesados) associados com um dado sedimento é raramente possível devido a complexidade do sistema e as baixas concentrações destes elementos. Keller & Védy (1994) *apud* EMBRAPA (1998) desenvolveram métodos analíticos envolvendo passos simples e múltiplos de extrações, para separar metais pesados presentes nos sedimentos.

No Brasil, especialmente na região da Amazônia, a utilização de mercúrio na amalgamação do ouro tem causado sérios problemas de natureza ambiental. No caso do Rio Madeira, estudos realizados por Lacerda *et al*. (1987) *apud* Esteves (1998) indicam que o mercúrio liberado para a água do rio deposita-se no sedimento onde permanece praticamente inalterado.

O sedimento funciona como um sumidouro de metais pesados e princípios ativos dos agrotóxicos, que poderão ser disponibilizados, caso haja alterações das condições de contorno. Organismos bentônicos e macrófitas, podem sofrer a ação dos materiais retidos nos sedimentos. Os organismos bentônicos podem, através de sua atividade no sedimento, disponibilizar, para a coluna de água, os poluentes retidos. Estes organismos podem ser consumidos por outros organismos aquáticos e entrar na cadeia alimentar.

2.7. Metais Pesados em Sedimentos

Nos ambientes aquáticos, os sedimentos constituem uma fase mineralógica com partículas de tamanhos, formas e composição química distintas. Esses materiais, em sua maioria, são depositados nos rios, nos lagos ou no fundo dos oceanos ao longo dos anos. Processos

biogeoquímicos, tais como reações de precipitação e transformações biológicas, controlam o acúmulo e a redistribuição de espécies como fitoplâncton, algas e peixes na biota aquática, caracterizando o sedimento como uma parte integrante do sistema natural (HUTCHINSON *et al.*, 1943 *apud* SILVA, 2002).

Os mecanismos naturais de formação dos sedimentos vêm sendo intensamente alterados pela ação do homem. Os sedimentos de fundo desempenham o papel mais importante no esquema de poluição de sistemas de rios por metais pesados. Eles refletem a quantidade corrente do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis, após o seu lançamento em águas superficiais. As propriedades de acúmulo e de redisposição de espécies nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação (FÖRSTENER *et al.*, 1983; MOZETO, 1996 *apud* SILVA, 2002).

Pesquisas realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, por Perin *et al.* (1997), avaliaram a biodisponibilidade dos metais Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn e Fe em sedimentos. Através de correlação múltipla mostrou limitada responsabilidade de óxidos de Mn e de Fe e ácidos húmicos no processo de adsorção, que permitiu discriminação entre diferentes processos e sugeriu que a forte influência de sulfetos presentes no ambiente de fundo da baía é altamente reduzido. Os autores sugerem a necessidade de evitar revolver dos sedimentos de fundo pela dragagem ou por aeração artificial de fundo que pode resultar em uma piora rápida no ambiente, devido a formação acelerada de mais compostos metálicos oxigenados solúveis, tornando os metais tóxicos muito mais disponíveis para a fauna bentônica e para a biota da baía em geral.

A distribuição de metais pesados em sedimentos e a avaliação de riscos ecológicos na enseada de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro foram estudados por Fernandes (1997), no ambiente fluvial e na enseada. Cobre foi associado principalmente com a fase oxidável enquanto Zn e Pb foram associados a fase reduza em ambos os ambientes. Foi demonstrado que sulfetos metálicos são muito importantes no aspecto em termos de redução de toxicidade e que na enseada está exposto a baixo potencial de risco ecológico e que zinco foi o metal de maior interesse com respeito a poluição do sistema.

Seis amostras de sedimento superficial e sete amostras “core” coletadas na areia de Jurujuba, na entrada da Baía de Guanabara foram coletadas por Baptista Neto *et al.* (2000), a fim de

avaliar as concentrações de metais, incluindo Pb, Zn, Cu e Cr. Encontraram-se níveis consistentes com aqueles tipicamente encontrados em ambientes de estuários urbanizados e industrializados. As altas concentrações de chumbo, zinco e cobro foram atribuídos as descargas descontroladas de esgotos não tratados e de escoamento de água superficial.

Metais como zircônio, rubídio e estrôncio são derivados de material de rochas de processos temporais naturais, constituindo o primeiro grupo. O segundo grupo é formado por metais que aparecem principalmente como resultado das atividades antropogênicas, incluindo, entre outros, o cromo, cobalto, níquel, cobre, zinco, cádmio, mercúrio e chumbo, por isso foram avaliados neste subprojeto.

Os metais são essenciais aos organismos em pequenas quantidades, mas, quando em excesso, desencadeiam diversos problemas (MANAHAM, 1992). Uma vez que atingem o corpo d’água, esses metais depositam-se nos sedimentos e sofrem processos complexos de adsorção, que ainda são desconhecidos, especialmente em ambientes tropicais (EYSINK, 1995).

Metais são considerados nutrientes indispensáveis às plantas e seres vivos, desde que em baixas concentrações. Vários íons metálicos são essenciais ao bom funcionamento dos organismos vivos, e outros como sódio, cálcio, potássio, manganês, ferro, cobalto, molibdênio, cobre e zinco têm importância fundamental para o homem.

Estudos relativos à toxicidade dos metais pesados indicam que, em baixas concentrações, podem ocorrer situações que levam à deficiência nutricional. Porém, a suplementação adequada resulta em ótimas condições para o organismo, ao passo que o excesso resulta em efeitos tóxicos ou, até mesmo letais (MARTIN & SIGEL, 1980 *apud* SILVA, 2002). Assim, alguns metais e seus compostos são considerados essenciais para os organismos vivos, outros são inertes (uma vez que não se acumulam no corpo) e, ainda, há os que são considerados tóxicos (CASARETT *et al*., 1995).

Em ambientes onde a coluna d'água possui pouca profundidade, a taxa de intercâmbio de espécies solúveis pode até dobrar pela ação dos ventos, que provocam a ressuspensão de sedimentos.

A primeira diretriz para qualidade de sedimentos foi desenvolvida pela Administração Federal de Qualidade de Água dos Estados Unidos da América e adotada pela EPA, em 1973. Esta diretriz incluiu sete parâmetros, e se alguns dos valores numéricos fosse excedido, o

sedimento estava classificado como poluído e teria que ser tratado como tal. Mais tarde, foi desenvolvido uma diretriz para avaliar os sedimentos da enseada dos Grandes Lagos (EUA), baseados na concentração total dos contaminantes no sedimento. Essa diretriz, desenvolvida para orientar a disposição do material dragado, em 1995, era considerada como provisória até que guias mais cientificamente elaboradas fossem desenvolvidas (FITCHKO, 1989 *apud* MUDROCH & AZCUE, 1995).

Baseado nas concentrações, os sedimentos são classificados como não poluídos, moderadamente poluídos e muito poluído.

A tabela 2.4 apresenta uma diretriz para classificação dos sedimentos na enseada dos Grandes Lagos (EUA).

Tabela 2.4. Diretriz para classificação de poluição para sedimentos das enseadas dos Grandes Lagos (concentração em mg.kg^{-1}).

Elemento	**Não poluídos (menor do que)**	**Moderadamente poluído**	**Muito poluído (maior do que)**
Arsênio	3	3-8	8
Bário	20	20-60	60
Cádmio			6
Cromo	25	25-75	75
Cobre	25	25-50	50
Ferro	17000	17000-25000	25000
Chumbo	40	40-60	60
Manganês	300	300-500	500
Mercúrio	1		1
Níquel	20	20-50	50
Zinco	90	90-200	200

Fonte: Adaptado da EPA (1977) *apud* Mudroch & Azcue (1995)

Atualmente, vários departamentos ambientais têm desenvolvido produtos químicos adicionais, para critério de qualidade em sedimentos baseados em concentrações. O Ministério de Energia e Ambiente de Ontário (Canadá), desenvolveu uma diretriz para sedimentos visando a proteção e preservação da qualidade do sedimento aquático em Ontário, definindo três níveis de efeitos de ecotoxicidade, nos efeitos crônicos e exposição dos contaminantes sobre os organismos bentônicos. Esses níveis são:

- nível de nenhum efeito: nenhum efeito tóxico tem sido observado sobre os organismos aquáticos;

- níveis de efeitos menores: nível de contaminação do sedimento que pode ser tolerado pela maioria dos organismos bentônicos;

- níveis com efeitos severos: nível no qual um pronunciado distúrbio da comunidade residente no sedimento pode ser esperada.

A tabela 2.5 apresenta as concentrações de metais em sedimentos visando a proteção e gestão da qualidade do sedimento em Ontário.

Tabela 2.5. Concentrações de metais em sedimentos em Ontário (concentração em $mg.kg^{-1}$ em peso seco).

Elemento	Nível com nenhum efeito	Nível com efeito menores	Nível com efeitos severos
Arsênio	-	6	33
Cádmio	-	0,6	10
Cromo	-	26	110
Cobre	-	16	110
Ferro (%)	-	2	4
Chumbo	-	31	250
Manganês	-	460	1100
Mercúrio	-	0,2	2
Níquel	-	16	75
Zinco	-	120	820

Fonte: Mudroch & Azcue (1995)

Muitas incertezas permanecem a respeito da contaminação de ambiente aquáticos, para diferenciar um sedimento contaminado ou não, e a base legal para regulamentar a qualidade do sedimento aquático. Marcus (1991) recomendou que num futuro próximo a melhor regulamentação será flexível, permitindo diferentes técnicas de avaliação, a análise de vários mecanismos regulatórios, e a comparação de diferentes técnicas de remoção de poluentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para evitar que os custos da caracterização da água e dos sedimentos ultrapassassem os benefícios que dela advém, e de acordo com os objetivos do trabalho, planejou-se cuidadosamente todas as etapas, definindo os locais de amostragem, indicando número, freqüência e duração da amostragem; determinando as técnicas de coleta e preservação de amostras e escolhendo os métodos analíticos mais adequados.

3.1. Amostragem

A amostragem é a série de operações que permite extrair de um sistema porções que, combinadas e reduzidas a tamanho apropriado, dão uma parcela com características representativas do sistema (CHITOLINA, 1982 *apud* SILVA 1999).

Na escolha do local adequado de coleta é importante considerar que a qualidade de um corpo de água varia conforme o lugar e o decorrer do tempo. Estabelecer o plano de coleta de amostras é apenas uma das etapas necessárias à caracterização de águas e de sedimentos, mas delas dependem todas as etapas subseqüentes: análises laboratoriais, interpretação de dados, elaboração de relatórios e tomadas de decisões quanto a qualidade da água e dos sedimentos (AGUDO, 1987).

A caracterização das águas e dos sedimentos é uma tarefa complexa, envolvendo grande número de variáveis, o que pode conduzir a elaboração de programas com extensão e recursos super dimensionados, resultando em uma relação custo/benefício inadequada**.**

As bases das coletas deram-se tomando como referência o Standard Methods, 19th ed. e o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (AGUDO, 1987).

A escolha do método de amostragem foi baseada na disponibilização de equipamentos capazes de extrair amostras representativas na seção transversal do curso d’água, e no depósito que represente com fidelidade o perfil do sedimento. Foi realizada uma campanha de amostragem nos pontos de coletas.

Antes da coleta, os pontos de coleta foram visitados para inspeção visual e definição do melhor local para a coleta das amostras. As coletas e medições foram realizadas nos seguintes meses: outubro de 2002, para a primeira campanha; novembro e dezembro de 2002, para a segunda campanha; janeiro de 2003, para a terceira campanha.

3.1.1. Amostras de Água Bruta

Devido a grande extensão a ser estudada e, sabendo-se que seriam coletadas amostras somente em um transcepto de cada ponto, foram coletas, em cada ponto, duas amostras de água bruta, sendo uma composta e outra pontual.

As amostras compostas foram coletadas utilizando-se de um amostrador de saca, que pode ser observado na figura 3.1, e as amostras pontuais foram coletadas utilizando-se de um amostrador alfa horizontal, que pode ser observado na figura 3.2.

Figura 3.1. Amostrador de saca para rios profundos.

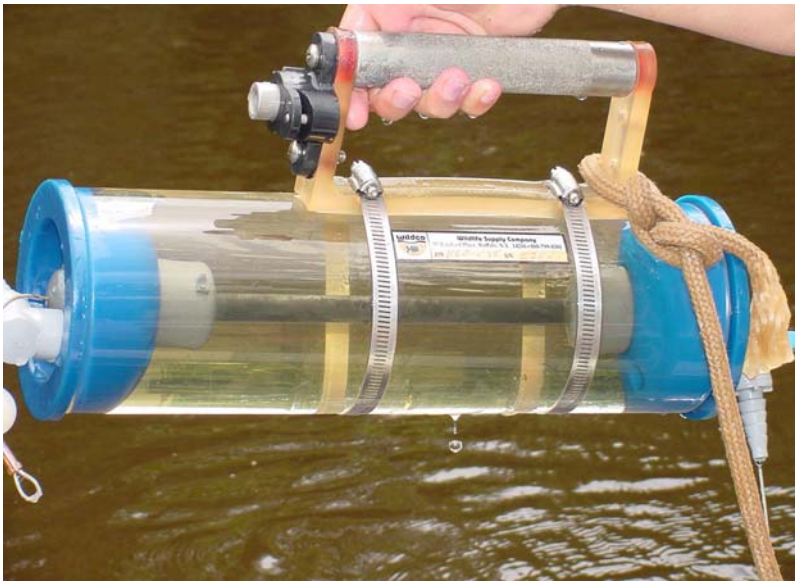


Figura 3.2. Amostrador alfa horizontal.

3.1.2. Amostras de Sedimentos

Os sedimentos constituem um fator muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e por sua maior permanência no corpo d'água, sendo em geral, integradores das cargas poluentes, recebidas pelas águas (AGUDO, 1987).

As amostras de sedimento foram coletadas, através de um amostrador de núcleo ("Core Sampler"), que pode ser observado na figura 3.3.

O equipamento é composto por um conjunto de pesos, destacáveis, um suporte para um tubo de policarbonato e outros acessórios, conforme indicado na figura 3.4.

Conforme o aparelho é cravado no leito do rio, a amostra é coletada no tubo de policarbonato. A extremidade do tubo de policarbonato é de borda cortante, servindo para entrar no sedimento. Um retentor, tem como função deixar entrar a amostra e impedir a sua saída. O tubo de policarbonato é retirado, a amostra é extraída, fatiada e congelada. Os resultados das análises,das fatias analisadas, de cada amostra estão apresentadas no quadro A2 em anexo.

Figura 3.3. Amostrador "Core".

Figura 3.4. Amostrador "Core" e acessórios.

As figuras A1, A2 e A3, em anexo, ilustram o procedimento de coleta.

3.2. Pontos de Amostragem

Os pontos de coleta indicados na figura 3.5, foram escolhidos através de rigorosos estudos, onde um dos itens levado em consideração foi, o fim do Planalto e o começo da Planície Pantaneira. Estes pontos recebem, assim, toda a carga poluente, vinda do arraste, pelos corpos receptores, do planalto. Sendo uma superfície mais plana, considerou-se que os poluentes estariam mais concentrados naqueles pontos.

As amostragens foram realizadas nos pontos mencionados dos rios, que recebem as cargas tóxicas, de todos os contribuintes, na grande maioria, das áreas agricultáveis, águas provenientes de infiltrações, por lençol freático, de drenagem pluvial, do lançamento de esgoto doméstico e efluentes industriais, do excedente das chuvas ou de irrigação. A água e os sedimentos, foram os alvos desta procura.

A tabela 3.1 descreve os pontos de amostragem das campanhas de coleta. Estes pontos estão ilustrados na figura 3.5.

3.3. Coletas Realizadas

As incursões para coleta das amostras foram divididas em três campanhas, sendo duas por terra e uma por rio. A campanha por rio foi percorrida por barco, com todos os acessórios embarcados. As campanhas por terra foram percorridas por locomoção automotiva

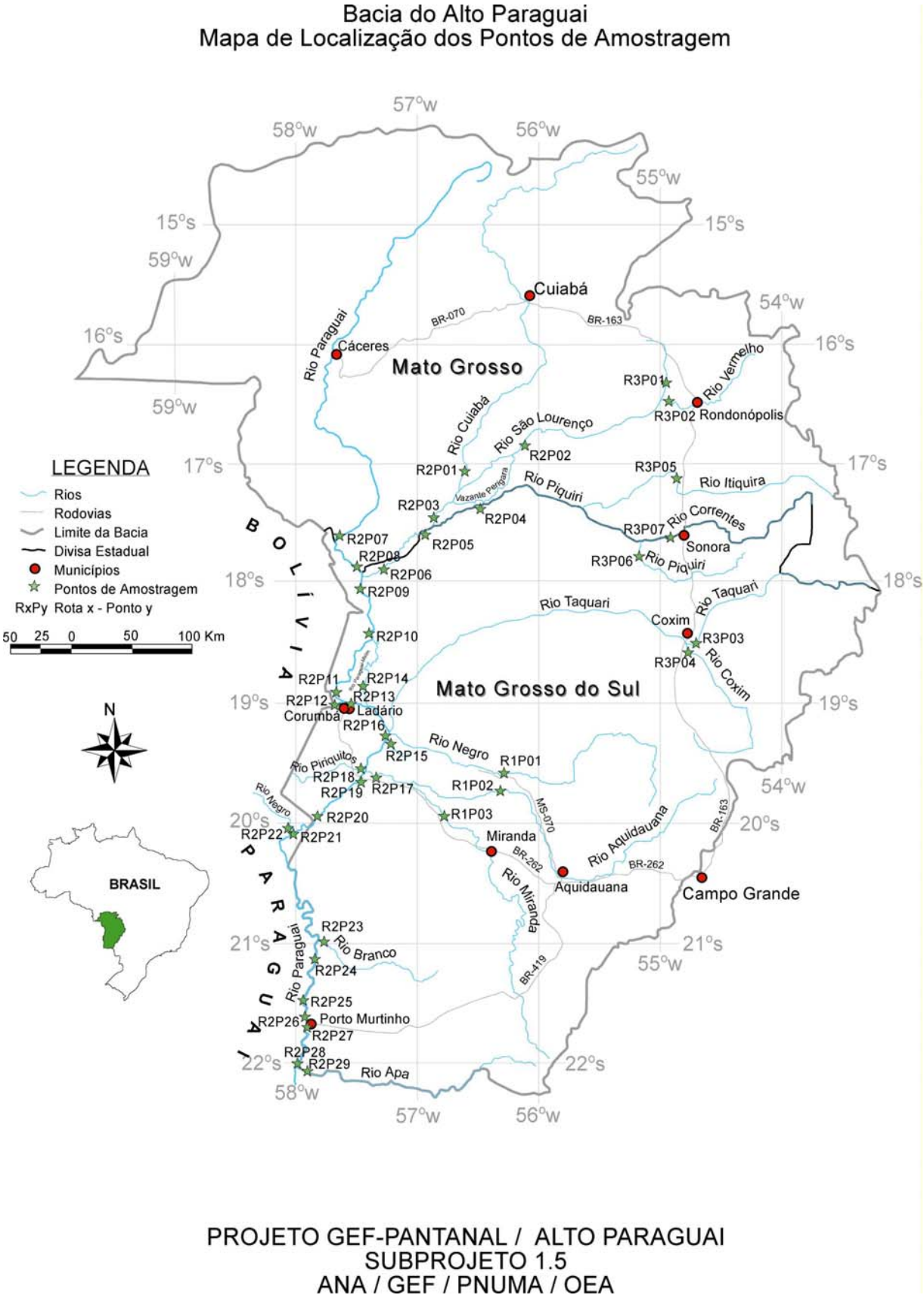
apropriada, com auxílio de embarcação transportada. As rotas, locais e números de amostras estão apresentadas na tabela 3.1.

Nas amostras de água e dos sedimentos foram analisados os seguintes metais pesados em águas e em sedimentos: cobalto, prata, cobre, ferro, manganês, cádmio, zinco, chumbo, níquel, e cromo. Cálcio, alumínio e magnésio também foram quantificados em sedimentos.

Tabela 3.1. Identificação dos pontos de coleta.

Ponto	Tipo de Coleta	Rio	Local	Coordenadas	
R1P01	AP/AC/C	Rio Negro	Faz. Rio Negro	19°34'53,5" S	56°15'07,1" W
R1P02	AP/AC/C	Rio Aquidauana	Faz. Porto Ciríaco	19 °41'49,1" S	56 °16'49,2" W
R1P03	AP/AC/C	Rio Miranda	Faz. Guaicurus	19 °55'57,5" S	56 °47'37,1" W
R2P01	AP/AC/C	Rio Cuiabá	Faz. São João	16°56'14,0" S	56°37'37,8" W
R2P02	AP/AC/C	Rio São Lourenço	Faz. São José do Borireu	16°55'28,5" S	56°13'35,7" W
R2P03	AP/AC	Rio Cuiabá	Montante da foz do Rio Piquiri	17°18'13,0" S	56°43'06,0" W
R2P04	AP/AC/C	Rio Piquiri	Faz. São José do Piquiri	17°17'52,8" S	56°29'58,2" W
R2P05	AP/AC	Rio Cuiabá	Faz. Porto Alegre	17°27'57,0" S	56°51'00,2" W
R2P06	AP/AC	Rio Cuiabá	PNPM - Posto do IBAMA	17°51’46,5” S	57°26’45,8” W
R2P07	AP/AC/C	Rio Paraguai	Bela Vista do Norte	17°38’31,8” S	57°41’15,8” W
R2P08	AP/AC	Rio Paraguai	Porto José Dias	17°51'21,0" S	57°31'52,8" W
R2P09	AP/AC	Rio Paraguai	Amolar	18°02'43,5" S	57°29'14,0" W
R2P010	AP/AC	Rio Paraguai	Porto Sucuri	18°23'35,5" S	57°23'18,7" W
R2P011	AP/AC	Rio Paraguai	Barranqueira	18°58'42,5" S	57°38'09,8" W
R2P12	AP/AC/C	Canal do Tamengo	Polícia Florestal	19°00'36,4" S	57°41'05,5" W
R2P13	AP/AC/C	Rio Paraguai	Ladário	19°00'01,8" S	57°35'53,0" W
R2P14	AP/AC/C	Rio Paraguai-Mirim	Faz. Caieira	18°52'25,2" S	57°26'15,0" W
R2P15	AP/AC	Rio Abobral	Foz do Rio Abobral	19°14'36,0" S	57°13'07,0" W
R2P16	AP/AC	Rio Paraguai	Montante da Foz do Abobral	19°14'46,4" S	57°13'39,0" W
R2P17	AP/AC	Rio Miranda	Foz do Rio Mranda	19°25'56,4" S	57°19'27,1" W
R2P18	AP/AC	Rio Piriquitos	Foz do Rio Piriquitos	19°25'06,6" S	57°22'42,1" W
R2P19	AP/AC	Rio Paraguai	Porto Esperança	19°36'29,0" S	57°27'13,0" W
R2P20	AP/AC	Rio Paraguai	Forte Coimbra	19°55'18,3" S	57°47'22,1" W
R2P21	AP/AC	Rio Paraguai	Montante do Rio Negro	20°09'48,0" S	58°09'26,0" W
R2P22	AP/AC	Rio Negro do Paraguai	Foz do Rio Negro	20°07'23,7" S	58°08'16,3" W
R2P23	AP/AC	Rio Branco	Foz do Rio Branco	20°59'39,8" S	57°49'09,5" W
R2P24	AP/AC	Rio Paraguai	Barranco Branco	21°05'43,0" S	57°52'04,0" W
R2P25	AP/AC	Rio Paraguai	Fecho dos Morros	21°27'09,1" S	57°55'35,5" W
R2P26	AP/AC	Rio Paraguai	Montante de Porto Murtinho	21°40'02,0" S	57°55'01,2" W
R2P27	AP/AC/C	Rio Paraguai	Porto Murtinho	21°42'06,6" S	57°53'34,4" W
R2P28	AP/AC	Rio Paraguai	Mont. Rio Apa	22°05'13,3" S	57°59'26,4" W
R2P29	AP/AC/C	Rio Apa	Foz do Rio Apa	22°05'03,9" S	57°57'49,7" W
R3P01	AP/AC/C	São Lourenço	São Lourenço de Fátima	16°18'38,9" S	54°55'22,2" W
R3P02	AP/C	Vermelho	Foz do Rio Vermelho	16°28'03,6" S	54°58'01,3" W
R3P03	AP/AC/C	Rio Taquari	Montante do Rio Coxim	18°31'35,4" S	54°43'59,0" W
R3P04	AP/AC/C	Rio Coxim	Foz do Rio Coxim	18°32'12,7" S	54°44'25,7" W
R3P05	AP/AC/C	Rio Itiquira	Faz. Porto Seguro	17°14'01,8" S	54°50'38,7" W
R3P06	AP/AC/C	Rio Piquiri	Montante do Correntes	17°39'59,0" S	55°08'32,8" W
R3P07	AP/AC/C	Rio Correntes	UHE Ponte de Pedra	17°36'34,8" S	54°55'36,7" W

Tipos de coleta: AP=Amostra Pontual; AC=Amostra Composta; C=Amostra de sedimentos “core”; Rx=Rota de coleta x; Pxx=Ponto de coleta xx



PROJETO GEF-PANTANAL / ALTO PARAGUAI
SUBPROJETO 1.5
ANA / GEF / PNUMA / OEA

Figura 3.5. Mapa de localização dos pontos de amostragem.

3.3.1. Coleta de Sedimentos

A coleta dos sedimentos para a análise de metais foi efetuada utilizando-se coletores do tipo "core".

Para cada ponto de amostragem, foi realizada a cravação do amostrador, mantendo-se o mesmo na vertical, até não perceber mais a penetração do amostrador no sedimento. Então o amostrador foi retirado, e após desconectado o tubo de policarbonato transparente com a amostra, o mesmo foi imediatamente vedado e mantido na posição vertical. A mostra foi retirada do tubo de policarbonato, fatiada e congelada.

O sedimento foi estudado por camadas, possibilitando averiguar as deposições de sedimentos, juntamente com os metais pesados presentes.

Os sedimentos foram coletados em áreas de remanso, em locais com maior acúmulo de material. As amostras coletadas dos sedimentos foram secas em sala aclimatada com ar condicionado, trituradas com auxílio de cadinho e pistilo de porcelana, peneiradas em peneira com abertura de 200 mesh e estocadas em sacos plásticos.

3.4. Metodologia de Análise

Para a análise de metais pesados em água e em sedimentos, foi adotada como referencial a metodologia do Standard Methods, 19th ed., apresentada na tabela 3.2.

Tabela 3.2. Metais pesados monitorados em água e sedimentos, unidades e técnicas analíticas utilizadas.

Parâmetros	Unidades	Técnica analítica
Metais - Digestão	-	Standard Methods - Método 3030 G
Metais - Determinação	$mg.L^{-1}$	Standard Methods - Método 3111 B

3.4.1. Digestão das Amostras do Sedimento

A digestão das amostras dos sedimentos foi feita por via úmida. Pesaram-se 4,0 gramas de sedimento, colocado em *erlermeyer* de 125mL, tampados com vidro relógio sendo, a seguir, adicionados 20mL de uma solução concentrada de HNO_3(1:1), mantendo a chapa de aquecimento a 100ºC, por 20 minutos sob refluxo (vidro de relógio na boca do *erlermeyer*). Passado o tempo, resfriou-se a amostra, adicionou-se 10mL de $HNO_{3(conc)}$ e retornou-se a

chapa de aquecimento a 100ºC, por 30 min sob refluxo, até desprendimento de toda a fumaça (processo repetido por 3 vezes). Na terceira adição de 10mL de $HNO_{3(conc)}$ deixou-se o mesmo por duas horas na chapa de aquecimento sob refluxo. Passadas as 2 horas, resfriou-se o sistema e adicionou-se 4mL de água destilada e 6mL de H_2O_2 30%, levando ao aquecimento e deixando que a efervescência minimizasse sob refluxo. Resfriou-se novamente, adicionou-se mais 4mL de H_2O_2 30% e retornou o sistema para a chapa de aquecimento a 100ºC, deixando por 2 horas sob refluxo, resfriou-se o sistema novamente, adicionou-se 20mL de HCl concentrado e retornou o *erlenmeyer* para a chapa de aquecimento a mesma temperatura por mais 15 minutos sob refluxo. Resfriou-se a amostra, filtrou-se e elevou-se o volume para 100mL em balão volumétrico. Posteriormente, o material foi transferido para frascos de polietileno.

3.4.2. Análise dos Metais Totais

Na determinação das concentrações dos metais nas amostras de águas e dos sedimentos, foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica marca Varian 220FS. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFMS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos aspectos mais graves da contaminação com metais pesados é a sua amplificação biológica nas cadeias tróficas. No ecossistema aquático, os metais estão distribuídos em quatro reservatórios abióticos: o material suspenso, o sedimento, as águas superficiais e as águas intersticiais (SALOMONDS & FÖRSTNER, 1984 *apud* ESTEVES, 1998).

Os metais podem ser acumulados em lagos e rios, por meio dos sedimentos, entretanto, mudanças nas condições ambientais, tais como temperatura e regime hídrico, podem alterar a biodisponibilidade, o carreamento de partículas de solo e sua deposição nos corpos d'água, aumentando a turbidez da água e o assoreamento da calha, alterando a concentração de íons e a condutividade elétrica, repercutindo de forma significativa no teor de oxigênio dissolvido, e no pH da água, afetando os organismos autótrofos (PAYNE, 1986). O quadro A1, em anexo, apresenta os dados obtidos para análise de metais em águas em todos os pontos amostrados.

4.1. Metais em Águas

COBALTO

A concentração do cobalto em águas segundo Resolução CONAMA 20/86, para águas de classes 1, 2 e 3 é de 0,2mg.L^{-1}, e em todos os pontos amostrados a concentração do cobalto foi menor que 0,013mg.L^{-1}, sendo a maior no Rio Aquidauana, Fazenda Porto Ciríaco, e a menor concentração de 0,011mg.L^{-1} no Rio Negro na Fazenda Rio Negro. A figura 4.1, mostra a concentração de cobalto em águas.

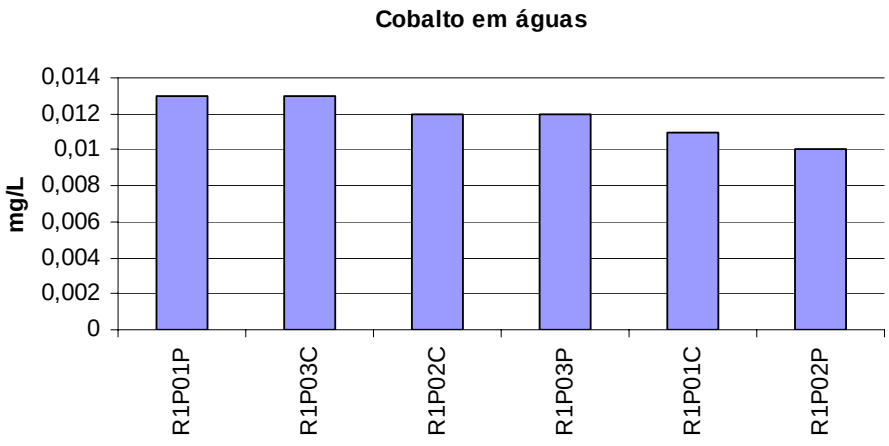


Figura 4.1. Concentração de cobalto em águas.

PRATA

O limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 para classes 1 e 2, para a concentração de prata em águas é de 0,001mg.L^{-1} e para classe 3 de 0,01mg.L^{-1}. A figura 4.2 apresenta a concentração de prata em águas.

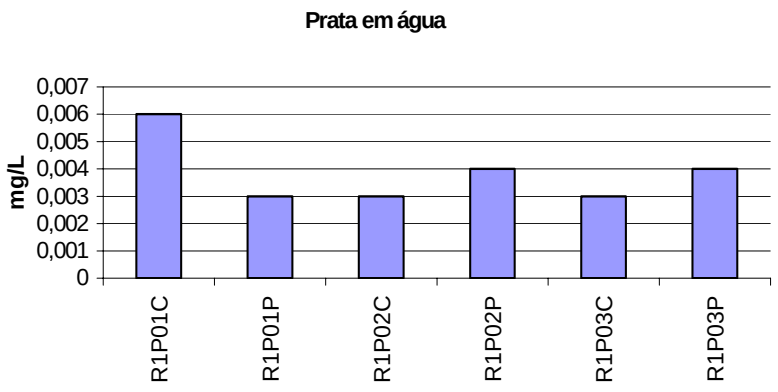


Figura 4.2. Concentração de prata nas águas.

Pela figura 4.2 observa-se que a concentração de prata em águas se enquadra na classe 1 segundo Resolução CONAMA 20/86.

COBRE

A concentração máxima estabelecida para cobre para classe 3, é de 0,5mg.L^{-1}, para classes 1 e 2 é de 0,02mg.L^{-1}. A figura 4.3 apresenta a concentração de cobre em águas.

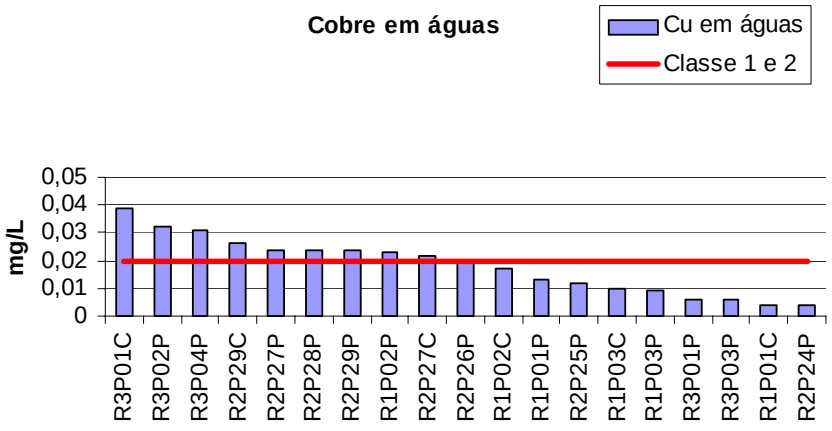


Figura 4.3. Concentração de cobre em águas.

Observa-se pela figura 4.3 que estão enquadrados como classe 3 para a Resolução CONAMA 20/86, os seguintes pontos amostrados: Rio São Lourenço em São Lourenço de Fátima, Rio Coxim, Foz do Rio Coxim, Rio Paraguai em Porto Murtinho, Rio Apa, na foz do Rio Apa. Os demais pontos amostrados, são enquadrados na classe 1, da mesma Resolução.

FERRO

A Resolução CONAMA 20/86, tem como limites concentração de ferro solúvel para as águas. Os dados apresentados na figura 4.4, foram determinados por Absorção Atômica, sendo que a concentração do ferro é como ferro total, não podendo fazer comparações entre as mesmas.

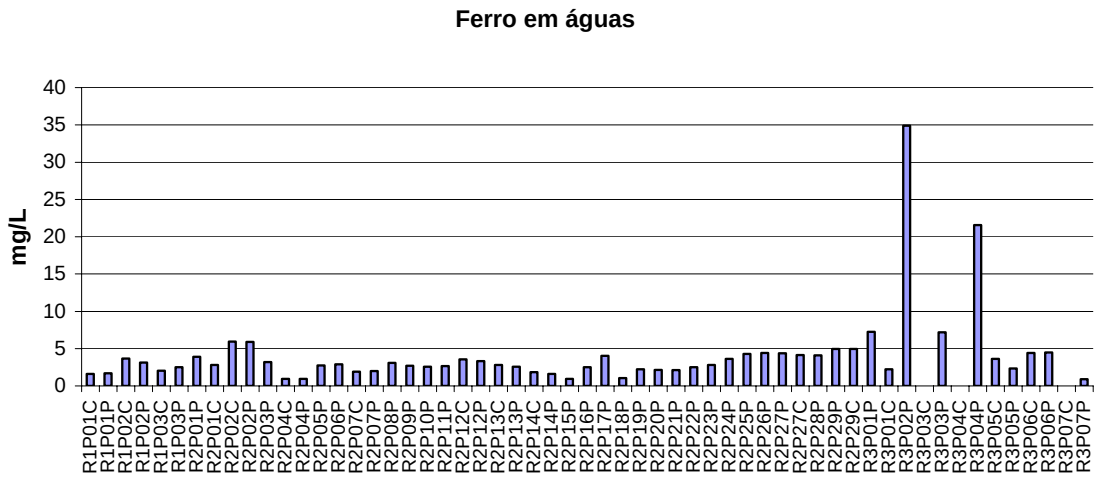


Figura 4.4. Concentração de ferro em águas.

Observa-se pela figura 4.4 que o ponto R3P02, localizado no Rio Vermelho, a montante do Rio São Lourenço, apresentou a maior concentração de ferro, 34,981mg.L^{-1} seguida do ponto R3P04, no Rio Coxim, na foz do Rio Coxim, apresentou concentração de 21,567mg.L^{-1} de ferro.

MANGANÊS

A concentração de manganês em águas para classes 1 e 2, segundo Resolução CONAMA 20/86 é de 0,1mg.L^{-1}, e para classe 3 de 0,5mg.L^{-1}.

A figura 4.5 apresenta os valores obtidos para a concentração de manganês em águas em pontos onde a concentração do manganês esteve acima da classe 2 da Resolução CONAMA 20/86.

Para o ponto R3P02 localizado no Rio Vermelho, a montante do Rio São Lourenço, o ponto R2P12 no Canal do Tamengo localizado na Polícia Federal, o ponto R3P04, o Rio Coxim na foz do Rio Coxim estão com valores acima da classe 3.

Os pontos R2P15 no Rio Abobral na foz, R1P01 no Rio Negro na Fazenda Rio Negro, R3P03, Rio Taquari a Montante da Foz do Coxim, R1P02 Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco, R2P17, Rio Miranda na Foz e o ponto R2P22 no Rio Negro do Paraguai na Foz do Rio Negro se enquadram na classe 3 da Resolução CONAMA 20/86.

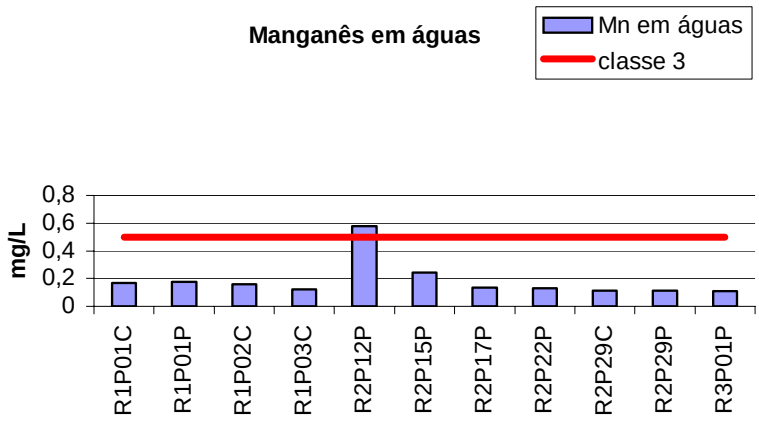


Figura 4.5. Concentração de manganês em águas.

CÁDMIO

Em relação a concentração de cádmio em águas estão enquadrados na classe 3, segundo Resolução CONAMA 20/86, os seguintes pontos: R1P03, no Rio Miranda na Fazenda Guaicurus, R1P01, Rio Negro na Fazenda Rio Negro, R1P02, Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco, R2P02, Rio São Lourenço na Fazenda São José do Borireu e o ponto R2P01 no Rio Cuiabá na Fazenda São João.

A figura 4.6 apresenta os valores para concentração de cádmio em águas.

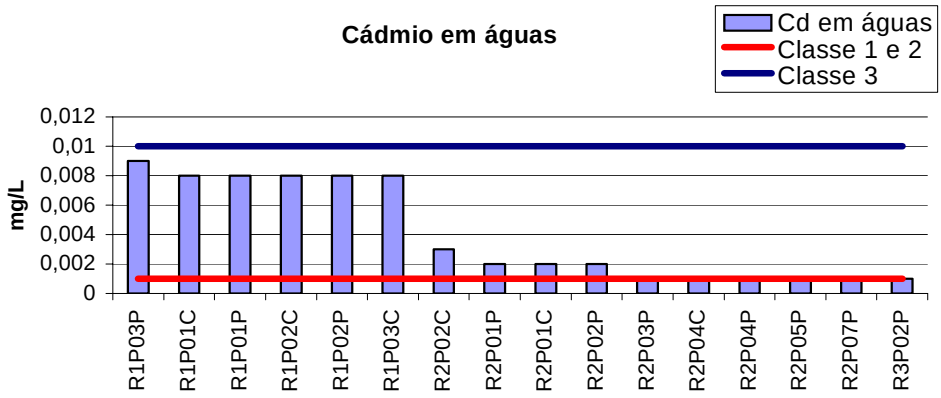


Figura 4.6. Concentração de cádmio em águas.

ZINCO

A concentração de zinco em águas, segundo Resolução CONAMA 20/86, para classe 3 é de 5,0mg.L^{-1}. Na figura 4.7 estão as concentrações de zinco em águas nos pontos amostrados.

Pontos de amostragem que se enquadram na classe 3 para concentrações de zinco em águas foram: R2P23, Rio Branco na Foz do Rio Branco, R2P28, Rio Paraguai a montante do Rio Apa, R2P19, Rio Paraguai em Porto Esperança, R2P06, Rio Cuiabá no Posto do IBAMA, R3P06, Rio Piquiri a Montante do Correntes, R3P02, Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço, R2P09, Rio Paraguai em Amolar, R2P21, Rio Paraguai, a Montante do Rio Negro e no ponto R3P04, Rio Coxim na foz do Rio Coxim.

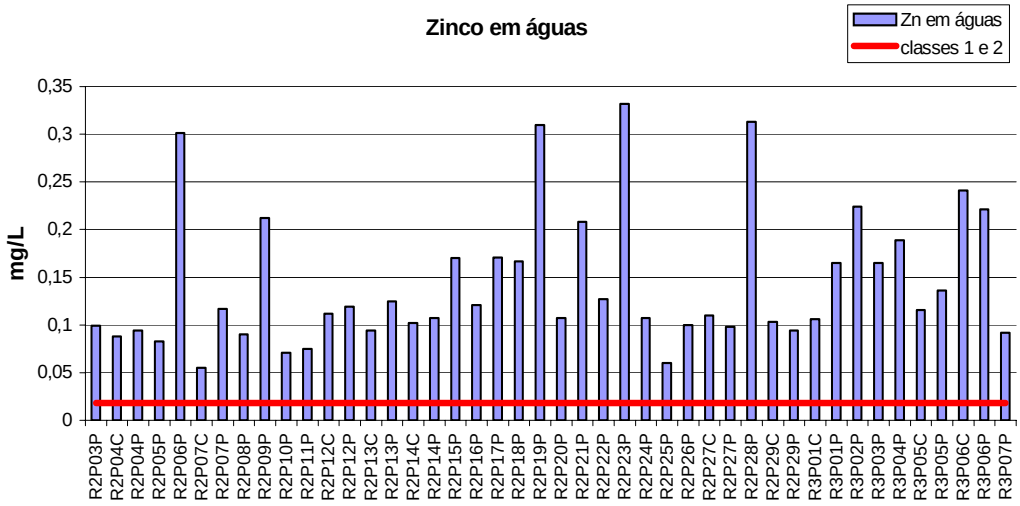


Figura 4.7. Concentração de zinco em águas.

CHUMBO

A concentração em chumbo, em águas para classes 1 e 2, segundo Resolução CONAMA 20/86, é de 0,03mg.L^{-1}, e para classe 3 é de 0,05mg.L^{-1}. A figura 4.8 apresenta valores de concentração de chumbo em águas nos pontos amostrados.

Observa-se que os pontos R2P21P, no Rio Paraguai a Montante do Rio Negro e o ponto R2P22, no Rio Negro na Foz do Rio Negro apresentaram concentrações de chumbo que se enquandram nas classes 1 e 2, e o ponto R2P19 no Rio Paraguai em Porto Esperança se enquadra na classe 3 em relação a concentração de chumbo em águas. Os demais pontos amostrados estão todos acima da classe 3 para a Resolução CONAMA 20/86.

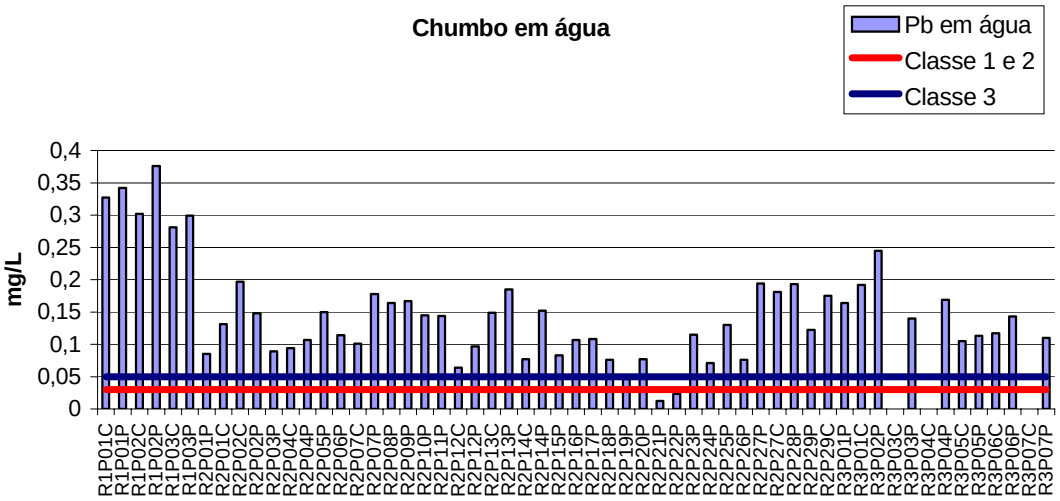


Figura 4.8. Concentração de chumbo em águas.

NÍQUEL

A concentração de níquel em águas, para as classes 1, 2 e 3, tem como limites máximos permitidos de 0,025mg.L^{-1}. A figura 4.9 apresenta as concentrações de níquel em águas nos pontos amostrados.

O ponto R1P03, no Rio Miranda na Fazenda Guaicurus teve concentração de níquel em água de 0,03mg.L^{-1}, e o ponto R1P02, no Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco com concentração de 0,027mg.L^{-1} estão acima da classe 3 para a Resolução CONAMA 20/86. Os demais pontos amostrados apresentam concentração que se enquadram nas classes 1 e 2 da mesma Resolução.

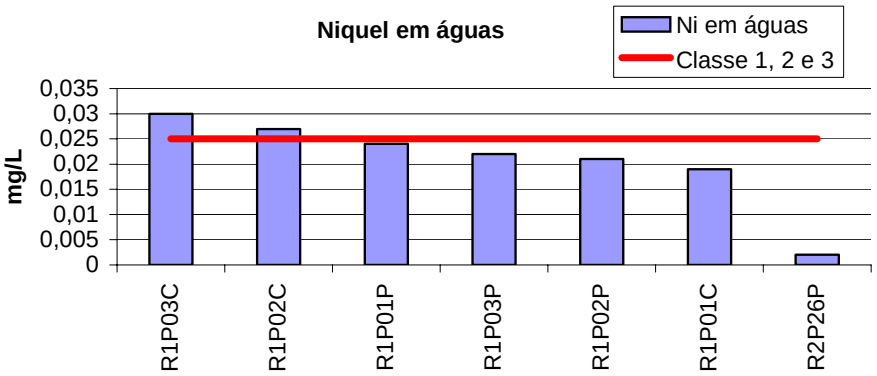


Figura 4.9. Concentração de níquel em águas.

CROMO

Na Resolução CONAMA 20/86, os valores limites para o cromo, são referendados como cromo III e cromo VI, e os valores obtidos nos pontos amostrados, foram realizados em Absorção Atômica, sendo referendados como cromo total, não podendo ser comparados com a Resolução citada.

Pela figura 4.10, observa-se que a maior concentração de cromo total em água foi obtida no Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço com concentração de cromo de 0,025mg.L^{-1}. Concentração para o Rio Miranda na Fazenda Guaicurus com concentração de 0,014mg.L^{-1} e os demais pontos amostrados com concentrações menores que 0,01mg.L^{-1}.

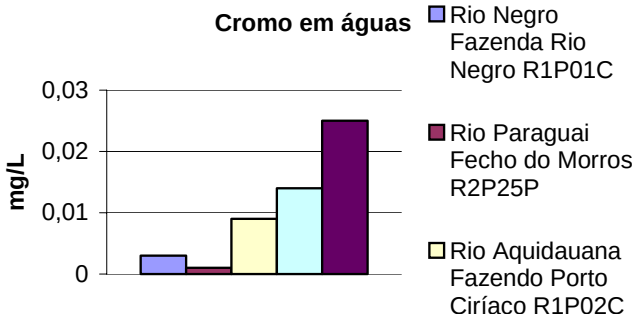


Figura 4.10. Concentração de cromo em águas.

As concentrações de metais em sedimentos são referendadas como mg do metal por kg de sedimento, em peso seco. Todos os valores comentados são referentes às concentrações médias obtidas nas três primeiras fatias das amostras “core”. O quadro A.2, em anexo, apresenta os resultados das análises de metais em sedimentos.

ZINCO

A figura 4.11 apresenta os valores das concentrações de zinco em sedimentos nos pontos amostrados. Observa-se que as maiores concentrações de zinco foram obtidas no Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço com concentração de 46,8mg.kg^{-1} ps (R3P02), no Rio Aquidauana na Fazenda de Porto Ciríaco com concentração de 45,0mg.kg^{-1} ps (R1P02), no Rio Cuiabá na Fazenda São João com 45,2mg.kg^{-1} ps (R2P01) e no Rio Apa na Foz do Rio Apa com concentração de zinco de 42,3mg.kg^{-1} ps (R2P29).

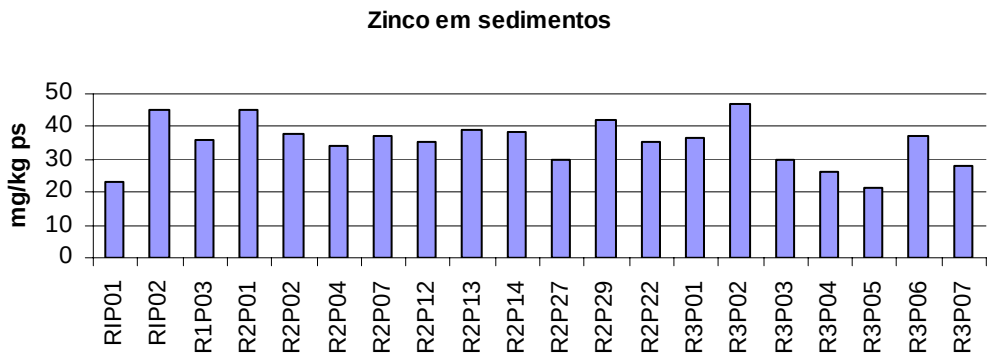


Figura 4.11. Concentração de zinco em sedimentos.

De acordo com a tabela 4.2, concentração de zinco de 120mg.kg^{-1} ps indica que o nível de contaminação do sedimento pode ser tolerado pela maioria dos organismos bentônicos e que concentrações menores que 90mg.kg^{-1} ps (tabela 4.1) são considerados não poluídos.

Estudos realizados por Fernandes (1997) em sedimentos da lagoa de Jacarapaguá no Rio de Janeiro obteve concentração de zinco variando na faixa de 121 - 507mg.kg-^{1} ps, Teixeira *et al.* (2000) avaliaram a concentração de zinco em sedimentos dos Rios Jacuí, Taquari, Conde e Ratos no Rio Grande do Sul obtendo valores na faixa de 50 - 150mg.kg^{-1} ps, e Facetti *et al.* (1998) encontraram valores para o zinco no sedimento do Rio Paraguai entre 0,7 - 54mg.kg^{-1} ps.

CÁLCIO

Para o elemento cálcio não existem dados quanto a sua toxicidade em sedimentos. A figura 4.12 mostra os valores obtidos de cálcio em sedimentos nos pontos coletados. Concentrações de cálcio acima de 200mg.kg^{-1} ps foram encontrados nos seguintes pontos de amostragem: Rio Taquari a Montante da Foz do Coxim (R3P03), Rio São Lourenço em São Lourenço de Fátima (R3P01), Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço (R3P02), e no Rio Coxim na Foz do Rio Coxim (R3P04).

O menor valor encontrado para cálcio em sedimentos foi no Rio Correntes na UHE Ponte da Pedra com 44,2mg.kg^{-1} ps (R3P07).

Estudos realizados por Silva (2002) em sedimentos da Bacia Hidrográfica do Moji-Guaçu - SP, obteve concentração de cálcio na faixa de 18-20,5mg.kg^{-1} ps, valores muito inferiores ao encontrado neste estudo.

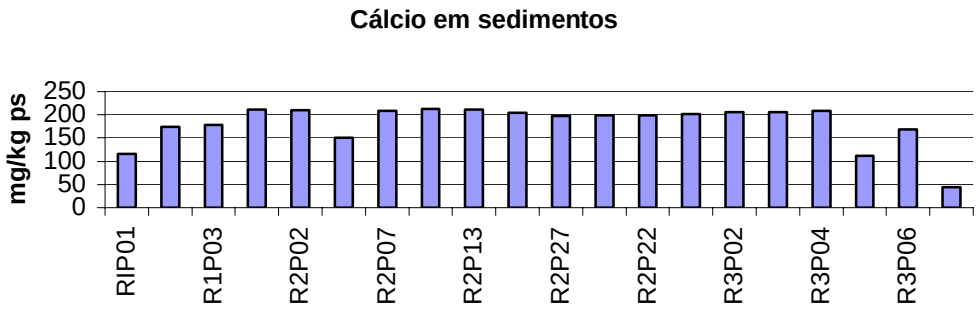


Figura 4.12. Concentração de cálcio em sedimentos.

COBALTO

A figura 4.13 apresenta as concentrações de cobalto em sedimentos. Valores acima de 200mg.kg^{-1} ps foram encontrados no Rio Paraguai em Bela Vista do Norte (R2P14) de 246mg.kg^{-1} ps, Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco (R1P02) de 229mg.kg^{-1} ps, Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço (R3P02) de 212mg.kg^{-1} ps e em R3P06 no Rio Piquiri a Montante do Correntes (210mg.kg^{-1} ps).

Valores de cobalto na faixa de 150-200mg.kg^{-1} ps foram encontrados em: Rio Miranda, na Fazenda Guaicurus (R1P03); Rio Cuiabá, na Fazenda São João (R2P01); Rio São Lourenço,

na Fazenda São José do Borireu (R2P02); Rio Piquiri, na Fazenda São José do Piquiri (R2P04); Rio Paraguai, em Ladário (R2P13); Rio Apa, na Foz do Rio Apa (R2P29).

Teixeira *et al.* (2000) encontrou nos sedimentos dos rios Jacuí, Taquari, Conde e Ratos do Rio Grande do Sul concentração de cobalto na faixa de 16 a 111mg.kg^{-1} ps.

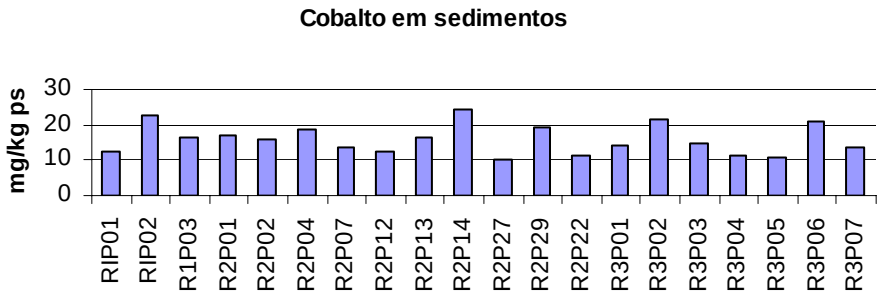


Figura 4.13. Concentração de cobalto em sedimentos.

CÁDMIO

A figura 4.14 mostra a concentração de cádmio em sedimentos. A maior concentração obtido foi no Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço com concentração de 2,23mg.kg^{-1} ps (R3P02) seguido do Rio Taquari a Montante da Foz do Coxim (R3P03) com concentração 1,9mg.kg^{-1} em ps, Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco (R1P02) com 1,76mg.kg^{-1} ps, Rio Coxim na Foz do Rio Coxim (R3P04) com 17mg.kg^{-1} ps e no Rio Piquiri a Montante do Correntes (R3P06) com 1,66mg.kg^{-1} ps. Os demais valores mensurados estiveram abaixo de 1,5mg.kg^{-1} ps.

Estudos realizados por Teixeira *et al.* (2000) nos sedimentos de rios do Rio Grande do Sul encontraram concentrações de cádmio na faixa de 0,11 a 1,56mg.kg^{-1} ps.

De acordo com a tabela 4.1, concentrações de cádmio em sedimento maiores que 6mg.kg^{-1} ps indica nível com severos efeitos de ecotoxicidade.

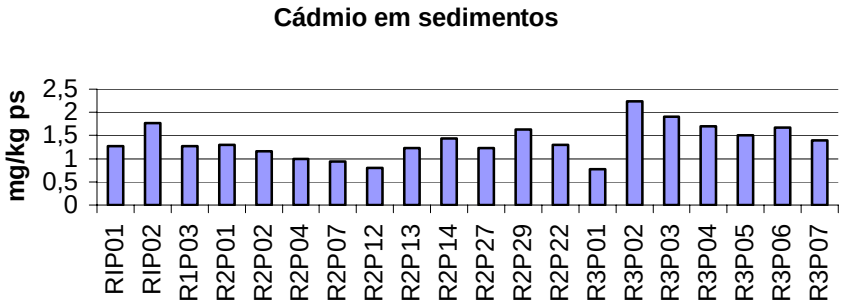


Figura 4.14. Concentração de cádmio em sedimentos.

FERRO

A figura 4.15 apresenta valores de ferro em sedimentos nos pontos amostrados. A tabela 4.1 apresenta valores de sedimentos em lagos onde concentração de ferro acima de 25000mg.kg^{-1} ps são considerados muito poluído (EPA, 1977, *apud* MUDROCH & AZCUE, 1995) e a tabela 4.2 que concentração maior que 4% (4000mg.kg^{-1} ps) se enquadra em níveis com efeito severo. Concentrações acima de 4000mg.kg^{-1} ps foram encontradas no Rio Cuiabá na Fazenda São João (4685mg.kg^{-1} ps) (R2P01), Rio São Lourenço na Fazenda José do Borireu (4483mg.kg^{-1} ps) (R2P02), Rio Cuiabá a Montante da Foz do Rio Piquiri (4785mg.kg^{-1} ps), Rio Piquiri na Fazenda São José do Piquiri (4862mg.kg^{-1} ps) (R2P04), Rio Cuiabá na Fazenda Porto Alegre (4731mg.kg^{-1} ps), Rio Cuiabá no Posto do IBAMA (4746mg.kg^{-1} ps), Rio Paraguai em Bela Vista do Norte (4926mg.kg^{-1} ps) (R2P07), Rio Paraguai em Porto Murtinho (mg.kg^{-1} ps) e no Rio Paraguai em Amolar (4798mg.kg^{-1} ps), Canal do Tamengo na Polícia Florestal (R2P12), Rio Paraguai em Ladário (R2P13), Rio Paraguai-Mirim na Fazenda Caieira (R2P14).

No Rio Aquidauna na Fazenda Porto Ciríaco a concentração de ferro foi de 1123mg.kg^{-1} ps e no Rio Negro na Fazenda Rio Negro a concentração de ferro foi de 1012mg.kg^{-1} ps, todos os demais valores encontrados estão abaixo de 1000mg.kg^{-1} ps.

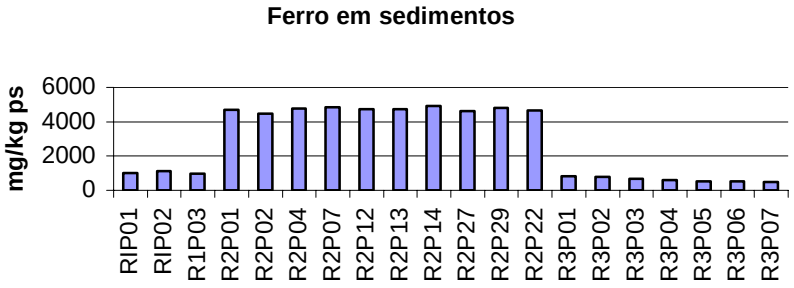


Figura 4.15. Concentração de ferro em sedimentos.

ALUMÍNIO

A figura 4.16 apresenta os valores da concentração de alumínio encontrada em sedimentos. As maiores concentrações de alumínio encontradas foram no Rio Correntes em UHE Ponte da Pedra (R3P07) (8204mg.kg^{-1} ps), Rio Apa na Foz do Rio Apa (R2P29) (6774mg.kg^{-1} ps) e no Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco (6518mg.kg^{-1} ps) (R1P02).

Estudos realizados por Silva (2002) em sedimentos do Rio Mogi-Guaçu obteve concentração de alumínio na faixa de 10000 a 96500mg.kg^{-1} ps de alumínio.

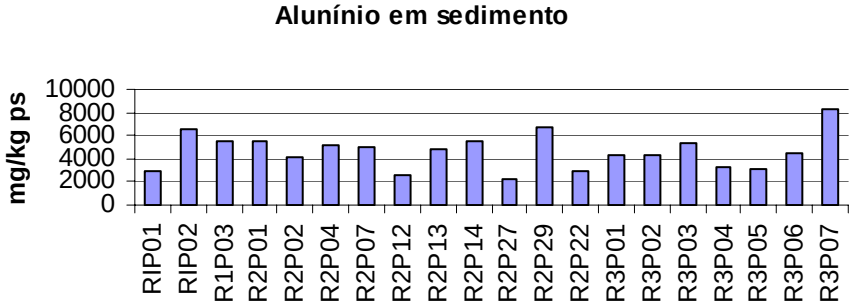


Figura 4.16. Concentração de alumínio em sedimentos.

MAGNÉSIO

Valores das concentrações de magnésio em sedimentos estão apresentados na figura 4.17.

As maiores concentrações encontradas em sedimentos foram no Rio Apa na Foz do Rio Apa (R2P29) (1411mg.kg^{-1} ps), no Rio Miranda na Fazenda Guaicurus (R1P03) (1307mg.kg^{-1} ps),

Rio Aquidauna na Fazenda Porto Ciríaco (R1P02) (1151mg.kg^{-1} ps), Rio Taquari a Montante da Foz do Coxim (R3P03) (1089mg.kg^{-1} ps) e no Rio Coxim na Foz do Coxim (R3P04) (1035mg.kg^{-1} ps).

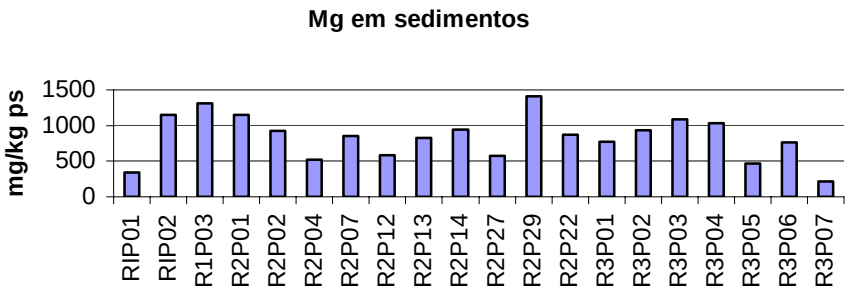


Figura 4.17. Concentração de magnésio em sedimentos.

NÍQUEL

Concentração de níquel em sedimentos estão apresentados na figura 4.18. As maiores concentrações de níquel obtidas foram no Rio Aquidauna na Fazenda Porto Ciríaco (R1P02) (17,6mg.kg^{-1} ps), Rio Cuiabá na Fazenda São João (R2P01) (16,6mg.kg^{-1} ps), Rio Apa na Foz do Rio Apa (R2P29) (16,4mg.kg^{-1} ps) e no Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço (R2P02) (16,3mg.kg^{-1} ps). A tabela 4.1 apresenta a concentração de níquel menor que 20mg.kg^{-1} ps no sedimento como sendo não poluídos.

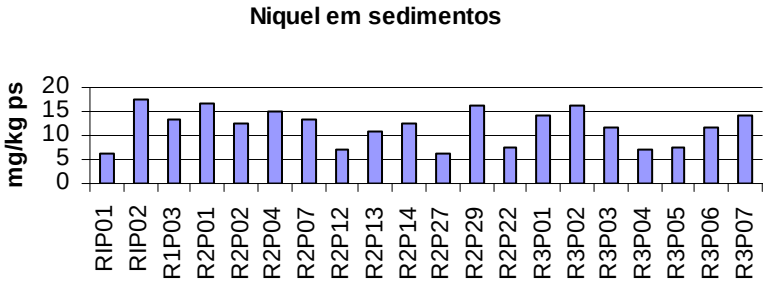


Figura 4.18. Concentração de níquel em sedimentos.

Estudos realizados por Fernandes (1997) em sedimentos na Bacia de Jacarepaguá no Rio de Janeiro obtive valores de níquel em sedimentos na faixa de 32 -96 mg.kg^{-1} ps.

CROMO

Valores de cromo em sedimentos estão apresentados na figura 4.19. As maiores concentrações de cromo encontradas foram no Rio Cuiabá na Fazenda São João (23,8mg.kg^{-1} ps), Rio São Lourenço na Fazenda São José do Borireu (22,1mg.kg^{-1} ps), Rio Cuiabá a Montante da Foz do Rio Piquiri (20,6mg.kg^{-1} ps), Rio Piquiri na Fazenda São José do Piquiri (20,9mg.kg^{-1} ps), Rio Cuiabá no Posto do IBAMA (20,1mg.kg^{-1} ps), Rio Paraguai em Amolar (22,0mg.kg^{-1} ps) e no Rio Paraguai em Bela Vista do Norte (20mg.kg^{-1} ps).

Pela tabela 4.1, valores de cromo em sedimentos menores que 25mg.kg^{-1} ps são considerados não poluídos.

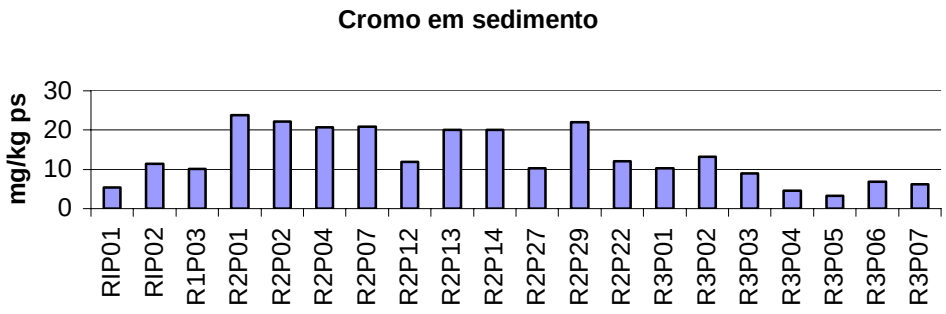


Figura 4.19. Concentração de cromo em sedimentos.

CHUMBO

Na figura 4.20 estão apresentados valores de chumbo em sedimentos nos pontos amostrados.

As maiores concentrações de chumbo encontradas em sedimentos foram no Rio Correntes em UHE Ponte da Pedra (25mg.kg^{-1} ps), Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço (23,4mg.kg^{-1} ps), Rio Paraguai em Amolar (20,7mg.kg^{-1} ps) e no Rio Cuiabá na Fazenda São João (20mg.kg^{-1} ps).

Em relação ao chumbo, a concentração em sedimentos menores do que 40mg.kg^{-1} ps são considerados como não poluídos.

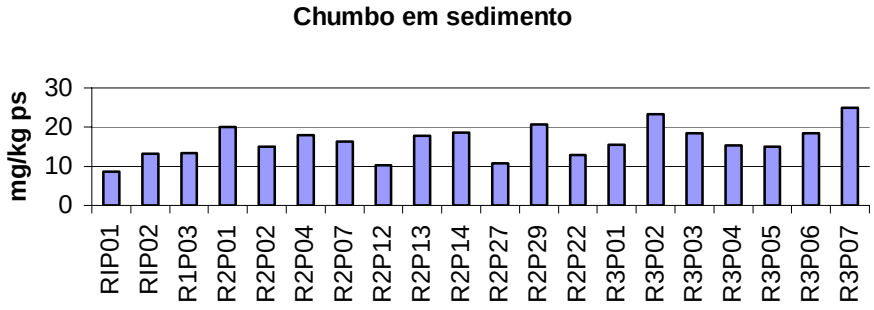


Figura 4.20. Concentração de chumbo em sedimentos.

COBRE

Na figura 4.21 estão apresentados os valores da concentração de cobre em sedimentos. Observa-se pela figura 4.21 que o ponto R1P02, no Rio Aquidauana na Fazenda Porto Ciríaco teve a maior concentração de cobre em sedimentos com 38,9mg.kg^{-1} ps, e no ponto R2P09, no Rio Paraguai em Amolar com concentração de 23,4mg.kg^{-1} ps.

De acordo com a classificação de toxicidade dos sedimentos (tabelas 4.1 e 4.2) o Rio Aquidauna, na Fazenda Porto Ciríaco, está moderadamente poluído em relação a concentração de cobre em sedimentos.

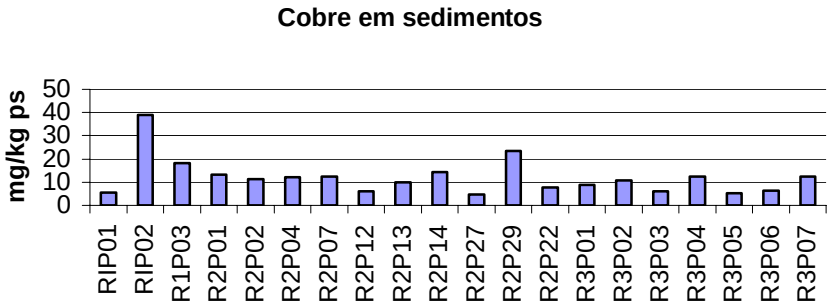


Figura 4.21. Concentração de cobre em sedimentos.

Estudos realizados por Fernandes (1997) em sedimentos da lagoa de Jacarapaguá no Rio de Janeiro obteve concentração de cobre variando na faixa de 32 - 112mg.kg^{-1} ps (TEIXEIRA *et*

al., 2000) avaliaram a concentração de zinco em sedimentos dos Rios Jacuí, Taquari, Conde e Ratos no Rio Grande do Sul obtendo valores na faixa de 10 - 110mg.kg^{-1} ps.

MANGANÊS

Estão apresentadas, na figura 4.22, as concentrações de manganês em sedimentos para os pontos amostrados.

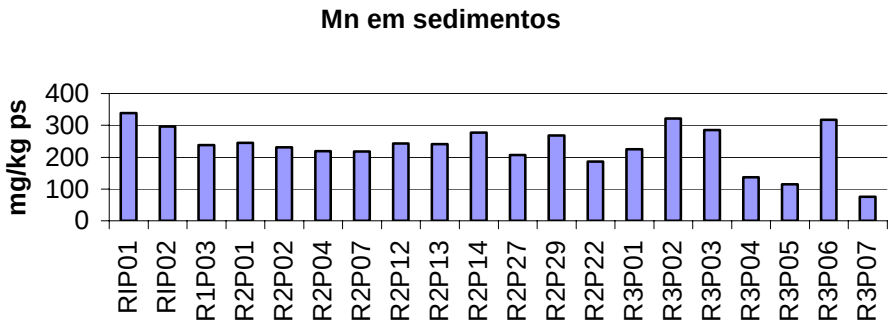


Figura 4.22. Concentração de manganês em sedimentos.

As maiores concentrações de manganês encontradas no sedimento foram no Rio Negro na Fazenda Rio Negro (338,6mg.kg^{-1} ps), Rio Vermelho a Montante do Rio São Lourenço (321,1mg.kg^{-1} ps) e no Rio Piquiri a Montante do Correntes (317,1mg.kg^{-1} ps), todos esses pontos estão classificados como moderadamente poluído.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A comparação entre as concentrações de metais em águas dos rios da BAP e os valores fixados pelo CONAMA 20/86, revela que:

- em todos os pontos amostrados, neste estudo, as concentrações de cobalto e prata em águas estão enquadradas como classe 1 e 2;
- no Canal do Tamengo, na Polícia Florestal, a concentração de manganês em água excedeu a classe 3, provavelmente devido às formações geológicas da bacia de drenagem;
- os rios: São Lourenço, Vermelho, Coxim, Apa, Paraguai e Aquidauana, obtiveram concentrações de cobre acima da classe 2.
- no Rio Paraguai, em Porto Murtinho e a Montante do Rio Apa, e no Rio Apa na Foz a concentração de cobre na água excedeu a classe 2;
- concentração de zinco em águas, na maioria dos pontos amostrados, estão acima da classe 2, e para concentração de chumbo acima da classe 3.

Com base nos resultados das análises efetuadas nas três primeiras dos sedimentos, tornou-se possível obter algumas conclusões:

- foram considerados sedimentos moderadamente poluídos, em relação a concentração de manganês, o Rio Negro na Fazenda Rio Negro, Rio Vermelho a Montante de São Lourenço e Rio Piquiri a Montante de Correntes;
- a concentração de manganês em água também no Rio Negro foi acima da classe 2, no Canal do Tamengo excedeu o limite da classe 3, para a concentração do manganês, como também foi verificado na água, devido a formação geológica da bacia de contribuição até os pontos de coleta;
- no Rio Aquidauana, na Fazenda Porto Ciríaco, o sedimento está moderadamente poluído em relação ao cobre.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que:

- sejam avaliadas as mudanças de entrada de diferentes contaminantes no sistema, segundo perfil completo das amostras verticais dos sedimentos, a fim de avaliar sua dispersão, disponibilidade e absorção pela biota;

- sejam realizadas novas campanhas nos pontos amostrados, a fim de avaliar as concentrações de metais nas águas e em sedimentos, em diferentes épocas, considerando que as coletas das amostras foram realizadas em época de seca;
- sejam estudados e quantificados metais pesados nos solos do planalto e da planície, considerando, que na planície durante o período de inundação, são depositados os sedimentos em suspensão presentes nas águas que transbordam dos rios e inundam campos, lagos, lagoas, e meandros marginais dos rios da BAP localizados na planície;
- qualquer atividade ou obras nos rios da BAP, como por exemplo a implantação da Hidrovia Paraguai-Paraná ou uma eventual dragagem do Canal do Tamengo, que envolva a necessidade de intervenção no sedimentos depositados nos rios ou áreas inundáveis, somente deverá ser decidida após amplo estudo da qualidade dos sedimentos e solos da região envolvida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDO, E. G. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo/SP: CETESB. 150p., 1987.

ANDERSON Jr, R. J., N. ANJOS, N. F. R, e DIAS, H. F. *An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay river basin. LATEN Dissemination Note # 5*, The World Bank, Latin America Technical Departament, Evironment Division, September, 1993.

AWWA; APHA; WPCF. *Standard Methods for the Examination os Water ant Wastewater*. 19th edition, Washington, 1995.

BAPTISTA NETO, J.A., SMITH, B.J., MCALLISTER, J.J. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. *Environmental Pollution*, vol. 109, pp 1-9, 2000.

BONOTTO, D. M., SILVEIRA, E. G. Preference ratios for mercury and other chemical elements in the Madeira River, Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, vol 15, pp. 911-923, 2003.

BRASIL, Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986, In: *Diário Oficial da União*. DF, julho, 1986.

BROWN Jr., K. S. *Zoogeografia da Região do Pantanal Mato-Grossense*. Anais do 1º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, Corumbá, MS 28 Novembro a Dezembro, 1984, 137-178, 1986.

CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia Prática*, Rio de Janeiro/RJ: CPRM, 1994.

CASARETT, L. J.; DOULL, J. *Casarett and Doull's toxicology:* the basic science of poisons. New York, McGraw–Hill, 1995. 1111 p.

COLLISCHONN, W.;TUCCI, C. *Hidrologia do Rio Cuiabá*. Comunicação Pessoal, 2002.

EDIBAP. *Estudo de desenvolvimento integrado da Bacia do Alto Paraguai. Relatório da 1ª Fase*, Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro-Oeste (SUDECO), Ministério do Interior, Brasília, Brasil, em cooperação com a Organização dos Estados Americanos (OEA), em 4 volumes, 1979.

EMBRAPA. Acumulação de metais pesados pelo uso de insumos agrícolas na microbacia de Caetés, Paty do Alferes, RJ, *Boletim de Pesquisa.* 22p., 1998.

EPA. *Water Quality Criteria*, Washington, D.C. 595 p., 1972.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro/RJ: Interciência, 2 ed., 1998.

EYSINK, G. G. J. *Subsídios para o manejo e recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados por metais pesados*. São Paulo, 177p. Dissertação (Mestrado) - Departamentos de Ecologia da USP, Universidade de São Paulo, 1995.

FACETTI, J.; DEKOV, V.M., GRIEKEN, R.VAN. *Heavy metals in sediments from the Paraguay River: a preliminary study*, The Science of the Total Environment, 209, 79-80, 1998.

FERNANDES, H.M. Heavy metal distribution in sediment and ecological risk assessment: the role of diagenetic processes in reducing metal toxicityin botton sediments *Environmental Pollution*, vol 97, n.3, pp 317-325, 1997.

FISZMAN, M.; PFERFER, W.C.; LACERDA, L. D., Comparison of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in botom sediments from Sepetiba bay**,** RJ. *Environmental Tecnology Letters*, London, v.5, p.567-575, 1984.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. *Metal pollution in the aquatic environment.* 2. ed. Berlin, Springer Verlag, 1983. 486 p.

LACERDA, L. D. *Heavy metal pollution n soil and plants o the Irajá river estuarine area in the Guanabara bay*. Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, V.42, n.1, p.89-93, 1982.

LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V.; RESENDE, C. E.; PFEIFFER, W. C.; *Mercury in sediments from the Paraíba do Sul, river continental sheff*, S.S. Brazil. Baseline, Olympia, v.26 n.4, p.220-222, 1993.

LEITE, M. A. *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema.* Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M.; AZENE, J. M. P. *Heav metal concentrations and availiability in the booton sediments of Paraíba do Sul-Guandu river system*, RJ, Brazil. Envionmental Tecnology Letters, London, v.10, p675-680, 1989.

MANAHAM, S.E. *Toxicological chemistry*. 2.ed. New York, Lewis Publisher, p. 249-251, 1992.

MARCUS, W.A. Managing contaminated sediments in aquatic environments: identification, regulation, and remediation, *Environ. Law Report*, 21, 20, 1991.

MOZETO, A.A.O. *Manejo de qualidade da água e da dinâmica do sedimento e do particulado da Represa do Guarapiranga e do Rio Grande*, RMSP, São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, projeto RHAE, 1996.

MUDROCH, A., AZCUE, J.M. *Manual of Aquatic Sediment Sampling*, Lewis Publishers, 1995.

PAGENKOPF, G.H. *Introduction to natural water chemistry*, Marcel Dekker, Inc., USA, 272p., 1978.

PAYNE, A. I. *The ecology of tropical lakes and rivers.* John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 301 p., 1986.

PCBAP – PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI , 1997, Projeto Pantanal. Brasília/DF: Programa Nacional de Meio Ambiente – PNMA, V 2, 1997.

PERIN, G., FABRIS, R., MANENTE, S., WAGENER, A.R., HAMACHER, C., SCOTTO, S. A five-year study on the heavy-metal pollution of Guanabara bay sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation. *Water Research*, vol 31, n.12, pp 3017-3028, 1997.

PRANCE, G. T., e SCHALLER, G. B. *Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso*, Brazil. *Brittonia*, 34, 228-251, 1982.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais*, Volume 27: Folha SF.21 Corumbá e parte da Folha SE 20, 1982a.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais*, Volume 28: Folha SF.21 Campo Grande, 1982b.

RADAMBRASIL. Estudo geomorfológico aplicado à bacia do Alto Paraguai e Pantanais Mato-grossenses, *Boletim Técnico, Série Geomorfologia*, p. 91-183, 1984.

RUSSEL, J.B. *Química geral*. 2.ed. São Paulo, McGraw- Hill, 1994. v.2, p.1048-1060.

SILVA, F. C.; *et al. Manual de Analises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*, Brasília/DF. EMBRAPA. 1999, 370p.

SILVA, R.C.S. *Estudos de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais*. Dissertação, Instituto de Química de São Carlos, USP, 2002.

TEIXEIRA, E. C.; SANCHEZ, J. C. D.; MIGLIAVACCA, D.; BINOTTO, R. B.; FACHEL, J. M. G. Environmental assessement: study of metals in fluvial sediments in sites impacted by coal processing and steel industry activities. *Elsevier Science Ltd.* 2000.

WETZEL, R. G. *Limnologia*. Casanova-Barcelona. Ediciones Omega S.A 680p., 1981.

ANEXOS

Quadro A1. Concentração de metais em águas.

Rio	Local	Pontos	Cr	Ag	Cu	Mn	Fe	Co	Ni	Cd	Pb	Zn
			mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}
Rio Negro	Fazenda Rio Negro	R1P01C	0,003	0,006	0,004	0,167	1,616	0,011	0,019	0,008	0,327	0,034
		R1P01P	ND	0,003	0,013	0,178	1,692	0,013	0,024	0,008	0,342	0,093
Rio Aquidauana	Fazendo Porto Ciríaco	R1P02C	0,009	0,003	0,017	0,159	3,647	0,012	0,027	0,008	0,302	0,079
		R1P02P	ND	0,004	0,023	0,090	3,120	0,010	0,021	0,008	0,376	0,130
Rio Miranda	Fazenda Guaicurus	R1P03C	0,014	0,003	0,010	0,120	2,026	0,013	0,030	0,008	0,281	0,036
		R1P03P	ND	0,004	0,009	0,084	2,487	0,012	0,022	0,009	0,299	0,040
Rio Cuiabá	Fazenda São João	R2P01P	ND	ND	ND	0,066	3,892	ND	ND	0,002	0,085	0,079
		R2P01C	ND	ND	ND	0,052	2,814	ND	ND	0,002	0,131	0,056
Rio São Lourenço	Fazenda São José do Borieu	R2P02C	ND	ND	ND	0,082	5,928	ND	ND	0,003	0,197	0,100
		R2P02P	ND	ND	ND	0,082	5,884	ND	ND	0,002	0,148	0,123
Rio Cuiabá	Montante da foz do Rio Piqueri	R2P03P	ND	ND	ND	0,045	3,202	ND	ND	0,001	0,089	0,099
Rio Piqueri	Fazenda São José do Piquiri	R2P04C	ND	ND	ND	ND	0,922	ND	ND	0,001	0,094	0,088
		R2P04P	ND	ND	ND	ND	0,951	ND	ND	0,001	0,107	0,094
Rio Cuiabá	Fazenda Porto Alegre	R2P05P	ND	ND	ND	0,024	2,719	ND	ND	0,001	0,150	0,083
Rio Cuiabá	PNPM - Posto do IBAMA	R2P06P	ND	ND	ND	0,042	2,892	ND	ND	ND	0,114	0,301
Rio Paraguai	Bela Vista do Norte	R2P07C	ND	ND	ND	0,022	1,915	ND	ND	ND	0,101	0,055
		R2P07P	ND	ND	ND	0,003	1,992	ND	ND	0,001	0,178	0,117
Rio Paraguai	Porto José Dias	R2P08P	ND	ND	ND	0,008	3,093	ND	ND	ND	0,164	0,090
Rio Paraguai	Amolar	R2P09P	ND	ND	ND	0,024	2,708	ND	ND	ND	0,167	0,212
Rio Paraguai	Porto Sucuri	R2P10P	ND	ND	ND	ND	2,562	ND	ND	ND	0,145	0,071
Rio Paraguai	Barranqueira	R2P11P	ND	ND	ND	0,001	2,656	ND	ND	ND	0,144	0,075
Canal Tamengo	Polícia Federal	R2P12C	ND	ND	ND	0,036	3,551	ND	ND	ND	0,064	0,112
		R2P12P	ND	ND	ND	0,576	3,328	ND	ND	ND	0,097	0,119
Rio Paraguai	Ladário	R2P13C	ND	ND	ND	0,018	2,801	ND	ND	ND	0,149	0,094
		R2P13P	ND	ND	ND	0,009	2,564	ND	ND	ND	0,185	0,125
Rio Paraguai-Mirim	Fazenda Caieira	R2P14C	ND	ND	ND	0,027	1,851	ND	ND	ND	0,077	0,102
		R2P14P	ND	ND	ND	0,018	1,600	ND	ND	ND	0,152	0,107
Rio Abrobal	Foz	R2P15P	ND	ND	ND	0,245	0,923	ND	ND	ND	0,083	0,170
Rio Paraguai	Montante da Foz do Abrobal	R2P16P	ND	ND	ND	0,021	2,494	ND	ND	ND	0,107	0,121
Rio Miranda	Foz	R2P17P	ND	ND	ND	0,133	3,998	ND	ND	ND	0,108	0,171
Rio Piriquitos	Foz	R2P18P	ND	ND	ND	0,017	1,049	ND	ND	ND	0,076	0,167

Rio	Local	Pontos	Cr	Ag	Cu	Mn	Fe	Co	Ni	Cd	Pb	Zn
			mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}	mg.L^{-1}
Rio Paraguai	Porto Esperança	R2P19P	ND	ND	ND	0,002	2,205	ND	ND	ND	0,046	0,310
Rio Paraguai	Forte Coimbra	R2P20P	ND	ND	ND	ND	2,135	ND	ND	ND	0,077	0,107
Rio Paraguai	Montante do Rio Negro (Paraguai)	R2P21P	ND	ND	ND	ND	2,094	ND	ND	ND	0,012	0,208
Rio Negro (Paraguai)	Foz do Rio Negro (Paraguai)	R2P22P	ND	ND	ND	0,130	2,496	ND	ND	ND	0,023	0,127
Rio Branco	Foz do Rio Branco	R2P23P	ND	ND	ND	0,077	2,793	ND	ND	ND	0,115	0,332
Rio Paraguai	Barranco Branco	R2P24P	ND	ND	0,004	0,058	3,635	ND	ND	ND	0,071	0,107
Rio Paraguai	Fecho do Morros	R2P25P	0,001	ND	0,012	0,065	4,293	ND	ND	ND	0,130	0,060
Rio Paraguai	Montante de Porto Murtinho	R2P26P	ND	ND	0,019	0,072	4,400	ND	0,002	ND	0,076	0,100
Rio Paraguai	Porto Murtinho	R2P27P	ND	ND	0,024	0,068	4,364	ND	ND	ND	0,194	0,098
		R2P27C	ND	ND	0,022	0,070	4,123	ND	ND	ND	0,181	0,110
Rio Paraguai	Montante do Rio Apa	R2P28P	ND	ND	0,024	0,055	4,111	ND	ND	ND	0,193	0,313
Rio Apa	Foz do Rio Apa	R2P29P	ND	ND	0,024	0,114	4,958	ND	ND	ND	0,122	0,094
		R2P29C	ND	ND	0,026	0,115	4,936	ND	ND	ND	0,175	0,103
Rio São Lourenço	São Lourenço de Fátima	R3P01P	ND	ND	0,006	0,107	7,249	ND	ND	ND	0,164	0,165
		R3P01C	ND	ND	0,039	0,042	2,230	ND	ND	ND	0,192	0,106
Rio Vermelho	Montante do Rio São Lourenço	R3P02P	0,025	ND	0,032	0,940	34,891	ND	ND	0,001	0,245	0,224
Rio Taquari	Montante da Foz do Coxim	R3P03C	0,010	0,007	0,019	0,132	6,249	0,011	0,020	0,004	0,163	0,118
		R3P03P	ND	ND	0,006	0,176	7,154	ND	ND	ND	0,140	0,165
Rio Coxim	Foz do Rio Coxim	R3P04C	0,017	0,018	0,034	0,302	4,916	0,029	0,039	0,012	0,344	0,114
		R3P04P	ND	ND	0,031	0,522	21,567	ND	ND	ND	0,169	0,189
Rio Itiquira	Fazenda Porto Seguro	R3P05C	ND	ND	ND	0,059	3,617	ND	ND	ND	0,105	0,116
		R3P05P	ND	ND	ND	0,045	2,355	ND	ND	ND	0,113	0,136
Rio Piqueri	Montante do Corrente	R3P06C	ND	ND	ND	0,095	4,392	ND	ND	ND	0,117	0,241
		R3P06P	ND	ND	ND	0,096	4,492	ND	ND	ND	0,143	0,221
Rio Correntes	UHE Ponte de Pedra	R3P07C	0,015	0,015	0,016	0,086	5,652	0,011	0,029	0,004	0,227	0,072
		R3P07P	ND	ND	ND	0,003	0,881	ND	ND	ND	0,110	0,092

ND: Não Detectado

Quadro A2. Concentração de metais em sedimentos.

Pontos de coleta	Camada	Ca	Al	Mg	Fe	Cr	Ni	Cu	Pb	Mn	Co	Cd	Zn
	cm	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps
R1P01-1	0 - 4	125	2978	372	1030	5,4	6,7	5,8	9,0	351	13,9	1,2	23,9
R1P01-2	4 -8	98	2725	361	1008	5,2	6,0	5,3	8,4	305	11,9	1,4	23,1
R1P01-3	8 - 12	127	3295	281	998	5,4	6,1	5,1	8,5	359	11,6	1,2	23,1
R1P02-1	0 - 4	154	7439	1303	1201	12,4	20,0	45,2	14,9	323	25,0	1,9	48,4
R1P02-2	4 -8	166	6085	1069	1095	11,3	16,7	36,6	12,1	289	21,7	1,6	43,1
R1P02-3	8 - 12	203	6030	1082	1072	10,5	16,0	35,1	12,5	277	21,9	1,8	43,5
R1P03-1	0 -3	156	4081	894	921	7,5	9,3	12,0	6,8	151	9,8	0,9	27,0
R1P03-2	3 - 6	167	5790	1388	1004	12,1	14,7	19,2	14,8	216	17,4	1,6	40,9
R1P03-3	6 -9	211	6696	1640	959	10,9	16,4	23,1	18,4	345	21,8	1,3	40,0
R2P01-1	0 - 5	220	6059	1272	4769	25,9	18,8	14,9	21,6	250	17,5	1,2	45,9
R2P01-2	5 - 10	208	5534	1095	4688	25,1	17,1	14,0	20,1	243	17,2	1,3	45,3
R2P01-3	10 - 15	207	5006	1074	4599	20,5	14,0	11,1	18,3	243	16,0	1,4	44,5
R2P02-1	0 - 4	211	4455	1015	4562	24,4	13,7	12,2	15,9	239	17,1	1,3	39,6
R2P02-2	4 -8	211	4298	936	4479	22,7	13,3	11,9	16,4	234	16,4	1,1	39,3
R2P02-3	8 - 12	207	3701	815	4408	19,3	10,9	9,9	12,9	218	13,9	1,1	34,5
R2P04-1	0 - 4	157	5560	587	4289	20,2	16,1	14,3	18,2	196	18,1	1,0	36,8
R2P04-2	4 -8	149	5418	542	5063	22,4	15,8	12,0	19,1	234	20,4	1,0	34,3
R2P04-3	8 - 12	145	4632	447	5003	19,3	13,2	10,2	16,6	225	18,0	1,0	31,3
R2P07-1	0 - 5	210	5073	865	4916	21,5	14,1	13,2	16,6	209	13,4	0,9	36,0
R2P07-2	5 - 10	205	5856	999	4891	23,9	15,2	14,2	18,4	240	15,9	1,1	44,4
R2P07-3	10 - 15	209	4035	689	4779	17,3	10,4	10,1	13,8	203	11,3	0,8	30,9
R2P12-1	0 - 4	216	1861	513	4753	9,9	5,7	5,2	8,5	236	10,3	0,6	31,9
R2P12-2	4 -8	213	2306	582	4724	10,9	6,5	6,0	9,7	242	11,0	0,7	34,9
R2P12-3	8 - 12	208	3334	652	4717	15,1	9,0	7,2	12,8	251	15,4	1,1	39,6
R2P13-1	0 - 4	212	4567	834	4645	19,8	10,2	10,1	17,8	229	16,3	1,1	39,7
R2P13-2	4 -8	211	4898	857	4587	18,6	10,3	10,4	17,1	232	16,0	1,1	38,2

Pontos de coleta	Camada	Ca	Al	Mg	Fe	Cr	Ni	Cu	Pb	Mn	Co	Cd	Zn
	cm	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps
R2P13-3	8 - 12	211	4809	790	5006	22,0	12,6	9,5	18,5	261	17,5	1,5	39,8
R2P14-1	0 - 5	204	5017	864	4953	19,8	11,8	15,2	18,4	272	19,7	1,4	39,3
R2P14-2	5 - 10	200	6296	1067	4938	21,1	14,1	14,9	20,0	281	30,2	1,6	39,2
R2P14-3	10 - 15	209	5200	898	4888	19,1	11,8	12,6	17,4	279	23,9	1,3	37,5
R2P22-1	0 - 5	196	2655	846	4651	11,2	6,8	7,5	12,1	188	11,0	1,3	32,4
R2P22-2	5 - 10	199	3625	983	4670	14,1	9,1	8,7	13,9	190	12,5	1,3	38,0
R2P22-3	10 - 15	193	2603	788	4635	10,7	6,8	7,4	12,5	180	11,2	1,3	35,3
R2P27-1	0 - 5	199	3356	791	4780	13,8	8,2	6,6	12,8	245	12,7	1,2	32,5
R2P27-2	5 - 10	201	1254	377	4324	6,8	4,3	2,6	8,5	147	7,6	1,2	27,2
R2P27-3	10 - 15	193	2272	559	4746	10,4	6,4	5,0	10,8	226	10,0	1,3	29,6
R2P29-1	0 - 4	183	6875	1471	4847	22,6	17,0	24,0	21,5	276	20,5	1,7	43,1
R2P29-2	4 -8	204	7261	1564	4800	24,2	18,3	26,2	22,1	276	21,3	1,7	44,4
R2P29-3	8 - 12	208	6185	1197	4747	19,2	14,0	19,9	18,6	253	16,4	1,5	39,6
R3P01-1	0 - 5	178	3511	664	807	8,7	12,7	7,9	10,5	200	10,3	0,1	30,4
R3P01-2	5 - 10	210	4071	669	816	9,4	11,6	7,4	10,8	183	9,9	0,0	29,1
R3P01-3	10 - 15	217	5349	979	847	12,5	17,8	10,9	25,0	291	21,8	2,2	49,6
R3P02-1	0 - 5	193	2336	549	804	12,8	16,5	10,8	22,5	336	20,5	2,0	45,8
R3P02-2	5 - 10	213	5502	1200	821	13,8	16,7	11,1	25,2	325	22,4	2,5	48,9
R3P02-3	10 - 15	212	4901	1059	771	13,0	15,9	10,4	22,4	303	20,8	2,2	45,7
R3P03-1	0 - 5	200	4743	919	677	8,3	11,2	5,9	17,4	250	12,5	1,6	29,3
R3P03-2	5 - 10	212	5527	1145	686	9,4	12,1	6,4	19,7	316	16,4	2,1	32,4
R3P03-3	10 - 15	204	5524	1204	649	9,1	12,0	5,8	18,0	289	15,0	2,0	28,4
R3P04-1	0 - 8	213	2951	977	601	3,6	6,0	7,6	13,8	170	11,8	1,7	22,1
R3P04-2	8 - 16	211	2766	908	586	4,2	6,4	8,2	14,9	141	11,1	1,7	23,6
R3P04-3	16 - 24	204	3954	1221	581	5,9	8,5	21,6	17,2	99	10,5	1,7	32,7
R3P05-1	0 - 5	111	3300	438	549	2,9	7,0	5,3	13,6	117	11,4	1,3	19,6
R3P05-2	5 - 10	88	2411	359	526	2,7	6,4	4,2	14,4	73	8,6	1,5	20,0
R3P05-3	10 - 15	136	3727	597	535	4,0	8,6	6,0	17,0	155	12,9	1,7	24,8

Pontos de coleta	Camada	Ca	Al	Mg	Fe	Cr	Ni	Cu	Pb	Mn	Co	Cd	Zn
	cm	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps	mg.kg^{-1} ps
R3P06-1	0 - 6	192	4857	880	546	7,7	12,8	7,3	20,2	351	22,6	1,9	40,3
R3P06-2	6 - 12	169	4058	668	532	6,6	11,7	6,3	18,3	351	21,7	1,6	36,8
R3P06-3	12 - 18	143	4518	748	525	6,2	10,2	5,7	17,0	249	18,9	1,5	35,4
R3P07-1	0 - 6	40	8607	302	538	9,1	15,7	15,2	29,6	93	16,6	1,7	31,9
R3P07-2	6 - 12	58	7667	173	454	2,0	12,3	14,3	21,2	72	10,8	1,3	26,6
R3P07-3	12 - 18	35	8339	160	497	7,5	13,9	7,8	24,2	63	12,9	1,2	25,0

Figura A1. Amostra de sedimento coleta pelo amostrador "Core".

Figura A2. Extrator de amostra "Core".

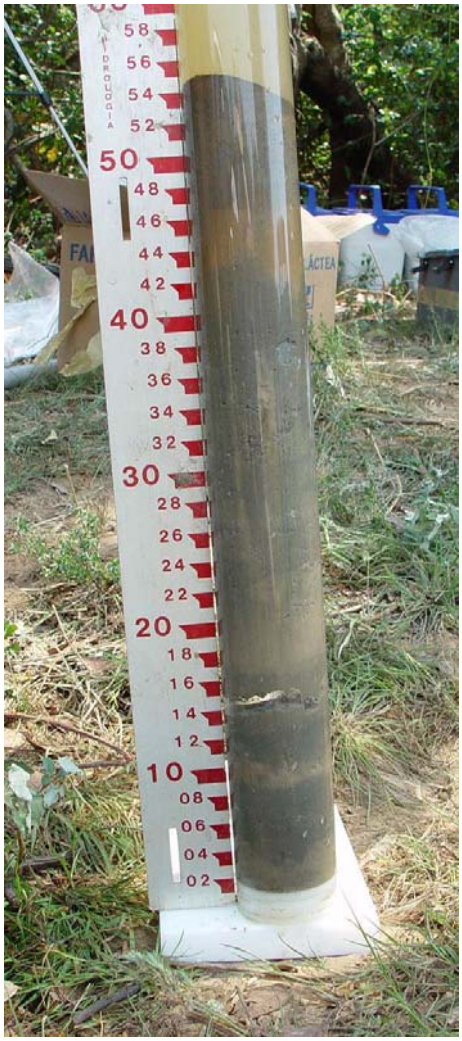


Figura A3. Perfil da amostra de sedimentos.