UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI
EM CORUMBÁ (ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL)**

Características Físicas, Físico-Químicas e Químicas

Gisela Angelina Levatti Alexandre

Orientadora: Profa. Dra. Mária Szikszay

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo
1982

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	
1.1. A Área de Estudo	1
1.2. Revisão Bibliográfica	4
1.3. Objetivos do Estudo	7
2. MEIO FÍSICO	
2.1. O Clima	8
2.1.1. Ventos	9
2.1.2. Precipitações	9
2.1.3. Umidade relativa do ar	9
2.1.4. Temperatura	12
2.2. Relevo	12
2.3. Solos	14
2.4. Vegetação	15
2.5. Geologia	15
2.6. Hidrografia	25
2.6.1. As lagoas	25
2.6.2. Principais rios da Bacia do Alto Paraguai a montante de Corumbá, MS	27
3. METODOLOGIA	
3.1. Coletas de Amostras de Água	31
3.2. Análises das Águas	33
3.2.1. Elementos e compostos	33
3.2.2. Material em suspensão e em solução	33
3.3. Tratamento dos Dados	34
3.3.1. Climáticos	34
3.3.2. Vazão	35
3.3.3. Das Análises	35

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1. Elementos e Compostos	37
4.2. Relações Características	59
4.3. Variações no Comportamento do Rio Paraguai em Corumbá	64
4.3.1. Vazão	64
4.3.2. Material em Suspensão	66
4.3.3. Resíduo Seco	69
4.4. Efeitos do Material Transportado pelo Rio Paraguai no alto curso	72
5. COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DO ESTUDO COM OUTRAS REGIÕES	75
6. CONCLUSÕES	79
7. BIBLIOGRAFIA	81

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Dados Meteorológicos do Período de Abril/79 a Setembro/80 levantados no município de <u>Co</u> rumbá (Rio Paraguai)	10
TABELA 2 - Resultados das Medidas dos Principais <u>Elemen</u> tos e Compostos (em mg/l) nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	38
TABELA 3 - Elementos Menores Presentes nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá (em mg/l)	39
TABELA 4 - Porcentagens de Ca, Mg e Na + K (em meq/l) nas águas do Rio Paraguai	57
TABELA 5 - Porcentagens de HCO_3 + CO_3 , Cl + NO_3 e SO_4 (em meq/l) nas águas do Rio Paraguai	58
TABELA 6 - Relações Mg/Ca e K/Na nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá (em meq/l)	62
TABELA 7 - Dados de Variações de Vazão, pH, Temperatura, da Água e Material Transportado nas Águas do Rio Paraguai e Precipitações, em Corumbá	67
TABELA 8 - Elementos e Compostos Retirados Anualmente da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai a <u>mon</u> tante de Corumbá (Área Drenada, aproximada = 250.000 km ²)	73
TABELA 9 - Rio Paraguai em Corumbá - Comparações com Rios Brasileiros, da América do Sul e do Mundo (mg/l)	76

ÍNDICE DAS FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Bacia do Alto Paraguai	2
FIGURA 2 - Vazão Estimada do Rio Paraguai e Precipitação em Corumbá- MS	11
FIGURA 3 - Esboço Geológico do SE de Mato Grosso	16
FIGURA 4 - Variação dos Teores de Cálcio e Magnésio nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá - MS	41
FIGURA 5 - Variação dos Teores de Sódio e Potássio nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá-MS	44
FIGURA 6 - Variação do Teor de Alumínio nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	47
FIGURA 7 - Variação dos Teores de Ferro e Sílica nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	50
FIGURA 8 - Variação dos Teores de Bicarbonato e Sulfato nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	52
FIGURA 9 - Variação dos Teores de Cloreto e Nitrato nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	55
FIGURA 10 - Classificação das Águas do Rio Paraguai em Corumbá (MS), no Período de Abril/1979 a Setembro/1980	60
FIGURA 11 - Variação das Relações Potássio/Sódio e Magnésio/Cálcio nas Águas do Rio Paraguai em Corumbá	63

Página

FIGURA 12 - Variação do pH com a vazão estimada do Rio Paraguai e Precipitação em Corumbá-MS	65
FIGURA 13 - Variação do Material Transportado em suspensão pelo Rio Paraguai	68
FIGURA 14 - Relação Material Transportado em Suspensão x Vazão nas Águas do Rio Paraguai	70
FIGURA 15 - Variação do Material Transportado em Solução nas Águas do Rio Paraguai	71

AGRADECIMENTOS

Pela colaboração recebida durante a execução deste trabalho queremos agradecer:

- Ao Serviço de Sinalização Náutica do Oeste, na Base Fluvial de Ladário, Serviço de Proteção ao Vôo de Corumbá, órgão vinculado ao Ministério da Aeronáutica, e ao Serviço de Navegação da Bacia do Prata S/A, por nos cederem informações sobre o clima e fluviometria;
- Ao Moinho Matogrossense e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária que permitiram a realização de análises;
- Ao Centro Universitário de Corumbá-U.F.M.S., pela oportunidade que nos foi oferecida;
- Ao Conselho Nacional de Pesquisa pelo auxílio financeiro;
- Ao Senhor Claudio de Almeida Conceição pelas sugestões a respeito de Botânica e Ecologia do Pantanal Matogrossense;
- À equipe que colaborou nas coletas das águas: Senhor Arnaldo L. Levatti e Senhora Elza A. Levatti;
- A Senhorita Faine Pinto de Arruda pelo auxílio na composição deste trabalho e a Senhora Claudete Salinas Franzosi pelo serviço de datilografia.
- Ao apoio e carinho recebido pela minha família, pelo tempo que deixei de lhes dedicar.

Nossos agradecimentos à Dra. MÁRIA SZIKSZAY pelo acompanhamento paciente que nos dedicou durante a execução deste trabalho, a quem reconhecemos a amizade e compreensão.

A

Luiz Carlos da Silva Alexandre

1. INTRODUÇÃO

1.1. A área do estudo

A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraguai tem, a montante do Rio Apa, uma extensão estimada em 496.000 km^2 , dos quais 336.000 km^2 aproximadamente estão em território brasileiro (Ministério do Interior, 1974a) mais precisamente nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

É limitada ao norte pela Serra dos Parecis, no leste pelas Serras de Maracajú, Caiapó, Saudade e Azul, ao oeste pelas Serras de Santa Barbara, Aguapei, Salinas, Sunsas e Santiago, afunilando-se ao sul pela presença da Serra da Bodoquena, até encontrar o Rio Apa, na fronteira com o Paraguai (figura 1).

Convergem os rios dessa bacia, a montante do Rio Apa, para a região conhecida como Pantanal Matogrossense, extensa planície situada entre as latitudes 17° e 22° S e longitudes 54 e 59° W , apresentando pequena inclinação, em média $2,2 \text{ cm/km}$, onde os rios apresentam grande sinuosidade.

A planície do Pantanal apresenta grande regularidade quanto ao seu relevo, pois suas altitudes variam de 70m até o valor de 200m acima do nível do mar, correspondendo este último, aproximadamente, aos seus limites topográficos.

Morros isolados erguem-se na planura monótona da região, com altitudes que variam de poucas dezenas de metros até 400m acima do nível da planície. Valores maiores constituem exceção, como o Morro Grande, no Maciço do Urucum com a altitude de 1065m (Moreira, 1977).

A diferença entre o débito máximo e o mínimo das águas do Rio Paraguai é muito pequena em comparação com outros

rios brasileiros. As cheias ocorridas no período de observações, em Corumbá, não ultrapassaram valores superiores a 4,51 m (em 1979) acima dos níveis registrados nos períodos de estiagem. A pluviosidade é menor que a da Bacia Amazônica, sendo muito grande a diferença entre as estações de estiagem e de cheia.

Com vegetação rica e variada, todos os tipos vegetais do continente são encontrados no Pantanal Matogrossense, onde igualmente rica é a fauna.

Toda a planície é conhecida por Pantanal Matogrossense, mas essa atribuição é parcialmente incorreta, constituindo-se pantanal, ou seja regiões que não secam antes do começo da estação das chuvas, apenas uma parcela da mesma. Atualmente a região está passando por um período de cheias anuais iniciado em 1973.

O Rio Paraguai é muito extenso, e por isso apresenta um regime variado em cada região por onde passa. Assim é que em Cáceres, ao norte, as cheias ocorrem normalmente de dezembro a março (Ministério do Interior, op.cit.), mais relacionadas à pluviosidade local do que nas regiões à jusante, como em Corumbá, onde a cota máxima do ano é atingida durante os meses de maio a junho e a mínima ocorre entre os meses de dezembro e janeiro.

Anotações diárias do nível do Rio Paraguai vem sendo registradas desde o ano de 1900, pelo Serviço de Sinalização Náutica do Oeste, na Base Fluvial de Ladário. Segundo o Livro de Registro Diário a maior enchente no Pantanal ocorreu em 1905, quando o nível do Rio Paraguai naquele ponto atingiu a marca de 6,62m (*).

(*) O "zero" da régua de Ladário está a 82,15 m acima do nível do mar. Essa régua indica valores relativos, já que o ponto zero está aproximadamente a 4,60 m do leito do Rio Paraguai naquele ponto (Ministério do Interior op.cit.).

Além da enchente de 1905, foram registradas, em Ladário, enchentes excepcionais em 1913, 1920, 1932, 1949, 1959 e 1982, quando foram registradas as marcas, respectivamente, de 6,39; 6,37; 5,98; 5,90 e 6,52 metros. Um fato interessante é que não existe relação alguma entre as enchentes citadas, ou seja não foram detectados ciclos de cheias.

A importância econômica do Rio Paraguai para a economia da região é marcante. O mais econômico meio de transporte, que é o fluvial, infelizmente ainda não explorado racionalmente, possibilita o escoamento da produção mineral da região do Urucum (ferro e manganês), e do cimento produzido em Corumbá e distribuído para o norte do estado e Mato Grosso, e exportado para o Paraguai. O gado criado extensivamente nas inúmeras fazendas que se distribuem na planície, é transportado via fluvial, até um terminal em Ladário, de onde sai, pela ferrovia, para ser distribuído aos grandes centros. Completamente ilhadas nos períodos de enchentes, as fazendas podem utilizar o rio como único meio de transporte e comunicação.

Apesar de muitas distorções a respeito de sua navegabilidade, o Rio Paraguai, entre Corumbá e a foz no Rio Paraná, apresenta uma profundidade média do leito, de 7 metros (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de SP, 1980), o que faz dele excelente via de transporte, desde que os calados das embarcações sejam dimensionados adequadamente.

1.2. Revisão bibliográfica

Estudos sobre a composição das águas dos rios, relacionados à litologia, vem sendo realizados em outros países, há muito tempo. Entre os principais cita-se o trabalho de Clarke (1924) que apresenta as composições dos rios e lagos dos Estados Unidos e Canadá, referentes aos elementos maiores e dados quantitativos das descargas sólidas das espécies dissolvidas, relacionando alguns fatores, como litologia e poluição, para justificar

valores anormais encontrados nas concentrações.

Alguns trabalhos apresentam o comportamento dos constituintes nas águas naturais. Okamoto, Okura e Goto (1957) a apresentam dados comprovando a influência do alumínio no comportamento da sílica. Segundo esse autor uma pequena quantidade de a lumínio presente nas águas é suficiente para precipitar a sílica coloidal, enquanto que a sílica dispersa molecularmente necessita de uma quantidade maior. Esses resultados são criticados por Davis (1964), pelo fato de ser muito pequena a quantidade de alumínio presente nas águas naturais e a quantidade para precipitar a sílica seria muito grande.

Durum e Hafty (1963) apresentam as variações de elementos menores em vários rios do mundo e nas principais bacias de drenagem da América do Norte, comparando as concentrações desses elementos na costa Pacífica e costa Atlântica.

Os dados que atualmente são utilizados como padrão para comparações em trabalhos relacionados às variações na composição dos rios, são apresentados por Livingstone (1963) em trabalho que cita as composições de rios e lagos do mundo. O autor apresenta análises de elementos maiores, menores e traços, e composição isotópica e matéria orgânica, referentes a todos os continentes e à média dos mesmos, bem como a denudação química desses continentes.

São poucos os trabalhos realizados no Brasil relacionando a composição das águas superficiais com a litologia, e conseqüentemente fornecendo dados sobre a denudação. Nos dados apresentados por Livingstone (1963) são citados os dados de Campos Paiva sobre a composição das águas de uma lagoa em Mato Grosso e Katzer sobre o Rio Amazonas e seus tributários Xingu e Tapajós.

O material transportado em suspensão pelo Rio Ama

zonas foi estudado por Gibbs (1967), que analisou os sólidos qualitativa e quantitativamente, comparando os resultados com o ambiente de alteração, clima e litologia. Esse autor verificou a predominância do intemperismo físico nas regiões montanhosas e o controle, nesse ambiente, das quantidades de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e outros minerais, e em ambientes tropicais, de baixos relevos, a predominância do intemperismo químico, onde as rochas ígneas e metamórficas determinam as porcentagens de caolinita e gibbsita.

Povinelli e Paraguassú (1966) estudaram as águas da região de São Carlos quanto ao pH, condutividade, dureza e conteúdo em ferro e relacionaram as composições das águas dos rios com a litologia e o clima da região.

Szikszy (1972) fornece dados relativos à composição química das águas de rios da Bacia do Paran. Seus estudos visaram os elementos maiores, menores e traços contidos nas águas, suas relações com a litologia da área drenada e o clima. A quantidade de material dissolvido removida por esses rios é apresentada, comparando os resultados com outros rios sul americanos e do mundo.

O trabalho mais recente foi realizado no Estado do Paran, por Bittencourt (1978), que através de um estudo integrado da alteração das rochas e do material transportado em suspensão e em solução pelos rios da bacia do Rio Iva, quantificou a denudao que vem se processando na regio noroeste daquele estado.

A organizao dos Estados Americanos (1969) apresenta um estudo de descrio geral da Bacia do Prata, incluindo dados gerais, hidrolgicos e climticos, relativos ao alto curso do Rio Paraguai.

O Ministrio do Interior (1974) realizou um levantamento

tamento com vistas principalmente à caracterização hidrológica da bacia do alto Rio Paraguai, fornecendo algumas análises de suas águas, sem entretanto discutí-las, além de realizá-las em um ciclo de secas, cuja representatividade é específica para aquele momento.

No que se refere ao Pantanal Matogrossense foram esses dois os trabalhos hidrogeoquímicos realizados.

1.3. Objetivos do estudo

A escassez, no Brasil, de trabalhos que correlacionam a composição das águas de rios com o clima e a litologia drenada pelos mesmos, e a inexistência dos mesmos na região do Pantanal Matogrossense constitui o principal motivo da realização deste estudo.

Constituindo uma unidade de características bastante diferentes de outras regiões brasileiras, o Rio Paraguai no seu alto curso não dispõe de estudos sistemáticos que caracterizem seu comportamento em relação à litologia e clima.

Este trabalho tem por objetivo a quantificação do material dissolvido e em suspensão transportado pelas águas do Rio Paraguai no seu alto curso; as variações na composição dessas águas, decorrentes das diversas estações climáticas e as respectivas relações com a litologia da bacia hidrográfica.

Com a análise do material transportado foi possível estimar a denudação e a evolução dos processos erosivos que se processam na bacia, num período que antecede a sua exploração agrícola intensa.

2. MEIO FÍSICO

2.1. O clima

Constitui a Planície, chamada por Pantanal Mato grossense, uma região de baixa pressão, com um clima, em geral, quente e semi-úmido (Nimer, 1977). Por ser aberta ao sul permite a invasão de frentes frias que causam bruscas quedas de temperatura nos meses de inverno.

Em consequência da seca, durante o inverno, a temperatura se eleva a valores próximos aos registrados nos meses de verão. Somente o mês de julho é considerado não quente, sendo classificados de pouco frescos os meses de maio a agosto (Serra, 1975), constituindo o Pantanal um núcleo onde ocorrem temperaturas de até 42°C. Segundo estudos realizados por Santos e Brino (1975), a saturação do solo, na região de Corumbá, inicia-se em janeiro, período de maiores precipitações, e a partir de fevereiro a água do solo começa a ser retirada, atingindo o deficit máximo em outubro, quando iniciam as precipitações, ou seja, na maior parte do ano o solo da região fica submetido a um deficit de umidade. Considerando-se que Corumbá é um dos pontos onde ocorrem menores pluviosidades dentro do Pantanal, não se pretende aqui generalizar os dados climatológicos válidos para o município de Corumbá e estendê-los à imensa planície, tão extensa e com tantas variações, sujeita ao clima amazônico ao norte e com diversas influências regionais.

Assim é que os dados contidos neste trabalho, sobre o clima, prestam-se mais a comparações quanto às variações que ocorrem anualmente, que é um dos objetivos do mesmo.

Durante o período de coleta de dados em Corumbá durante os anos de 1979 e 1980, observou-se as variações dos ventos, precipitações, temperatura do ar e umidade relativa do ar

(Tabela 1).

2.1.1. Ventos

Predominam na região do Pantanal Matogrossense os ventos de direções sul, quando penetram as frentes frias, norte e nordeste. A velocidade média dos ventos é de 16 km/h e a máxima verificada no período de observações foi de 24 km/ por hora (Serviço de Proteção ao vôo de Corumbá, 1980).

É importante observar a influência da direção dos ventos no período das cheias de março a julho em Corumbá, quando as águas estão cobrindo os campos. Nesse período a camada argilosa que cobre as áreas inundadas, rica em matéria orgânica em decomposição, é revolvida, em processo que é favorecido pelos ventos, e trazida para o leito do rio, aumentando o consumo de oxigênio e provocando a morte de imensa quantidade de peixes, por asfixia.

2.1.2. Precipitações

O período de maior intensidade pluviométrica, em Corumbá, vai de novembro a março (figura 2). O total das precipitações no ano de 1979 foi de 830 mm e no ano de 1980 foi de 1058 mm, sendo junho o mês de menor pluviosidade (tabela 1).

2.1.3. Umidade relativa do ar

Durante o período de abril de 1979 e setembro de 1980 a média anual da umidade relativa do ar foi de 71% (Serviço de proteção ao Vôo de Corumbá, 1980), por esse valor classifica-se o clima regional como sub-úmido, tendo se verificado variações de 60 a 76% (tabela 1).

MÊS	TEMPERATURA MÁXIMA DO AR °C (MÉDIA)	TEMPERATURA MÍNIMA DO AR °C (MÉDIA)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)
ABR/79	25,1	20,6	75	33,7
MAI	28,1	16,7	70	19,1
JUN	24,4	14,8	76	0,0
JUL	26,0	18,0	66	18,0
AGO	30,6	22,6	67	21,3
SET	27,2	21,6	60	16,8
OUT	32,6	23,0	71	62,4
NOV	30,7	21,0	72	121,8
DEZ	32,1	23,7	74	224,7
JAN/80	30,9	22,2	71	157,5
FEV	31,0	24,6	76	142,6
MAR	31,3	23,8	75	150,1
ABR	30,4	23,1	72	81,2
MAI	26,1	20,2	73	37,2
JUN	23,6	18,5	72	18,2
JUL	25,5	19,3	69	18,8
AGO	27,5	18,8	64	5,6
SET	27,8	19,8	65	50,6

TABELA 1 - Dados Meteorológicos do Período de Abril/79 a Setembro/80 levantados no município de Corumbá (Rio Paraguai).

Dados do Serviço de Proteção ao Vôo de Corumbá (1980).

FIGURA 2

VAZÃO ESTIMADA DO RIO PARAGUAI E PRECIPITAÇÃO EM CORUMBA' - MS

2.1.4. Temperatura

Durante o período de amostragens a média anual das temperaturas máximas do ar, em Corumbá, foi de 29,1°C e para as mínimas a média foi de 21,3°C (tabela 1).

Entretanto a amplitude térmica no Pantanal é muito grande em função da sua localização. No sul, durante o inverno, são registradas temperaturas abaixo de zero e no verão ocorrem temperaturas de até 42°C. Outro fator observado na região pelos antigos moradores, é de que a partir do ciclo de cheias pelo qual passa a planície, desde 1973, o clima muito se modificou, não tendo se registrado temperaturas acima de 40°C e no inverno as temperaturas não são tão baixas, reduzindo assim a amplitude térmica regional.

2.2. Relevo

Localizada em cotas bastante baixas para uma região interior do continente, a Planície do Pantanal apresenta pequena inclinação em direção ao sul, sendo esse fator um dos principais responsáveis pelas enchentes periódicas, e conseqüente acúmulo de sedimentos que vem se processando desde o Pleistoceno (Almeida, 1965).

No norte as cotas da planície, em relação ao nível do mar, estão em torno de 120 m, na cidade de Cáceres, o Rio Paraguai tem cota de 109,34 m (Ministério do Interior, op.cit.), no sul as cotas chegam perto dos 70 m, como em Porto Murtinho.

Considerando-se a extensão do Rio Paraguai a montante do Rio Apa como 1270 km, temos uma inclinação média, para esse trecho da planície, em torno de 3 cm/km, sendo que essa inclinação diminua à jusante de Corumbá.

Ao sul encontra-se a Serra da Bodoquena, constituída por calcários do Grupo Corumbá, cuja drenagem converge abaixo do ponto de amostragens, não influenciando, pelo menos de maneira direta, os resultados deste trabalho.

Nas áreas das grandes lagoas erguem-se morros constituídos por xistos, quartzitos e metaconglomerados que compõem as Serras do Amolar e Bonfim (Almeida, op.cit.). Igualmente distinto no relevo notam-se as elevações que formam o Maciço do Urucum: o Morro do Urucum com altitude de 971 m; serra Santa Cruz, com altitude de 1065 m, as Serras do Rabicho, Piraputangas e Tromba dos Macacos, todas constituídas predominantemente por rochas do Grupo Jacadigo, mais resistentes à erosão, motivo pelo qual preservam-se do trabalho destrutivo que agiu sobre as demais formações.

Pequenas elevações constituem as chamadas "cordilheiras", com poucos metros acima do nível da planície, compostas principalmente por sedimentos parcialmente consolidados, que se comportam como verdadeiros diques, obstruindo o escoamento das águas que invadem os campos nas cheias.

Alguns morros isolados sobressaem na planura. Constituem-se de quartzitos, calcários, arenitos silicificados e dolomitos. Predominam os calcários, onde, como na Serra da Bodoquena, não se desenvolveu um típico "Karst" (Almeida, op.cit.).

A planície limita-se ao leste com o Planalto dos Acanitilados, através das Serras de Maracajú e São Jerônimo, cujas feições se prolongam até o nordeste onde se localiza a Chapada dos Guimarães e ao norte a Chapada dos Parecis (figura 1) feições estas constituídas principalmente de "cuestas". No oeste, do lado boliviano, as "Serranias de Sunsas" (Moreira, 1977) e Serra de Santiago completam o contorno do Pantanal Matogrossense.

A origem da Planície do Pantanal está associada,

provavelmente, à orogenia andina (Correia, 1979) e desde o Pleistoceno vem se desenvolvendo, com concomitante subsidência da região e deposição dos sedimentos predominantemente fluviais sobre partes do geossinclínio Paraguaio e Craton Guaporé.

A espessura dos sedimentos depositados na planície varia muito, podendo atingir a casa de várias centenas de metros. Dessa forma paralelamente à deposição a subsidência rebaihou a base de sedimentação atual a níveis muito abaixo do nível do mar (Almeida, op.cit.).

2.3. Solos

Na região do Pantanal predominam os solos com baixos teores de argila, bastante arenosos, que retêm pouca água (Ministério do Interior, 1979). São os planossolos distróficos e eutróficos, com textura arenosa média, e laterita hidromórfica, distrófica, com textura média argilosa, além de areia quartzosa eutrófica.

Nos chapadões que margeiam a planície aparecem os latossolos vermelhos escuros distróficos, com textura argilosa média e areia quartzosa distrófica.

Na Serra dos Parecis os latossolos vermelhos escuros distróficos, com textura muito argilosa e argilosa média compõem a região que vem sendo mais intensamente explorada agricolamente.

No noroeste as águas da bacia drenam terrenos compostos por latossolos distróficos e podzólicos vermelho-amarelo, além das areias quartzosas distróficas.

2.4. Vegetação

Nas cabeceiras dos tributários do Rio Paraguai predominam os bosques e florestas. Na planície distinguem-se:

a) Campos Limpos - onde predominam as gramíneas nativas, que tornam essa área excelente para a criação extensiva de gado.

b) Campos "Sujos" - onde predominam as gramíneas e arbustos nativos e invasores.

c) Formações Isoladas e matas ciliadas - acompanham os leitos dos rios. São os capões ou matas de galeria. Próximo ao leito do Rio Paraguai encontra-se uma formação rica em plantas aquáticas, da família das Pontederiaceae, cuja dispersão é notada durante as enchentes, descendo, por flutuação, rio abaixo após as mesmas. São os conhecidos "camalotes", que durante a vazante são decompostos no solo, enriquecendo-o de matéria orgânica.

Nas pequenas elevações, em função da natureza do solo, encontram-se vegetações típicas do agreste nordestino, como cactáceas, bromeliáceas e também vegetação típica do cerrado, como cactáceas, por exemplo o mandacarú, bromeliácea, como o caraguatã, gramíneas e ciperáceas, esta última indicando altos teores de alumínio no solo.

Nas regiões alagadiças a vegetação se compõe de árvores, além de componentes arbustivos, herbáceos, incluindo as gramíneas e ciperáceas.

2.5. Geologia

Antes de chegarem ao ponto de coletas, as águas

Figura 3

Esboço geológico do SE de Mato Grosso

(OLIVATTI, 1.981)

drenam terrenos constituídos por rochas desde o complexo basal brasileiro até os depósitos quaternários que constituem os aluviões da planície de inundação do Rio Paraguai e seus afluentes:

Complexo Basal

Aflora em pontos isolados da planície, reaparecendo ao norte na Chapada dos Parecis, no Estado de Mato Grosso. Aparece em território boliviano, no noroeste do Pantanal com os nomes de Grupo Granulita e Complejo Paragneis (Figura 3).

Apresenta-se constituído principalmente por biotita gnaisses, xistos, quartzitos, migmatitos e leptinitos, com intrusões de granitos, tonalitos, adamelitos, anfibolitos, gabros e serpentinitos.

Os biotita gnaisses compõem-se de quartzo, plagioclásio, microclínio e biotita, com acessórios zircão, apatita e titanita (Correia, 1979). Os gnaisses muscovíticos tem granulação média, textura granoblástica e estrutura gnáissica com microbandas de muscovita, quartzo e feldspato.

Os leptinitos apresentam geralmente granulação fina, textura granoblástica e estrutura comumente maciça. São constituídos principalmente por quartzo, plagioclásio e microclínio.

Intrusivas Básicas e Ultrabásicas

Na região do Rio Jaurú, ao norte, afloram corpos de gabros, serpentinitos e anfibolitos. Esses gabros são constituídos por plagioclásios (45%), hornblenda (30%), quartzo (15%) e acessórios. Os anfibolitos constituem-se essencialmente de hornblenda (70%), plagioclásios (20%) e quartzo (5%). Os serpentinitos ocorrem nas zonas de falhas e se compõem de serpentina (85%), opacos (10%) e plagioclásio + quartzo (5%). (Olivatti,

1981).

Grupo Cuiabá

Aflora desde parte sul da planície, estendendo-se para o norte na forma de um triângulo invertido, desaparecendo sob os sedimentos da Formação Pantanal, aflorante numa estreita faixa que se prolonga para o norte acompanhando a borda leste do Pantanal, formando um arco de concavidade voltada para a planície, reaparecendo na região de Cuiabá. Corresponderia, no lado boliviano, ao Grupo Naranjal (Esquisto) (Figura 3).

Essa unidade constitui uma sequência de xistos, filitos, calcários, metaconglomerados, quartzitos, mármore, metagrauvacas.

Os xistos têm granulação fina, apresentam quartzo, muscovita, biotita às vezes cloritizada, feldspatos, geralmente microclínio e albita, sericita, epidoto e opacos com os acessórios: zircão, esfeno e apatita.

Os filitos são arenosos, de granulação fina, acetinados, aparecendo em meio a diversos tipos de xistos. Podem ser grafitosos, sericíticos ou conglomeráticos.

Os metaconglomerados geralmente associados às zonas quartzosas dos xistos ou filitos, compõem-se de quartzo muscovita, ou sericita, plagioclásio, microclínio e biotita. Seus acessórios mais comuns são o zircão e turmalina.

Os calcários são puros, silicificados ou arenosos. São compostos essencialmente de carbonato com opacos e quartzo como acessórios. Podem ser extremamente oolíticos. Intercalados aos calcários encontram-se filitos de granulação fina e estrutura xistosa, compostos por quartzo, plagioclásio, sericita, muscovita, clorita e biotita. No norte aparecem os mármore calcíti

cos e dolomíticos e metamargas.

Os quartzitos apresentam-se micáceos, cortados por veios de microclínio, hematita, biotita e quartzo.

Nas zonas xistosas, onde aumenta a quantidade de quartzo e feldspatos sericitizados, aparecem as metagrauvacas.

Grupo Aguapeí

Aflora nas regiões norte e noroeste da área (Figura 3). Divide-se em três sub-unidades. A basal, Formação Fortuna, se inicia com metaconglomerado e intercalações de metarenito cuja granulometria vai se reduzindo para o topo. A intermediária, Formação Vale da Promissão, é formada por ardósias, filitos e metassiltitos muito sericitizados. A sub-unidade superior, Formação Morro Cristalino, é constituída por metarenitos feldspáticos, com finas intercalações de metassiltitos, variando localmente para metarcósios.

Representa sedimentação transgressiva- regressiva de plataforma, com metamorfismo incipiente. No oriente boliviano aflora com o nome de Grupo Sunsas (Figura 3).

Complexo Serra do Rio Branco

Constitue um conjunto de rochas básicas (diabásios e gabros) e ácidas (riodacitos, andesitos, andesitos- dacitos). Os diabásicos e gabros apresentam granulação fina a média, constituídos principalmente por plagioclásios, com sulfetos disseminados. As rochas ácidas são compostas de pórfiros de plagioclásios e quartzo.

Grupo Jacadigo

Esse grupo acha-se dividido em duas unidades principais denominadas Formações Urucum e Santa Cruz.

As principais ocorrências desse grupo situam-se nas proximidades de Corumbá e Ladário e na região da Lagoa Mandioré, na fronteira com a Bolívia. No lado boliviano denomina-se Grupo Boqui (Figura 3), expondo-se ao oeste das grandes lagoas.

A Formação Urucum assenta-se discordantemente sobre o Complexo Basal (Correa, op.cit.). Para o topo seu contato com a Formação Santa Cruz é gradacional e, com o Grupo Corumbá, o contato é discordante.

A litologia predominante na Formação Urucum compreende metaconglomerados, metarcósios, metagrauvascas, metaarenitos e metassiltitos.

Os metaconglomerados são constituídos por blocos de granito, aplito, calcário, além dos seixos das mesmas rochas e de quartzitos, filitos, micaxistos imersos em matriz areno-arcoseana calcífera, constituída por grãos de quartzo, feldspatos, carbonatos, sericita e muscovita. Apresenta-se muito ferruginoso para o topo.

As melhores exposições da Formação Santa Cruz localizam-se em Corumbá. Essa formação é constituída por uma sequência de sedimentos clásticos ferruginosos, com espessas intercalações de jaspelitos ferruginosos e hematita fitada, incluindo lentes decimétricas a métricas de óxido de manganês.

Os jaspelitos são formados principalmente por nódulos de jaspe que constituem 60% da rocha. As camadas de manganês se intercalam com outras de arenito arcoseano e camadas de jaspelito e hematita.

Formação Bauxi

O posicionamento estratigráfico dessa unidade não está definido. Possui natureza essencialmente clástica (Ministério do Interior, 1981) e se apresenta em exposição esparsa e de dimensões reduzidas na parte norte do Pantanal. Na sua base é constituída por intercalações de metassiltitos, metarenitos e metagrauvacas. Os metassiltitos para o topo tornam-se mais arenosos. Compõem-se de sericita, quartzo, plagioclásio e biotita. No topo é constituída por metarenitos ortoquartzíticos com níveis conglomeráticos, com quartzo predominando (90%), microclínio, feldspato sericitizado e fragmentos de quartzitos.

Mostram uma deposição regressiva, com metamorfismo incipiente. É possível que se correlacione com o Grupo Jacadigo e no lado boliviano com o Grupo Tucavaca (Figura 3).

Grupo Corumbá

Subdivide-se nas Formações Puga, Cerradinho, Bocaina (ou Araras), Raizama e Diamantino. Na parte sul distribue-se numa faixa contínua aflorando em Corumbá e em diversos pontos na planície, na forma de morros isolados. Predomina no lado boliviano. No leste é limitada pelo Grupo Cuiabá e no norte aflora nos vales dos Rios Paraguai e Sepotuba.

No norte é também denominado Grupo Alto Paraguai (Almeida, 1964) e inclui as Formações Bauxi e Sepotuba, enquanto que a Formação Puga recebe o nome de Moenda, a Formação Bocaina tem a denominação de Araras.

A Formação Puga (Moenda) é representada por paraconglomerados de tipo tilóide, constituídos por grãos angulosos de quartzo, plagioclásio, sericita, muscovita e opacos, imersos em matriz argilo-siltico-arenosa, com abundante cimento calcífero. Seixos e blocos de gnaisses, granitos, rochas básicas, areni

tos e quartzitos são frequentes. Evidenciam deposição em ambiente glacial por correntes de turbidez.

A Formação Cerradinho expõe-se na borda sul ocidental e em extensas áreas na Serra da Bodoquena. Na base é constituída por arcósios, arenitos, folhelhos e margas. Os arcósios constituem-se de quartzo e microclínio e com os acessórios sericita, zircão e muscovita. Os arenitos são compostos por quartzo, argilo-minerais e óxido de ferro; os siltitos ocorrem intercalados nos arcósios e se compõem de quartzo, microclínio e sericita. Os calcários dessa formação apresentam composição essencialmente carbonática contendo subordinadamente quartzo e opacos.

A Formação Bocaina (Araras) ocupa quase toda a porção centro-oeste da Serra da Bodoquena, aflorando em Corumbá e no norte. Se estende no oriente boliviano, onde recebe o nome de Grupo Murciélagos. É composta principalmente por calcários muito puros, dolomíticos, calcarenitos e margas.

A Formação Raizama aflora no norte da região, a oeste de Cuiabá, apresentando-se com arenitos ortoquartzíticos e feldspáticos, com intercalações conglomeráticos e silto-argilosas subordinadas.

A Formação Sepotuba é constituída por folhelhos e siltitos finamente estratificados, aflorante no norte do Pantanal.

A Formação Diamantino restringindo sua presença na parte norte da área, constitui-se de arcósios finos, siltitos, argilitos e folhelhos.

Intrusivas Ácidas

Os Granitos Taboco e Coxim são os representantes

dessa unidade. Aparecem na borda leste do Pantanal, intrusivos nos metassedimentos do Grupo Cuiabá, compondo-se de quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita, com os acessórios hornblenda, opacos, apatita e zircão.

Grupo Paraná

É representado pelas Formações Furnas e Ponta Grossa, com ampla distribuição no Estado.

A Formação Furnas expõe-se desde a cidade de Aquidauana até o norte, aflorando pela borda leste na forma de "cuestas". São sedimentos essencialmente arenosos e conglomeráticos. Inicia-se com um conglomerado composto por grânulos, seixos e calhaus e quartzo imersos em matriz arenosa grosseira. O cimento é caulínio e raramente silicoso ou ferruginoso.

A Formação Ponta Grossa é constituída por clásticos finos, predominando os siltitos, com folhelhos e arenitos finos, às vezes médios e conglomeráticos. O feldspato pode estar presente em níveis arcoseanos.

Grupo Tubarão

Na área está representado pelas Formações Aquidauana e Palermo.

A Formação Aquidauana se distribue desde o sul, na localidade que lhe deu o nome, até o norte, aflorando ainda na região do Rio Jaurú. É subdividida em três unidades: a inferior, composta de arenitos, arcoseanos e subarcoseanos. O arenito pode ser conglomerático com seixos de quartzito e gnaiss, apresentando feldspato caulinizado. A unidade intermediária é composta de siltitos, e argilitos, com arenitos e diamictitos intercalados, podendo apresentar cimento ferruginoso. A unidade superior é

constituída por arcósios e arenitos, com siltitos subordinados.

A Formação Palermo é constituída por siltitos, silex oolítico e/ou pisolítico e lentes de arenitos. Tem reduzida área de exposição na região.

Grupo Passa Dois

Aflora no extremo leste da área, representado pela Formação Irati, composta por folhelhos siltíticos, calcífero e carbonoso e calcário silicificado, e pela Formação Terezi-na, representada por uma sucessão de siltitos, arenitos finos e folhelhos com níveis de calcários.

Grupo São Bento

É representado na área pelas Formações Botucatu e Serra Geral. A primeira se inicia no extremo sul da bacia sendo mais frequente no norte na altura dos Rios Cabaçal e Jaurú. É representada por arenitos, ortoquartzíticos quartzosos ou ferruginosos. A Formação Serra Geral predomina na parte sul da bacia, compreende os derrames basálticos da Bacia do Paraná.

Formação Parecis

Recobre vastas extensões dos planaltos divisores das Bacias Amazônica e do Prata, no norte da área, constitui-se predominantemente por arenitos de cimento caulínico.

Formação Bauru

Se expõe numa faixa de direção N-NE acompanhando a Formação Aquidauana, desde o sul até o norte, pela borda les-

te. É composta por arenitos quartzosos de cimento silicoso.

Cobertura Detrito-Laterítica

Corresponde às coberturas cenozóicas detrito-lateríticas e depósitos eólicos e coluviais, distribuídos em toda a área adjacente ao Pantanal e morros isolados dentro da planície.

Formação Pantanal

Apresenta-se subdividida em três unidades (Correa op.cit.): Qp1, Qp2 e Qp3.

A unidade Qp1 ocorre nas imediações das principais morrarias, emersas durante o ano inteiro, inclusive nas grandes inundações. São depósitos colúvio-aluvionares grosseiros, conglomeráticos, com cimento ferruginoso.

A unidade Qp2 é constituída de depósitos aluvionares fluvio-lacustres depositados na planície alagável. Tem maior distribuição que as demais. Predominam nessa unidade os sedimentos argilo-arenosos. Algumas áreas desses depósitos apresentam-se periodicamente alagadas, enquanto que outras ficam geralmente imersas. Apresenta-se como arenitos argilosos, semi-consolidados, com cimento ferruginoso e estratificação incipiente.

A unidade Qp3 representa os depósitos aluvionares fluviais das calhas dos principais rios da Planície do Pantanal. Predomina nesses depósitos a fração areia, pouco consolidada com estratificação planar e horizontal.

2.6. Hidrografia

2.6.1. As lagoas

O Rio Paraguai, tributário do Rio Paraná, meandra na Planície do Pantanal, ao lado de seus antigos cursos, atualmente representados por braços abandonados ou lagoas. Em vários pontos são nítidas as feições meandantes, observadas pelas barras de meandros (point-bars), que durante as inundações são realçadas pela formação de pequenos braços paralelos ao trecho de menor raio de curvatura do rio.

São inúmeras as lagoas distribuídas na planície. São elas localmente chamadas de "baias". Suas origens, embora ainda discutidas podem ser várias: algumas são atribuídas à dissolução de calcário, seja na forma de dolina ou não, sendo que as originadas da formação de dolina se desenvolveram pelo abatimento da mesma (Ministério do Interior, 1974a), outras, como já se disse, formaram-se pelo abandono dos rios principais em busca de novos leitos e ainda deve-se citar aquelas formadas pela compactação diferencial em aluviões (Almeida in Valverde, 1972) além das formadas por represamento causado pelas pequenas elevações. Um tipo de lagoa muito comum no Pantanal é a lagoa salgada, distinta das demais por não apresentar vegetação aquática circundante ou flutuante.

As águas das lagoas salgadas, localmente denominadas de "barreiros" ou "salinas", contém além de cloreto de sódio, sulfatos, e bicarbonatos (Cunha in Valverde, 1972). Seriam testemunhas de um paleoclima árido a que se submeteu a região.

A maior parte das lagoas permanece com suas superfícies constantemente cobertas por vegetação, relacionada com a profundidade.

Mesmo Lagoas como a Mandioré e Uberaba e são consideradas como pantanal (Ministério do Interior, op.cit.), por permanecerem durante muito tempo cobertas por vegetação.

Muitas das lagoas desaparecem no período da seca e

apesar da imensa quantidade de vida que as povoa, animais como jacaré, garças, tuiuiu, biguãs, patos selvagens e inúmeras aves silvestres, se encarregam de remover a maior parte dos peixes ali viventes, dos quais se alimentam, deêssa forma equilibrando a quantidade de matéria orgânica em decomposição numa região onde a mesma é abundante.

No período das enchentes, a calha dos rios é insuficiente para conter o imenso volume de águas que converge para a bacia, por escoarem lentamente, invadem os campos, alimentam lagoas, conectando muitas delas. A vida prolifera, então com rapidez incomum. Quando as águas principiam a voltar para o canal, meses após terem invadido os campos da planície, trazem consigo grande quantidade de matéria orgânica em decomposição.

O escoamento das águas para o leito dos rios nesse período se faz, em grande parte, através das chamadas "vazantes", que são linhas de drenagem que não apresentam um canal bem definido (Ministério do Interior, op cit.), ou através dos "corixos", canais inundados intermitentemente, semelhantes a braços de rios.

Muitos rios pequenos e córregos não chegam a atingir os grandes rios, espalhando-se na planície, determinando em algumas regiões uma rede de drenagem fechada. Isso acontece não só do lado brasileiro, mas também do lado boliviano do Pantanal, (Página).

2.6.2. Principais rios da Bacia do Alto Paraguai a montante de Corumbá, MS

a) Rio Cuiabá

Na Serra Azul, do Planalto Central, divisora de águas dos formadores do Xingü, nasce o Rio Cuiabá.

Recebe, antes de passar na cidade de Cuiabá, os afluentes Manso e Cascas, além de outros menores, contornando desde as cabeceiras a Chapada dos Guimarães. Essa região de grandes elevações se destaca no relevo pelas suas íngremes "cuestas" que são percorridas pelos citados tributários.

Adentrando na Planície do Pantanal, o Rio Cuiabá recebe inúmeros afluentes, perenes ou não, entre eles o Cuiabá Mirim, o São Lourenço e o Piqueri (ou Itiquira).

Nessa região o Pantanal Matogrossense apresenta -se em cotas muito baixas, causando a permanência de lagoas, charcos e corixos após o recuo das águas para o leito dos rios. Nessa zona as enchentes estão diretamente relacionadas com a pluviosidade.

Nas Serras de São Jerônimo e São Lourenço (Figura 1) estão localizadas, respectivamente, as Cabeceiras do Piqueri e São Lourenço. O primeiro tem no Vermelho seu principal afluente, e o segundo apresenta dois importantes tributários: o Itiquira e o Correntes.

Florestas predominam nas cabeceiras desses rios, nascentes que são nas vertentes do planalto, encontrando quando adentram na planície do Pantanal, formações de florestas em braços abandonados onde se desenvolve intensa vida vegetal.

b) Rio Paraguai

O Rio Paraguai nasce na Chapada dos Parecis, divisora de águas das Bacias Amazônica e do Paraguai.

Corre nessa região em terreno bastante acidentado onde predominam as características amazônicas e antes de atingir a base do planalto recebe vários tributários. Recebendo depois o Jauquara, em terrenos de transição onde surgem muitas corredei

ras.

Antes de passar pela cidade de Cáceres, já com uma largura de aproximadamente cem metros, recebe a contribuição de dois importantes rios, o Sepotuba e o Cabaçal, provenientes, juntamente com o Jaurú que se associa pouco abaixo da referida cidade, da região noroeste do Pantanal. Nesse ponto o Jaurú, já tendo recebido as águas de seu principal afluente-o Aguapeí, desagua no Rio Paraguai.

A partir da boca do Jaurú, ao sul do paralelo 16°S, temos propriamente o Pantanal Matogrossense, com característico regime de planície, com seus meandros abandonados, numa região que já sofre a invasão das águas nos períodos de maior pluviosidade.

Após receber o Jaurú, a contribuição de muitos afluentes só se faz no período das enchentes, quando a drenagem é completada. São inúmeros os rios intermitentes que fluem para o Rio Paraguai nesse período.

Na região das grandes lagoas o Paraguai recebe o Corixa Grande, vindo do noroeste do Pantanal, passando antes disso pela Lagoa Uberaba, conectada que é com a Lagoa Gaíba através de um corixo, para depois se ligar com o Paraguai.

Entre as Lagoas Gaíba e Amolar, mais ao sul, recebe o Rio Cuiabá que procede de regiões situadas no nordeste do Pantanal Matogrossense.

Do lado boliviano nenhum afluente importante contribui para a Bacia do Alto Paraguai, sendo que o Corixa Grande traz consigo águas de alguns tributários bolivianos, sendo os de mais intermitentes.

A natureza do leito varia muito em sua extensão,

constituindo-se de argila, areia e até mesmo rochoso.

A largura também sofre muitas variações. No período das secas, no ponto de coletas, a largura atinge aproximadamente 300 metros. No período das enchentes é impossível precisar a largura do rio, pois em muitos trechos os meandros se unem determinando a formação de um imenso lago. Nesse período os navios, que atendem a região, cujo calado é da ordem de 1,70 metros quando carregados, deixam o canal do rio para navegar sobre os campos, em extensões que chegam a 50 quilômetros, fato que ocorreu em vários pontos do Pantanal neste período de enchentes, a cima da região de Porto Esperança.

3. METODOLOGIA

3.1. Coletas das Amostras de Água

A técnica de amostragem varia conforme a natureza da água, e o tipo de exame a que se submeterá.

Entretanto, três requisitos essenciais devem ser observados (Louvrier, 1976) na coleta de águas:

1º) Utilizar frascos apropriados e novos, para evitar a contaminação da amostra por produtos estranhos à mesma.

2º) O frasco deverá ser lavado várias vezes com a água a ser amostrada, tendo o cuidado de não se coletar a água utilizada na lavagem.

3º) A vedação dos frascos deverá ser tal que não permaneça nenhuma bolha de ar no seu interior. A presença de ar na amostra coletada poderá modificar uma série de parâmetros como o pH, bicarbonato, etc. O tempo decorrido entre a amostragem da água e as análises deverá ser o menor possível.

Neste trabalho as amostras chegaram ao laboratório da Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico, executor da maior parte das análises químicas, 12 horas após a coleta.

A amostragem foi realizada pela imersão do recipiente aberto, após o prévio tratamento do mesmo. O ponto de coleta foi escolhido evitando-se a influência das margens, que poderia acarretar resultados não representativos, como no caso da matéria orgânica, pH, sólidos em suspensão, além da influência direta da litologia local. Esse ponto localiza-se a um quilômetro acima da cidade de Corumbá no Rio Paraguai, onde a profundidade é maior. Para se chegar a esse local foi utilizado um barco

de pequeno porte.

A natureza do material de que é feito o recipiente que vai receber a amostra de água, deve ser considerado como fator de alteração dos resultados das análises. Em condições ideais esse material deveria ser inerte em relação à água amostrada, e apresentar porosidade nula.

No entanto o que se verifica normalmente, na prática, é uma reação em que o recipiente transfere elementos químicos para a água e também fixa em suas paredes elementos da mesma. É mais um fator que exige a rápida análise da água, tão logo seja coletada.

O tipo de frasco utilizado para este trabalho foi o de polietileno, que é indicado para todas as análises.

A preservação das amostras que se destinam aos laboratórios de análises visam retardar a ação biológica, a hidrólise de compostos químicos complexos e reduzir a volatilidade dos constituintes (Souza e Derisio, 1977). Para tal, são utilizados os ácidos sulfúrico, nítrico ou clorídrico além de refrigeração para algumas dosagens.

O emprego desses ácidos é determinado pelo elemento ou composto que se deseja dosar. Por exemplo para dosagem de Ca, Cu, Mg, K, Na, etc., as amostras foram conservadas com ácido nítrico concentrado. Para a dosagem de Fe empregou-se o ácido clorídrico e para nitratos e nitrito, a conservação das águas foi feita com ácido sulfúrico.

Todo o material utilizado na adição de conservantes recebeu o mesmo tratamento que os frascos, isto é foi lavado com detergente, com ácido na mesma concentração e enxaguado com água destilada.

As coletas de água foram realizadas mensalmente , durante um período de dezoito meses, de abril de 1979 a setembro de 1980.

3.2. Análises das Águas

Com o material coletado mensalmente, procedeu-se às análises químicas, físicas e físico-químicas. Por não se dispor, no período de estudos, de recursos técnicos para a realização das análises químicas dos principais elementos e compostos contidos nas águas do Rio Paraguai, recorreu-se ao laboratório da Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico, em São Paulo, para onde as amostras foram enviadas.

3.2.1. Elementos e compostos

Nas águas do Rio Paraguai, durante o período de amostragem, foram analisados os teores de: cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, alumínio, sílica, bicarbonato, cloreto, sulfato, nitrato, fluoreto, níquel e cobre.

Com exceção do bicarbonato, que foi dosado no laboratório de Química do Centro Universitário de Corumbá, e algumas análises de sódio, para confirmação de teores, que foram realizadas no laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em Corumbá, por absorção atômica, todos os restantes foram analisados pela CETESB, segundo as normas do "Standard Methods for the Examination of Water and Waste-water".

3.2.2. Material em suspensão e em solução

Filtrando-se em cada amostra mensal um litro da água do rio, com filtro de papel, previamente seco e pesado, separou-se o material transportado em suspensão.

O filtro contendo esse material foi seco e pesado, e esse valor subtraído do peso do filtro antes de ser utilizado, forneceu a quantidade do material transportado em suspensão por litro de água do Rio Paraguai.

A água resultante da filtração foi submetida à evaporação em cadinhos de porcelana. Esses cadinhos foram preparados previamente, por calcinação e pesagem, antes de receber a água filtrada. Após a evaporação foram novamente calcinados e pesados, e o peso obtido pela diferença deste valor e o peso inicial do cadinho forneceu o valor do material dissolvido transportado pelas águas do Rio Paraguai no ponto considerado.

3.3. Tratamento dos Dados

3.3.1. Climáticos

Levantou-se os dados referentes à temperaturas, pressões atmosféricas, pluviometria e ventos, junto ao Serviço de Proteção ao Vôo de Corumbá, que efetua medidas diárias desses parâmetros, no Aeroporto de Corumbá, distante aproximadamente 3 km do ponto de coletas das águas.

Os valores da temperatura fornecem as máximas e as mínimas diárias, com as quais calculou-se as médias mensais, por média aritmética.

Calculou-se, também por média aritmética, a pressão atmosférica e a umidade relativa do ar, para a caracterização do clima local.

Os dados pluviométricos foram obtidos pela soma das colunas diárias de chuvas precipitadas durante os meses de observações.

3.3.2. Vazão

Como não se dispõe de dados de vazão para o Rio Paraguai em Corumbá, utilizou-se os valores diários do nível do rio em Ladário, poucos quilômetros abaixo do ponto de amostragens. Essas alturas do rio foram fornecidas pelo Serviço de Sinalização Náutica do Oeste, da Base Fluvial de Ladário, que vem tomando medidas diárias desde 1900.

Calculou-se as médias mensais das mesmas, por mdia aritmética, e empregando-se a fórmula proposta pelo DNOS (Ministério do Interior, op.cit.) durante o projeto de Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai, através da fórmula:

$$Q = h^2 + 210 h + 600$$

onde Q é a vazão do Rio Paraguai e h é a altura do nível em Ladário, obteve-se os dados das vazões mensais.

Para calcular a vazão média anual, utilizou-se a média dos 12 primeiros meses e a média dos últimos doze meses.

O cálculo da área drenada até o ponto de coleta foi realizado somando-se a área das bacias parciais fornecidas pelo DNOS (Ministério do Interior, op.cit.). Como esses dados não são precisos, pela dificuldade que se têm no momento em delimitar os limites do Pantanal, o valor encontrado, 250.000 km², presta-se somente para comparações e algumas conclusões sobre a denudação da bacia.

3.3.3. Das análises

Com os resultados das análises foram elaboradas tabelas dos teores, em mg/l, dos elementos: Ca, Mg, Na, K, Fe, Al, SiO₂, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, F, Cu e Ni, relativos aos meses de Abril/1979 e setembro/1980, e tabelas com teores convertidos em

porcentagem de meq., para os cátions: Ca, Mg, Na + K e os ânions: HCO_3 , $\text{Cl} + \text{NO}_3$ e SO_4 . Estes últimos foram utilizados para a classificação das águas do Rio Paraguai, apresentadas no Diagrama de Piper e as relações Mg/Ca e K/Na, em meq/l, também foram calculadas e apresentadas em forma de tabela.

Os valores mensais de material dissolvido e em suspensão (em meq/l) são apresentados em tabela que contém os parâmetros: precipitações mensais, vazão, e pH das águas do rio.

Cálculos do material removido anualmente da bacia foram efetuados dispondo-se da concentração dos sólidos, por espécie, transportados pelo Rio Paraguai, e da vazão líquida específica, que é um parâmetro que pode ser expresso em litro/segundo/ km^2 , ou seja, é a relação entre a vazão do rio e a área da respectiva bacia hidrográfica, que no caso é 250.000 km^2 aproximadamente.

Os teores médios anuais foram obtidos considerando-se as médias entre os períodos de abril/1979 a março/1980 e outubro/1979 a setembro/1980.

Gráficos das variações dos teores e do material em suspensão, em mg/l, em relação à precipitação e vazão do Rio Paraguai foram elaborados, em escala milimétrica, para se visualizar as relações entre esses parâmetros. Os valores mensais do material em suspensão relacionados com a vazão do rio são apresentados em gráfico bi-logarítimo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Elementos e Compostos

As soluções que circulam as rochas em alteração vão incorporar os produtos que as mesmas liberam, pela atuação do intemperismo químico.

A composição dessas águas, dessa forma, vai depender fundamentalmente da litologia drenada pelas mesmas, da solubilidade dos minerais e da temperatura das soluções reagentes, pois as temperaturas mais elevadas favorecem a solubilidade.

Essas águas vão transferir para os rios a carga dissolvida, se o meio aquoso permitir, recolhida durante o seu trajeto, observando-se com isso, a dependência dos sais dissolvidos nas águas dos rios em relação ao relevo e à estação do ano.

Nas estações chuvosas, em geral, a salinidade dos rios é menor do que nas estações secas, isso porque nas chuvas a diluição abaixa sua concentração.

O Rio Paraguai apresenta, em Corumbá, um regime de cheias defasado em relação à estação de maior pluviosidade. Sendo um rio cuja bacia de drenagem, acima do ponto amostrado, apresenta-se em um plano de pequena inclinação, limitada por elevações cujas cotas, relativamente baixas, não favorecem a erosão, em clima caracteristicamente tropical, esperar-se-ia teores mais elevados. Entretanto a diluição é responsável, em parte, por esse equilíbrio, seguida da natureza sedimentar da planície, onde predominam sedimentos arenosos.

Os teores (em mg/l) dos elementos e compostos, observados entre abril de 1979 e setembro de 1980, nas águas do Rio Paraguai em Corumbá, estão representados nas Tabelas 2 e 3.

ELEMENTOS

E COMPOSTOS	ABR/79	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN/80	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Ca	7,1	5,5	4,1	5,0	4,5	7,1	5,2	3,6	3,5	3,3	3,8	4,8	5,1	7,0	6,4	5,4	5,2	4,4
Mg	1,9	2,7	2,4	2,1	2,3	1,3	2,3	1,8	1,8	2,3	1,5	1,8	1,9	1,2	1,7	1,8	2,2	2,0
Na	1,2	1,4	1,2	3,3	1,6	1,3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,4	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,1	1,7
K	2,3	1,7	2,0	3,4	2,1	1,8	1,8	1,6	1,3	1,7	1,9	2,0	1,6	1,1	1,4	1,3	1,4	1,4
Fe	2,9	0,14	0,13	0,24	0,36	0,97	1,4	2,46	2,41	2,24	2,48	1,56	0,67	0,58	0,31	0,27	0,9	0,41
Al	0,004	0,2	0,02	0,04	0,04	0,04	1,1	2,7	3,3	0,05	0,05	0,04	0,04	0,1	0,02	0,04	0,04	0,05
SiO ₂	12,4	10,8	10,8	10,3	8,8	12,1	11,9	10,3	15,3	13,9	11,3	10,1	14,5	13,8	14,0	14,0	11,4	12,4
HCO ₃	31,0	34,0	29,0	37,0	30,0	30,0	30,0	21,0	14,0	23,0	18,0	24,0	28,0	28,0	29,0	24,0	26,0	26,0
Cl	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	5,5	0,5	1,0	1,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,8	0,2
SO ₄	10,0	2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	5,0
NO ₃	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,12	0,11	0,11	0,07	0,07	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,07	0,06

TABELA 2 - RESULTADOS DAS MEDIDAS DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS E COMPOSTOS (em mg/l) NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI EM CORUMBÁ.

MÊS	F	Cu	Ni
ABR/79	<0,10	0,006	0,01
MAI	<0,10	<0,002	<0,03
JUN	0,58	<0,002	<0,03
JUL	0,14	<0,002	ND
AGO	<0,10	<0,002	ND
SET	0,10	<0,002	ND
OUT	<0,10	<0,002	ND
NOV	<0,10	<0,002	<0,03
DEZ	0,10	<0,002	ND
JAN/80	0,94	<0,002	<0,02
FEV	<0,10	<0,002	<0,02
MAR	0,17	<0,002	<0,02
ABR	<0,10	<0,002	<0,02
MAI	0,26	<0,002	<0,02
JUN	0,29	<0,002	<0,02
JUL	0,20	<0,002	<0,02
AGO	0,035	<0,002	<0,02
SET	<0,10	<0,002	<0,02

TABELA 3 - ELEMENTOS MENORES PRESENTES NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI
EM CORUMBÁ (em mg/l).

Cálcio

O cálcio encontrado nas águas dos rios se origina da dissolução de calcários, dolomitos e gipso; ataque aos plágios e outros silicatos cálcicos; dissolução do cimento calcário de muitas rochas sedimentares e da água de chuva. As condições de equilíbrio dos íons Ca^{2+} e CO_3^{2-} e CO_2 dissolvidos condicionam a presença desse cátion nas águas fluviais (Hypolito, 1972).

É o cátion mais abundante nas águas do Rio Paraguai, em Corumbá (Tabela 2). A variação deste cátion foi bastante nítida durante o período de observações.

Notou-se uma relação direta entre os teores de cálcio nas águas do rio e a vazão (Figura 4), ou seja, no período de maior pluviosidade, quando a vazão do Rio Paraguai atinge seus valores mais baixos, o cálcio tem seus teores reduzidos.

Considerando-se essas variáveis, pluviosidade e vazão do rio, que se relacionam inversamente, deduz-se que o cálcio dessas águas provém das rochas carbonáticas do Grupo Corumbá, comuns na planície, e Grupo Cuiabá, nas cabeceiras de alguns tributários, onde as rochas cristalinas também são fornecedoras desse cátion, em participação menor, pois quando nessas regiões as precipitações são mais intensas, se verifica diluição nos teores, de maneira a justificar as baixas concentrações em vazões menores que se registram nesse momento no ponto de coletas.

No período das enchentes os teores de cálcio se elevam, indicando a contribuição das argilas da Formação Pantanal.

Observou-se durante o período de amostragens, que os teores de cálcio nas águas do Rio Paraguai variaram de 3,3 a 7,1 mg/l (Tabela 2), com um teor médio de 4,8 mg/l, que comparado à média calculada por Livingstone (1963) para os rios sul americanos, 7,2 mg/l, indica a presença de terrenos lixiviados na

FIGURA 4
VARIAÇÃO DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NAS ÁGUAS DO
RIO PARAGURI EM CORUMBÁ-MS

planície.

Magnésio

A dissolução de calcários dolomíticos e dolomitos, ataque a silicatos magnesianos, a presença local de evaporitos e poluição e a água da chuva, são as fontes do magnésio encontrado nas águas fluviais. Aparece na forma iônica e depende das condições de equilíbrio do sulfato, carbonato e bicarbonato, (Hypolito, 1972).

É o segundo cátion, em abundância, nas águas do Rio Paraguai, tendo sido registrados teores de 1,2 a 2,7 mg/l (Tabela 2), para um teor médio de 1,9 mg/l.

Não se observou variações características nos teores de magnésio, durante o período analisado (Figura 4), em relação às variações ocorridas na vazão do rio e nas precipitações.

Esses teores, relativamente constantes, são justificados pelo fato de que o aumento da concentração verificado no período de menores vazões é mantido pela contribuição das lagoas no período das enchentes, ressaltando-se a influência das lagoas salôbras.

Conclue-se assim que o magnésio contido nas águas do Rio Paraguai se origina tanto na planície, através do ataque químico às argilas da Formação Pantanal e aos dolomitos do Grupo Corumbá, como das cabeceiras dos tributários, pela decomposição de rochas cristalinas do Complexo Basal, Grupo Cuiabá e intrusivas básicas e ácidas.

Considerando-se a concentração média para os rios sul americanos como 1,5 mg/l (Livingstone, op.cit.) observa-se uma certa concordância, demonstrando, em meios tropicais, o estado de lixiviação dos terrenos e a diluição pelas águas.

Sódio

O ataque de plagioclásios e outros silicatos contendo sódio, presentes em rochas cristalinas e sedimentares argilosas e sedimentos inconsolidados, constituem a principal fonte deste elemento nas águas dos rios.

Fatores extrínsecos como a poluição urbana e industrial e a precipitação das chuvas podem elevar os teores de sódio nessas águas.

No ponto escolhido para amostragem pode-se considerar inexistente a influência da poluição, e a participação do sódio trazido pelas precipitações é em quantidades desprezíveis, já que o elemento ocorre em quantidades muito baixas nas águas do Rio Paraguai no referido ponto.

Durante o período de abril de 1979 e setembro de 1980, registrou-se um teor médio de 0,9 mg/l, com valores oscilando entre 0,1 e 3,3 mg/l (Tabela 2).

Durante o período de observações, os teores aumentaram ligeiramente quando houve aumento na vazão (Figura 5). Entretanto esse aumento na vazão não corresponde a uma estação de maior pluviosidade, estando as águas, nesse período, sobre a planície de inundação, sofrendo maior evaporação e menor contribuição das chuvas.

Demonstra-se com isso que a principal fonte desse elemento nas águas do rio se deve ao seu contato com os sedimentos argilosos da Formação Pantanal, e exposições de rochas cristalinas e sedimentares das cabeceiras dos tributários.

Potássio

O intemperismo químico atuando na decomposição da

FIGURA 5
VARIAÇÃO DOS TEORES DE SÓDIO E POTÁSSIO NAS ÁGUAS
DO RIO PARAGURI EM CORUMBÁ-MS

biotita, muscovita e ortoclásio vai fornecer os teores de potássio para as águas continentais.

Uma pequena quantidade pode ser adicionada pelas águas das chuvas. A poluição também pode elevar seus teores, através de indústrias e agricultura. Como encontrou-se baixos teores desse elemento nas águas do rio, não se considera o aporte atmosférico e da poluição.

Durante o período de amostragens registrou-se para o potássio teores entre 1,1 e 3,4 mg/l (Tabela 2), tendo se verificado um ligeiro aumento durante o período de menor pluviosidade e maiores vazões (Figura 4).

O teor médio do potássio contido nas águas do Rio Paraguai em Corumbá é da ordem de 1,8 mg/l valor muito próximo da média para os rios sul-americanos cuja média é 2,0 mg/l (Livingstone, op.cit.).

Não só a diluição provocada pelas grandes precipitações, que ocorrem nas cabeceiras e é acumulada na planície nos períodos de cheia, justifica os baixos teores de potássio verificados nas águas do Rio Paraguai. A litologia da planície, composta predominantemente de sedimentos, semi-consolidados, argilo-arenosos é a principal causa desse fenômeno. Estes, pela estrutura da argila, permitem a entrada e retenção do potássio, cátion com dimensões suficientes para que esse processo aconteça em proporções tais que sua presença nas águas superficiais, apesar de sua abundância na superfície, ocorra em quantidades relativamente pequenas.

Nos períodos de menores precipitações a concentração de potássio nas águas do rio tiveram um ligeiro aumento, demonstrando que embora nesse período, acumuladas na planície, tenham se submetido a uma redução, esta foi compensada por um aumento na concentração das águas, vindas das cabeceiras, pela drenagem.

nagem de terrenos compostos por rochas cristalinas e arenosas. Com o aumento nas precipitações nas cabeceiras dos tributários, os teores são reduzidos.

Alumínio

Nas águas naturais o alumínio se origina da decomposição de feldspatos e argilo-minerais.

O alumínio apresenta-se nas águas naturais, desde a forma iônica até complexos. A solubilidade desse elemento está condicionada pelo pH e a presença de ions complexantes, principalmente o F^- , SO_4^{2-} e OH^- (Hypolito, 1972).

Se o pH das águas é maior que 5, o alumínio se apresenta sob a forma de $Al(OH)_3$ e se insolubiliza, não migrando. Se o pH for menor que 5 formam-se os polímeros $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)^{++}$ e Al^{+++} , que podem ter mobilidade.

Permanecendo na estrutura dos silicatos em alteração, somente uma parte do alumínio é retirada em solução (Krauskopf, 1972).

Pelo exposto justifica-se os baixos teores desse elemento nas águas superficiais, apesar de ser um dos mais abundantes elementos da crosta terrestre.

Foi o alumínio que, durante o período de abril de 1979 a setembro de 1980, período de observações, apresentou maior amplitude de variações em seus teores, nas águas do Rio Paraguai. Esses valores variaram de teores menores que 0,004 mg/l até 3,3 mg/l (Tabela 2). Valores elevados como o último podem representar antes a presença desse cátion na forma de suspensão coloidal do que propriamente na forma dissolvida.

Com a redução do volume escoado no ponto de amos-

FIGURA 6
VARIAÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO NAS ÁGUAS DO RIO
PARAGUAI EM CORUMBA'

tragens, observou-se um aumento na quantidade de alumínio presente nessas águas (Figura 6). Como essa redução na vazão ocorre justamente no período de maiores precipitações na região do Pantanal e cabeceiras dos tributários, essa relação inversa entre os teores de alumínio e a vazão do Rio Paraguai indicam que esse elemento provém, principalmente, da litologia das terras altas, ou seja, rochas cristalinas e sedimentares, e da planície, através de seus sedimentos argilosos, cujos terrenos são mais intensamente lixiviados nesse período.

Ferro

A alteração de rochas cristalinas contendo silicatos, sulfetos e óxidos de ferro, e rochas sedimentares originadas pela precipitação deste elemento, vai liberar para o meio aquoso este elemento, cuja presença vai depender do pH e do potencial de óxido-redução.

Nas águas naturais apresenta-se sob as formas: Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, ou ligados a agentes complexantes orgânicos e inorgânicos.

Nas águas com pH próximo a 7,0 está presente, em solução, o cátion Fe^{3+} , em teores baixos devido a insolubilidade.

Os teores encontrados nas águas do Rio Paraguai estiveram num intervalo de 0,13 a 2,9 mg/l (Página 38), sendo que a média foi de 2,6 mg/l, valor relativamente elevado, comparando-se com os rios sul-americanos, cuja média é 1,4 mg/l. Deve-se considerar, os teores elevados podem ser atribuídos à presença de Fe na forma coloidal.

Observou-se que os teores sofreram um aumento sensível durante o período de maiores precipitações (Figura 6) indicando uma relação indireta entre esse cátion e a vazão do rio.

Assim no período de maior vazão, em que as águas permanecem por maior tempo na planície, foram registrados os teores menores, coincidentemente no período de menor pluviosidade, indicando influência da litologia das terras altas prevalecendo sobre as demais.

A litologia das cabeceiras é a principal fonte desse cátion, através de suas rochas cristalinas, granitos, gnais e basaltos, e afloramentos, nas regiões das lagoas, de sedimentos ferruginosos do Grupo Jacadigo.

Sílica

As principais rochas fornecedoras de sílica para as águas dos rios são as cristalinas, a partir da alteração de plagioclásios, quartzo e anfibólios, além das rochas sedimentares contendo argila e quartzo, incluindo os sedimentos inconsolidados.

Embora não seja o composto mais abundante nas águas naturais, a sílica é um dos mais comuns. Pode estar nessas águas, na forma coloidal ou dissolvido.

A forma mais comum da sílica é o quartzo, que em condições naturais apresenta baixa solubilidade, já a opala e calcedônia, por serem mais instáveis, têm solubilidade maior (Krauskopf, 1972).

A solubilidade da sílica depende do pH: ela aumenta em pH maior que 9, sendo constante em valores de pH menores que 9. Outro fator que interfere na solubilidade da sílica, além da temperatura, é o alumínio, cuja presença, mesmo em pequena quantidade, é suficiente para precipitar a sílica coloidal (Okamoto, Okura e Goto, 1957).

Os teores medidos durante a fase de amostragens

FIGURA 7
VARIAÇÃO DOS TEORES DE FERRO E SÍLICA NAS ÁGUAS
DO RIO PARAGURI EM CORUMBÁ

variam de 8,8 a 15,3 mg/l (Página 38), sendo que o teor médio foi de 12,1 mg/l.

Os teores registrados nas águas do Rio Paraguai mostram que os terrenos drenados por suas águas estão mais lixi-
viados que os das Bacias do Amazonas e Paraíba.

A partir dos dados obtidos verificou-se que, basicamente não há relação entre os teores de sílica e a vazão do rio, no ponto considerado (Figura 7).

Dessa forma, no período das enchentes, quando se registram as maiores vazões do Rio Paraguai, os teores de sílica sofrem variações que não se relacionam com a vazão, sugerindo que sua presença se deve tanto à litologia das terras altas quanto à da planície, através das rochas cristalinas e sedimentares, conglomeráticas e arcoseanas, justificada pela quantidade intermediária desse composto (Davis, 1964).

Bicarbonato

Este ânion é originado da dissolução do gás carbônico da atmosfera e do solo, através da atividade biológica, e da dissolução de calcários e dolomitos com a participação do gás carbônico. As reações de alteração dos plagioclásios pelo ácido carbônico também contribuem para elevar os teores desse ânion nas águas.

Os teores de HCO_3^- nas águas do Rio Paraguai, no alto curso, oscilaram entre 14 e 37 mg/l (Página 38), e teor médio de 25,5 mg/l próximo ao calculado para os rios sul-americanos, que é 31,0 mg/l (Livingstone, op.cit.). Esses valores são justificados, em relação a média para os rios do mundo-58,4 mg/l (Livingstone, op.cit.) pela lixiviação e diluição, mais intensas em regiões tropicais.

FIGURA 8
VARIAÇÃO DOS TEORES DE BICARBONATO E SULFATO
NAS ÁGUAS DO RIO PARAGURI EM CORUMBÁ

Observou-se uma ligeira relação entre o bicarbonato e a vazão do rio (Figura 8) de forma que nos períodos de enchentes, quando as águas ocupam a vasta planície do Pantanal, é ligeiramente aumentada a quantidade desse composto nas águas.

Esse fato é explicado pela presença de inúmeros afloramentos, na planície, de rochas carbonáticas do Grupo Corumbá, uma das principais fornecedoras desse composto para as águas do rio. É o bicarbonato o principal ânion presente nas águas do Rio Paraguai, em Corumbá, fato atribuído também ao clima, úmido e quente, comum na região, que propicia através de intensa atividade orgânica, maior produção de gás carbônico, que irá promover a dissolução das rochas carbonáticas.

Sulfato

O sulfato pode ser adicionado às águas superficiais através da precipitação das chuvas, pode ser produto de poluição, urbana, industrial ou agrícola, ou ainda pode ser originado da oxidação de sulfetos em rochas cristalinas e sedimentares, e principalmente da dissolução de gipso, favorecida em regiões pantanosas pela ação de bactérias.

Das dezoito medidas efetuadas nas águas do Rio Paraguai em Corumbá, em quinze a presença de sulfato foi em teores menores que 2,0 mg/l (Página 38), não se observando dessa forma nenhuma variação desse ânion com as estações (Figura 8) ou com a vazão do rio.

A predominância de rochas sedimentares argilo-arenosas sobre as rochas cristalinas explica os baixos teores verificados, além da lixiviação dos terrenos. É citada apenas uma ocorrência de gipsita (Frankie, 1957 in Souza, 1973) em terras bolivianas, próximas à Lagoa Gaíba, pouco acima do ponto de amostragens. Essa ocorrência seria a principal fonte de sulfato con-

tido nas águas do Rio Paraguai, juntamente com aquele proveniente das lagoas salgadas, inúmeras que são, espalhadas pela planície do Pantanal.

Cloreto

O ânion cloreto encontrado nas águas superficiais se originam em terrenos de origem marinha; águas juvenis e conatas, águas de chuva, evaporitos, ataque químico a minerais como sodalita, apatita, pela poluição urbana e industrial.

Durante o período de observações, a média dos teores de cloro foi de 1,1 mg/l, sendo que os valores oscilam entre 0,2 e 5,5 mg/l (Página 38), valores baixos, comparando-se com a média esperada para os rios sul-americanos, que é 4,9 mg/l.

A presença de tão baixos teores é justificada pela natureza dos terrenos, já lixiviados, drenados pelas águas da bacia hidrográfica do alto Rio Paraguai, e pela grande distância do local ao oceano.

Observa-se uma influência significativa das precipitações sobre os teores de cloro, que se mantêm relativamente constante em períodos menos chuvosos (Figura 9), quando a vazão do rio aumenta causando a diluição da quantidade que é fornecida pelas argilas da planície, que juntamente com as chuvas constituem a principal fonte desse elemento para as águas desse rio.

Nitrato

Os processos naturais de nitrificação e a decomposição da matéria orgânica, constituem as principais fontes do nitrato contido nas águas superficiais, sendo que uma pequena parcela é adicionada através da precipitação das chuvas. A poluição

FIGURA 9
VARIAÇÃO DOS TEORES DE CLORETO E NITRATO NAS ÁGUAS
DO RIO PARAGUAI EM CORUMBÁ

urbana, industrial ou agrícola pode alterar consideravelmente esses teores.

Durante o período de amostragens, os teores de nitrato nas águas do rio variaram de 0,01 a 0,12 mg/l (Página 38), valores relativamente baixos, mas que mostram nitidamente uma variação com as precipitações (Figura 9), quando nos períodos de maiores precipitações seus teores se elevaram, em oposição à vazão que reduziu nesses períodos.

Com um teor médio de 0,08 mg/l, as águas do Rio Paraguai apresentam uma diluição muito grande para esse composto. Os teores médios dos rios sul-americanos e do mundo, calculados por Livingstone (1963), 0,7 e 1,0 mg/l, respectivamente, indicam que os processos de nitrificação no solo são processos que se desenvolvem em escala mais reduzida na planície, onde os mesmo não são bem desenvolvidos. Outro fator que explica esses teores é o equilíbrio ambiental existente na região, onde a matéria orgânica antes ou durante a decomposição é grandemente aproveitada na cadeia alimentar de várias espécies animais e vegetais.

Elementos menores

Durante este trabalho registrou-se também as variações de cobre, níquel e fluor (Tabela 3), presentes nas águas do Rio Paraguai em Corumbá.

Os teores de cobre e níquel permaneceram praticamente constantes, tendo se registrado para o cobre valores menores que 0,002 mg/l em dezessete das dezoito amostras, e para o níquel, não detectado em cinco amostras, apresentou valores menores que 0,02 mg/l em nove amostras (Página 39). Não se observou dessa maneira qualquer relação entre esses elementos e a vazão e precipitações na bacia.

MÊS	Ca(mg/l)	rCa	%Ca(meq/l)	Mg(mg/l)	rMg	%Mg(meq/l)	Na(mg/l)	rNa	K(mg/l)	rK	rNa+K	%rNa+K(meq/l)
ABR/79	7,1	0,355	56,80	1,9	0,158	25,44	1,2	0,052	2,3	0,060	0,112	17,92
MAI	5,5	0,275	45,45	2,7	0,225	37,19	1,4	0,061	1,7	0,044	0,105	17,36
JUN	4,1	0,205	40,35	2,4	0,200	39,37	1,2	0,052	2,0	0,051	0,103	20,28
JUL	5,0	0,250	38,11	2,1	0,175	26,68	3,3	0,144	3,4	0,087	0,231	35,21
AGO	4,5	0,225	41,59	2,3	0,192	35,49	1,6	0,070	2,1	0,054	0,124	22,92
SET	7,1	0,355	62,83	1,3	0,108	19,12	1,3	0,056	1,8	0,046	0,102	18,05
OUT	5,2	0,260	48,06	2,3	0,192	35,49	1,0	0,043	1,8	0,046	0,089	16,45
NOV	3,6	0,180	44,89	1,8	0,150	37,41	0,7	0,030	1,6	0,041	0,071	17,71
DEZ	3,5	0,175	45,79	1,8	0,150	39,06	0,6	0,026	1,3	0,033	0,059	15,36
JAN	3,3	0,165	38,64	2,3	0,192	44,96	0,6	0,026	1,7	0,044	0,070	16,39
FEV	3,8	0,190	49,87	1,5	0,125	32,81	0,4	0,017	1,9	0,049	0,066	17,32
MAR	4,8	0,240	51,84	1,8	0,150	32,40	0,5	0,022	2,0	0,051	0,073	15,77
ABR	5,1	0,255	51,31	1,9	0,158	31,79	1,0	0,043	1,6	0,041	0,084	16,90
MAI	7,0	0,350	70,00	1,2	0,100	20,00	0,5	0,022	1,1	0,028	0,050	10,00
JUN	6,4	0,320	61,54	1,7	0,142	27,31	0,5	0,022	1,4	0,036	0,058	11,15
JUL	5,4	0,270	56,84	1,8	0,150	31,58	0,5	0,022	1,3	0,033	0,055	11,58
AGO	5,2	0,260	53,83	2,2	0,183	37,89	0,1	0,004	1,4	0,036	0,040	8,28
SET	4,4	0,220	44,27	2,0	0,167	33,60	1,7	0,074	1,4	0,036	0,110	22,13

TABELA 4 - PORCENTAGENS DE Ca, Mg e Na + K (em meq/l) NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI

MÊS	HCO ₃ (mg/l)	rHCO ₃ +CO ₃ * (meq/l)	%rHCO ₃ +CO ₃ (meq/l)	Cl(mg/l)	rCl	NO ₃ (mg/l)	rNO ₃	rCl+NO ₃ (meq/l)	%rCl+NO ₃	SO ₄ (mg/l)	rSO ₄	%rSO ₄ (meq/l)
ABR/79	31,0	0,508	78,64	1,3	0,037	0,02	0,0003	0,0373	5,77	10,0	0,104	16,10
MAI	34,0	0,492	94,09	0,5	0,014	0,01	0,0002	0,0142	2,4	2,0	0,021	3,55
JUN	28,0	0,459	92,91	0,5	0,014	0,02	0,0003	0,0142	2,87	<2,0	<0,021	4,25
JUL	37,0	0,607	94,4	0,5	0,014	0,03	0,0005	0,0145	2,26	<2,0	<0,021	3,27
AGO	30,0	0,492	93,18	0,5	0,014	0,03	0,0005	0,0145	2,75	<2,0	<0,021	3,98
SET	30,0	0,492	93,18	0,5	0,014	0,05	0,0008	0,0148	2,80	<2,0	<0,021	3,98
OUT	30,0	0,492	93,01	0,5	0,014	0,12	0,0019	0,0159	3,01	<2,0	<0,021	3,97
NOV	21,0	0,344	87,09	1,0	0,028	0,11	0,0018	0,0298	7,54	<2,0	<0,021	5,32
DEZ	14,0	0,230	56,37	5,5	0,155	0,11	0,0018	0,1568	38,43	<2,0	<0,021	5,15
JAN/80	23,0	0,377	91,28	0,5	0,014	0,07	0,0011	0,0151	3,66	<2,0	<0,021	5,08
FEV	18,0	0,295	85,51	1,0	0,028	0,07	0,0011	0,0291	8,43	<2,0	<0,021	6,09
MAR	24,0	0,393	86,03	1,5	0,042	0,05	0,0008	0,0428	9,37	<2,0	<0,021	4,60
ABR	28,0	0,459	92,91	0,5	0,014	0,02	0,0003	0,0143	2,89	<2,0	<0,021	4,25
MAI	28,0	0,459	92,73	0,5	0,014	0,03	0,0005	0,0145	2,93	<2,0	<0,021	4,24
JUN	29,0	0,475	90,65	1,0	0,028	0,02	0,0003	0,0283	5,4	<2,0	<0,021	4,00
JUL	24,0	0,393	91,76	0,5	0,014	0,02	0,0003	0,0143	3,34	<2,0	<0,021	4,90
AGO	26,0	0,426	90,45	0,8	0,023	0,07	0,0011	0,0241	5,09	<2,0	<0,021	4,46
SET	26,0	0,426	87,84	0,2	0,006	0,06	0,0010	0,0070	1,44	5,0	0,052	10,72

TABELA 5 - PORCENTAGENS DE HCO₃ + CO₃, Cl + NO₃ e SO₄ (em meq/l) NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI
* CO₃ AUSENTE

Os teores de fluor variaram de valores menores que 0,10 mg/l, registrados em nove amostras, até 0,94 mg/l.

Classificação das águas

Os teores mensais dos cátions: cálcio, sódio, potássio e magnésio e ânions: bicarbonatos, sulfato, cloreto e nitrato, convertidos em miliequivalente/litro (Tabelas 4 e 5), foram lançados no Diagrama de Piper, para a classificação das águas (Figura 10). Uma densidade de pontos, à esquerda dos campos, é observada, indicando poucas variações nas proporções relativas desses ions na água do rio, que é classificada como bicarbonatada cálcica. Esse resultado é esperado para regiões tropicais.

As concentrações de sulfato, cloreto e nitrato são bastante reduzidas, fato explicado pela litologia e pouca influência humana, enquanto que a intensa atividade biológica favorecida pelas abundantes precipitações, favorecem a formação e dissociação do ácido carbônico, vão justificar a predominância deste último ânion.

Como sobressaem terrenos sedimentares na bacia de drenagem, favorecendo inclusive a retenção do potássio, o cálcio é o cátion mais abundante.

4.2. Relações Características

Relação K/Na

Observa-se uma grande amplitude de variações na relação, K/Na, em meq, nas águas do Rio Paraguai. Seus valores variaram de 0,6 até 9,0, para uma média de 1,7, bastante superior às médias das para a América do Sul e para o mundo, calculadas a par-

DIAGRAMA DE PIPER

FIGURA 10

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI,
EM CORUMBA (MS), NO PERÍODO DE ABRIL/1.979
A SETEMBRO/1.980

tir dos dados de Livingstone (1963), 0,5 e 0,4, respectivamente. Essa diferença está relacionada aos teores de Na que nesses rios apresentam-se mais elevados.

De maneira geral a relação K/Na aumenta entre os períodos de maiores vazão e precipitação (Figura 11).

Nesse período aumenta o aporte de material para a planície, e o potássio tem seus teores reduzidos em relação ao sódio, pelo fato de que o sódio aumenta quando as águas estão acumuladas sobre os sedimentos argilosos da planície, possibilitando a troca entre essas bases e causando dessa forma a redução na relação entre ambos.

Relação Mg/Ca

Como o cálcio é o cátion predominante nas águas do Rio Paraguai, torna a relação Mg/Ca, em meq, geralmente menor que 1.

As variações dessa relação, durante abril de 1979 e setembro de 1980, oscilarem entre 0,3 e 1,2 (Tabela 6), para uma média de 0,7, que comparada aos dados de Livingstone (1967) para os rios da América do Sul, com 0,3, apresenta-se superior. Esse fato é justificado pelo teor médio de magnésio ser mais elevado no Rio Paraguai.

O aumento da relação é explicado pelo aumento do magnésio no período de maiores precipitações e menores vazões (Figura 11), quando o cálcio tem seus teores reduzidos, elevando nos períodos de cheia e reduzindo dessa forma a referida relação.

pH

Observou-se que o pH, medido em laboratório, das

MÊS	Mg	Ca	Mg/Ca	K	Na	K/Na
ABR/79	0,158	0,355	0,4	0,060	0,052	1,2
MAI	0,255	0,275	0,8	0,044	0,061	0,7
JUN	0,200	0,205	1,0	0,051	0,052	1,0
JUL	0,175	0,250	0,7	0,087	0,144	0,6
AGO	0,192	0,225	0,9	0,054	0,070	0,8
SET	0,108	0,355	0,3	0,046	0,056	0,8
OUT	0,192	0,260	0,7	0,046	0,043	1,1
NOV	0,150	0,180	0,8	0,041	0,030	1,4
DEZ	0,150	0,175	0,9	0,033	0,026	1,3
JAN/80	0,192	0,165	1,2	0,044	0,026	1,7
FEV	0,125	0,190	0,7	0,049	0,017	2,9
MAR	0,150	0,240	0,6	0,051	0,022	2,3
ABR	0,158	0,255	0,6	0,041	0,043	1,0
MAI	0,100	0,360	0,3	0,028	0,022	1,3
JUN	0,142	0,320	0,4	0,036	0,022	1,6
JUL	0,150	0,270	0,6	0,033	0,022	1,5
AGO	0,183	0,260	0,7	0,036	0,004	9,0
SET	0,167	0,220	0,8	0,036	0,074	0,5

TABELA 6 - RELAÇÕES Mg/Ca e K/Na NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI EM CORUMBÁ (em meq/l).

FIGURA 11
 VARIAÇÃO DAS RELAÇÕES POTÁSSIO/SÓDIO E MANGANÉSIO/CÁLCIO
 NAS ÁGUAS DO RIO PARAGURI EM CORUMBÁ

águas do Rio Paraguai, variou de 6,42 a 7,35 durante o período de abril de 1979 e setembro de 1980 (Tabela 7), apresentando uma média de 7,0.

Não se verificou nenhuma relação entre o pH e a vazão do rio (Figura 12). Deveria se esperar relativo aumento nos períodos de cheias, quando as águas têm, na planície, maior quantidade de matéria orgânica em decomposição, que lhe proporcionaria, juntamente com o acréscimo das águas das lagoas, um maior pH. Esse equilíbrio é atribuído a outras fontes, como a litologia da planície, que nesse período está coberta pelas águas. Sendo constituída por argilas e calcários, esta vai atuar na composição das águas, causando o equilíbrio.

4.3. Variações no Comportamento do Rio Paraguai em Corumbá

4.3.1. Vazão

Calculou-se a vazão a partir das alturas do Rio Paraguai, registradas na régua fluviométrica de Ladário, utilizando-se a fórmula deduzida pelo DNOS (Ministério do Interior, 1974):

$$Q = 20 h^2 + 210 h + 600$$

onde Q é a vazão do rio e h é a altura do rio em Ladário. (Tabela 6)

Verificou-se com os dados obtidos que não existe relação entre as precipitações e a vazão (Figura 12).

É justamente no período de menor pluviosidade que as águas atingem maior volume.

Os valores estimados para as vazões durante o período de abril de 1979 e setembro de 1980 oscilaram entre 1065

FIGURA 12

VARIAÇÃO DO pH COM A VAZÃO ESTIMADA DO RIO PARAGUAI E PRECIPITAÇÃO EM CORUMBA'

m^3/s e $2585 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 7).

Em consequência da extensão e pequena inclinação da planície aliadas à presença de verdadeiros diques transversalmente dispostos ao percurso das águas, no período de abril a julho são registrados os maiores valores de vazão enquanto que de outubro a fevereiro se verificam os menores valores.

A vazão média estimada para o período de abril de 1979 e setembro de 1980 foi de $1.685 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando-se a área drenada pela bacia acima do ponto de amostragem como aproximadamente 250.000 km^2 , temos a vazão específica para esse período que é $6,71/\text{s}/\text{Km}^2$.

4.3.2. Material em suspensão

A quantidade de material em suspensão transportada pelo Rio Paraguai variou de 19,9 a 58,6 mg/l (Tabela 7), com uma média de 37,1 mg/l.

Observou-se no período de amostragens que existe relação entre o material transportado em suspensão e a vazão (Figuras 13 e 14).

Como o período de maior vazão no ponto de amostragens corresponde ao período de menor pluviosidade sobre a bacia, deduz-se que, é também a fase que ocorre maior deposição de sedimentos, na planície, nesse momento invadida pelas águas. Esse fenômeno faz reduzir a quantidade de material em suspensão, enquanto o volume de água escoada é aumentado, justificando assim os baixos valores encontrados.

De maneira geral é relativamente pequena a quantidade de material removido da bacia, em suspensão, comparando-se a média calculada para o Rio Paraguai em Corumbá, com outros rios brasileiros, temos o Rio Amazonas, na foz, com 10 mg/l (Leinz e

MÊS	PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)	ALTURA DO RIO EM LADÁRIO (em m)	VAZÃO ESTIMADA (m ³ /s)	PH	TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)	MATERIAL EM SUSPENSÃO (mg/l)	RESÍDUO SECO
ABR/79	33,7	6,01	2,585	6,75	27,0	19,9	23,1
MAI	19,1	5,65	2,425	6,45	27,8	43,3	32,0
JUN	0,0	5,16	2,216	7,20	21,0	44,1	42,3
JUL	18,0	4,62	1,997	7,00	22,5	58,5	30,3
AGO	21,3	4,13	1,808	7,00	28,5	25,6	26,1
SET	16,8	3,62	1,622	7,30	24,0	40,9	25,8
OUT	62,4	2,95	1,394	6,95	31,0	45,5	34,7
NOV	121,8	2,23	1,168	7,30	29,5	28,5	72,1
DEZ	224,7	1,88	1,065	7,25	29,0	38,8	59,3
JAN	157,5	2,14	1,141	7,30	29,0	42,4	21,0
FEV	142,6	2,47	1,240	6,65	30,5	51,1	30,8
MAR	150,1	3,85	1,705	6,42	31,0	19,0	22,4
ABR	81,2	5,99	2,576	6,85	29,0	22,2	18,3
MAI	37,2	5,75	2,469	7,05	28,5	24,0	14,6
JUN	18,2	5,09	2,187	7,15	23,8	27,6	24,5
JUL	18,8	4,50	1,950	7,21	22,5	25,9	32,8
AGO	5,6	4,04	1,775	7,35	26,0	38,7	22,6
SET/80	50,6	3,52	1,587	7,00	24,0	22,8	33,3

TABELA 7 - DADOS DE VARIAÇÕES DE VAZÃO, PH, TEMPERATURA DA ÁGUA E MATERIAL TRANSPORTADO NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI E PRECIPITAÇÕES, EM CÔRUMBÁ.

FIGURA 13

MATERIAL TRANSPORTADO EM SUSPENSÃO PELO RIO PARAGUAI

Amaral, 1978); Bittencourt (1978) encontrou valores de pouco mais de 10,0 mg/l até superior a 2.000 mg/l para a bacia do Rio Ivaí no Paraná, bacia onde o material em suspensão está diretamente relacionado com as variações da vazão, ao contrário do que foi verificado para o Rio Paraguai em Corumbá.

Dessa forma quando a água escoar exclusivamente através dos leitos dos rios temos maior quantidade de material em suspensão, indicando um trabalho erosivo maior se processando principalmente nas cabeceiras, onde nesse momento ocorre maior pluviosidade.

O fato de predominar um relevo de baixas cotas, reduzindo a energia dos rios que processam maior erosão nas cabeceiras, somado ao fato de que, pelo menos no momento atual, não se explora a agricultura intensamente na região, também justificam os baixos valores de material transportado em suspensão pelas águas do Rio Paraguai. Deve-se considerar ainda que predominam, nas áreas ocupadas pelo homem, as pastagens que substituíram as florestas nativas, atividade agrícola que provoca menor erosão entre as demais.

Não se observou aumento na quantidade desse material em relação ao segundo ano de observações, indicando um equilíbrio, nesse período, entre a erosão e sedimentação.

4.3.3. Resíduo seco

Os valores obtidos de resíduo seco, transportado pelo Rio Paraguai, variaram entre 14,6 e 72,1 mg/l e a média desses valores foi de 34,0 mg/l (Tabela 7).

Esse material dissolvido se comporta da mesma maneira que o material transportado em suspensão, isto é, apresenta relação inversa com a vazão (Figura 15).

FIGURA 14

RELAÇÃO MATERIAL TRANSPORTADO EM
SUSPENSÃO x VAZÃO NAS ÁGUAS DO
RIO PARAGURI

FIGURA 15

**VARIAÇÃO DO MATERIAL TRANSPORTADO EM SOLUÇÃO
NAS ÁGUAS DO RIO PARAGUAI**

Esse fenômeno é causado pela diluição que se processa nessa fase, em toda a bacia, indicando a predominância de terrenos lixiviados na planície.

Observa-se que o material dissolvido aumenta com as precipitações, como é de se esperar, pois nesse período o volume escoado pelo rio é menor causando uma concentração maior nos teores.

Conclue-se que são as terras altas das cabeceiras e morros espalhados na planície, os principais responsáveis pelo aumento na quantidade de material em solução nas águas do rio, nos meses de menores vazões.

4.4. Efeitos do Material Transportado pelo Rio Paraguai no Alto Curso

O material dissolvido retirado anualmente da bacia a montante de Corumbá, totaliza 2.834.378 t, para uma área aproximada de 250.000 km² e fornece a denudação química, por Km², que é 11,38 t/km²/ano.

Anualmente são retirados 1.971.426 toneladas de material em suspensão, da área a montante de Corumbá, o que corresponde, aproximadamente, a 7,9 toneladas/km²/ano.

Esses valores, relativamente baixos, caracterizam o Rio Paraguai, até o ponto de coletas, como típico de planície.

É o bicarbonato o composto predominante nas águas do Rio Paraguai, que anualmente transporta, no ponto de coletas, 1.355.023 t desse composto (Tabela 8), juntamente com a sílica retirada anualmente da bacia, em quantidade de 636.790 toneladas. Os demais elementos e compostos são encontrados na tabela 8, onde se encontram respectivamente o aporte anual por km² e o total de retirado da bacia.

ELEMENTOS E COMPOSTOS EM SOLUÇÃO	TEOR MÉDIO (mg/l)	APORTE ANUAL (t/km ²)	RETIRADA ANUAL (toneladas)
Ca	4,8	1,02	255.063
Mg	1,9	0,40	100.963
Na	0,9	0,19	47.824
K	1,8	0,38	95.649
Fe	2,6	0,55	138.159
Al	0,62	0,13	32.946
HCO ₃	25,5	5,42	1.355.023
SO ₄	2,0	0,43	106.276
NO ₃	0,08	0,02	4.251
Cl	1,1	0,23	58.452
F	0,21	0,04	11.159
SiO ₂	12,1	2,57	642.972
TOTAL		11,38	2.834.378

TABELA 8 - ELEMENTOS E COMPOSTOS RETIRADOS ANUALMENTE DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAGUAI A MONTANTE DE CORUMBÁ
(ÁREA DRENADA, APROXIMADA = 250.000 Km²).

Os elementos e compostos retirados em maior quantidade, o cálcio, bicarbonato e sílica, que somam 79% do total, não sofreram aumento no segundo ano de observações, permanecendo o cálcio com a mesma média do primeiro ano. O bicarbonato sofreu uma ligeira redução, não compensada totalmente pelo ligeiro aumento nos teores de sílica, de modo que no total não houve aumento e sim um decréscimo na quantidade do material dissolvido retirado da bacia.

Pode-se concluir com esses resultados, que não ocorreu no período de amostragens um aumento na denudação química da bacia, provocada que seria, pelos desmatamentos que vem se processando continuamente na região das cabeceiras dos tributários do Rio Paraguai. Pelo menos o equilíbrio é observado no ponto de coletas, não se podendo afirmar o mesmo para as regiões superiores do Pantanal, que já sofrem as consequências da exploração descontrolada da terra, verificada através do assoreamento de pequenos cursos, segundo informações de navegadores.

Para um rio, cuja bacia de drenagem se desenvolve em terrenos de baixas cotas, em regiões tropicais, seria provável ter maior concentração de compostos dissolvidos. Esse fato não se verifica pela natureza dos terrenos predominantes na região. Na planície onde a litologia consiste basicamente em sedimentos arenosos lixiviados, com pequena quantidade de argila, atua o intemperismo químico, enquanto que nas cabeceiras o ataque físico é o responsável pelos teores relativamente baixos.

5. COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DO ESTUDO COM OUTRAS REGIÕES

O comportamento do Rio Paraguai acima de Corumbá pode ser estendido até a confluência com o Rio Apa, onde realmente termina o Pantanal Matogrossense.

Para isso deve-se considerar um atraso ainda maior entre o período de maior pluviosidade e as enchentes, além de entrarem na composição das águas uma parcela maior de compostos e elementos relacionados aos afloramentos de ferro e manganês, tanto do lado brasileiro como do boliviano, em Mutum. Tem maior contribuição, também, o imenso afloramento de calcários que constitui a Serra da Bodoquena, limite leste do Pantanal, que acompanha até o sul.

Assim espera-se na confluência com o Rio Apa ligeiras modificações nos teores de cálcio, bicarbonatos e ferro dentre os analisados neste estudo.

O Rio Paraguai no seu alto curso não apresenta características muito diferentes de outros rios brasileiros.

Comparando-se os valores apresentados por Livingstone (1963) para os rios sul-americanos com os calculados para os rios do mundo, nota-se que, com exceção do Fe, as concentrações são bastantes inferiores. Em relação aos teores médios do Rio Paraguai, a diluição é ainda maior, excetuando-se na concentração de magnésio.

Entretanto comparando-se os rios brasileiros apresentados na Tabela 9, muitos aspectos são comuns entre eles, no que diz respeito à composição das águas. O rio que apresenta maiores diferenças, sob esse aspecto, é o Paraíba, pelo fato de drenar terrenos compostos por rochas predominantemente cristalinas, numa faixa próxima ao litoral.

RIO	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	SiO ₂	HCO ₃ /CO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	TOTAL
RIO PARAGUAI EM CORUMBÁ (MS)	4,8	1,9	0,9	1,8	2,6	0,62	12,1	25,5	1,1	0,08	2,0	53,4
RIOS DO MUNDO (1)	15,0	4,1	6,3	2,3	0,67	-	13,1	58,4	7,8	1,0	11,2	119,9
AMÉRICA DO SUL (1)	7,2	1,5	4,0	2,0	1,4	-	11,9	31,0	4,9	0,7	4,8	69,4
RIOS DA BACIA DO PARANÁ (2)	3,4	1,9	2,0	1,4	0,72	0,086	15,4	18,4	2,1	1,25	7,4	46,63
RIO AMAZONAS EM ÓBIDOS (3)	5,4	0,5	1,6	1,8	1,9	-	10,6	17,9	2,6	-	0,8	43,1
RIO PARAÍBA EM CAMPOS (4)	3,4	3,8	4,8	0,8	0,06	0,02	4,3	30,5	7,1	-	-	54,8
RIO IVAÍ (PR) (5)	5,97	1,57	2,27	1,56	-	-	16,6	30,63	2,07	1,58	-	62,65

TABELA 9 -

RIO PARAGUAI EM CORUMBÁ - COMPARAÇÕES COM RIOS BRASILEIROS, DA AMÉRICA DO SUL E DO MUNDO (mg/l)

(1) LIVINGSTONE (1963)

(2) SZIKSZAY (1972)

(3) KATZER, 1903 (LIVINGSTONE, 1963)

(4) SZIKSZAY (1967)

(5) BITTENCOURT (1978)

Litologicamente as bacias apresentam pouca semelhança. A bacia do Rio Amazonas se desenvolve em terrenos na sua maior parte cristalinos e sedimentares. Os rios da Bacia do Paraná se assentam em terrenos onde, em grandes áreas, se expõem os derrames basálticos e as formações arenosas da bacia sedimentar homônima, já o Rio Paraguai se desenvolve em terrenos predominantemente sedimentares.

Observa-se porém que os teores encontrados nas águas desses rios, em relação a alguns elementos e compostos, podem ser considerados semelhantes. É o caso do cálcio, potássio e sílica.

As concentrações de bicarbonato e magnésio se apresentam em valores próximos nos Rios Paraguai, Ivaí e da Bacia do Paraná, embora este último elemento tenha origens diversas nessas bacias.

Os teores presentes nas águas do Rio Amazonas demonstram maior diluição em relação ao sulfato e magnésio justificada pela influência climática, sendo que o sódio e cloro, em concentrações mais elevadas indicam, provavelmente, maior contribuição atmosférica.

Os Rios Ivaí e da Bacia do Paraná apresentam maiores quantidades de nitrato que o Rio Paraguai, da mesma forma que o cloro, ambos indicando influência da ocupação humana.

Comparando-se a relação K/Na , em meq, nos rios citados, verifica-se que as águas do Rio Paraguai apresentam o valor relativamente elevado de 1,7, quando os demais não ultrapassam 0,7: o Rio Ivaí varia em torno de 0,32 (Bittencourt op. cit.) e os rios da Bacia do Paraná aproximadamente 0,6.

A concentração de sódio nas águas do Rio Paraguai, em Corumbá, sendo muito inferior à dos demais rios, justi-

fica o aumento dessa relação para este rio.

Já a relação Mg/Ca, em meq, se apresenta em valores semelhantes nos Rios Paraguai e Ivaí, com 0,7 e em torno de 0,6, respectivamente, sendo entretanto inferior nos rios da Bacia do Paraná, que tem para essa relação o valor aproximado de 0,3 (Szikszay op.cit.), demonstrando a influência climática nos primeiros e litológica nos últimos.

O material transportado em suspensão pelo Rio Paraíba atinge 694 mg/l e pelo Rio Amazonas 135 mg/l (Leinz e Amaral op.cit.). O Rio Avaí tem em suas águas o valor de 118 mg/l (Bittencourt op.cit.) de material em suspensão e o Rio Paraguai 37,1 mg/l. Esses valores de material retirado em suspensão demonstram o equilíbrio em que se encontra a bacia hidrográfica desse rio, onde a erosão mecânica ocorre em quantidades reduzidas, justificadas pela suavidade do relevo e pequena influência humana.

Em relação ao material dissolvido retirado anualmente o Rio Paraguai transporta $2,8 \times 10^6$ t, enquanto que o Rio Amazonas retira 170×10^6 t (Katzer in Leinz e Amaral, op.cit.) e os rios da Bacia do Paraná aproximadamente $3,8 \times 10^6$ t (Szikszay op.cit.) demonstrando o estado de lixiviação mais avançado na primeira bacia.

6. CONCLUSÕES

Muitos fatores contribuem para a composição das águas do Rio Paraguai em Corumbá, MS. Enquanto a litologia define a qualidade do material transportado em solução, o clima determina, fundamentalmente, a quantidade desse material.

O relevo, relativamente suave, é o responsável pela reduzida quantidade de material transportado pelas águas desse rio.

O fato de ocorrer sobre uma região de topografia suave, como a planície do Pantanal, vindo de regiões não muito elevadas, somado à predominância de terrenos sedimentares lixiviados na sua área de drenagem e ao grande volume de água acumulado, justificam os teores relativamente baixos nas águas do rio.

O regime do Rio Paraguai em Corumbá é diferente da maioria dos rios, pois sua vazão não corresponde às precipitações de chuvas.

Pela extensão da planície, enquanto numa região se desenvolvem grandes enchentes, com as águas invadindo os campos, conectando lagoas, em outras regiões ocorre o contrário, com os rios atingindo suas menores vazões. Esse fato atualmente justificado pela pequena inclinação da planície, deve ter outra origem conjunta, que provavelmente se relaciona com a circulação das águas nos terrenos calcários.

Os teores de bicarbonato, cálcio, potássio e sódio, nas águas do Rio Paraguai, em Corumbá, aumentaram quando a vazão do rio aumentou, ou seja, nos períodos de menor pluviosidade, quando as águas estão acumuladas na planície, onde predominam os sedimentos argilosos e calcários.

O alumínio, ferro e nitrato foram os elementos e compostos que reduziram seus teores nas águas do rio, quando estas aumentaram suas vazões, coincidentemente no verão. Os demais elementos e compostos, magnésio, sílica e sulfato não apresentaram variações importantes com as estações. O cloro mostrou sua principal origem, no ponto de coletas, que é a atmosférica, pois apresentou visível relação com as precipitações.

Os elementos menores, presentes em baixas concentrações, fluor, cobre e níquel permaneceram praticamente constantes.

A litologia da planície fornece maiores quantidades de sódio e sulfato, e juntamente com as cabeceiras constituem as fontes de bicarbonato, cálcio, cloro, ferro e magnésio.

A litologia das cabeceiras dos diversos tributários da bacia, fornecem principalmente o alumínio, potássio e a sílica.

As águas desse rio são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, evidenciando a influência do clima tropical e litologia da região.

Atualmente são retirados, aproximadamente, da bacia do Rio Paraguai, a montante de Corumbá, $2,83 \times 10^6$ toneladas de elementos e compostos químicos em solução e $1,97 \times 10^6$ t em suspensão, o que indica que de maneira geral a bacia encontra num estágio de equilíbrio entre a erosão e sedimentação, fato verificado pela redução observada nos materiais retirados em suspensão e em solução, além dos baixos teores dos elementos e compostos presentes nas águas do rio, indicativo também de terrenos muito lixiviados que são drenados por essas águas.

7. BIBLIOGRAFIA

ALLEN, J.R.L. - 1966 - A Review of the Origin and Characteristics of Recent Alluvial Sediments. *Sedimentology*, vol.5, nº 1:191p.

ALMEIDA, F.F.M.de - 1964 - Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. D.N.P.M. - Bol.215, p.133. Rio de Janeiro.

ALMEIDA, F.F.M.de - 1965 - Geologia da Serra da Bodoquena.MME-DNPM. Vol.219, 96p. Rio de Janeiro.

ALMEIDA, F.F.M.de - 1967 - Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. MME-DNPM. Bol.241, 36p. Rio de Janeiro.

AHFELD, F.; BRANISA, L. - 1960 - Geologia de Bolivia - Instituto Boliviano de Petróleo - Ed.D.Bosco - 245p. La Paz.

BARROS, A.M; CARDOSO, O.R.F.A.; SOUZA, JR,A.J.; RIVETTI, M. e LUZ, D.S. - 1981 - Geologia Pré-Cambriana da Folha SD.21 Cuiabá - Ata do 1º Simpósio de Geologia do Centro- Oeste -Geologia do Pré-Cambriano - p.134-152, Goiânia.

BITTENCOURT, A.V.L. - 1978 - Sólidos Hidrotransportados na bacia hidrográfica do Rio Ivai: Aplicação dos Balanços Hidroquímicos na compreensão da Evolução dos Processos da Dinâmica Externa. Tese de Doutorado apresentada ao IGUSP, 201p.

BRASIL-DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - 1981 - Posicionamento e Potencialidades das Unidades Estratigráficas de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. (em revisão).

BRASIL-MINISTÉRIO DO INTERIOR - 1974 - I Encontro do PRODEPAN - Pantanal, nova Fronteira Econômica - Conferência e Pro

posição. Subsídios.

BRASIL-MINISTÉRIO DO INTERIOR;DEPARTAMENTO DE OBRAS E SANEAMENTO-
- 1974a - Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai.
vols. 1-4, Brasília.

BRASIL-MINISTÉRIO DO INTERIOR - 1978 - Diagnóstico geo-sócio-econômico da Região Centro-Oeste do Brasil-Setor geo-ecologia - Universidade de Brasília - Dept.de Economia (convênio com a SUDECO) 401p. Brasília.

BRASIL-MINISTÉRIO DO INTERIOR-SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO CENTRO-OESTE - SUDECO - 1979 - Estudo de Desenvolvimento Integrado do Alto Paraguai-EDIBAP- Relatório da 1a. Fase - Tomo II - Brasília.

BRASIL-SERVIÇO DE PROTEÇÃO AO VÔO DE CORUMBÁ - 1980 - Climatologia Registros diários.

BRASIL-SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DO OESTE-BASE FLUVIAL DE LADÁRIO - 1980 - Livro de Registros das Alturas diárias do Rio Paraguai em Ladário.

BRAUN, E.H.G. - 1977 - Cone Aluvial do Taquari, Unidade Geomórfica Marcante na Planície Quaternária do Pantanal - Revista Brasileira de Geografia - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - nº 4 - p.1-224. Rio de Janeiro.

CASTANY, G. - 1967 - Traité Pratique Des Eaux Souterraines - Deuxième Édition - Dunod - 661p. Paris.

CLARKE, F.W. - 1924 - The Composition of the River and lake waters of the United States: U.S. geol.Survey Professional Paper 135, p.1-199.

- CORREA, J.A. - 1979 - Geologia das Regiões Centro e Oeste de Mato Grosso - Projeto Bodoquena - DNPM - 111p. Brasília.
- CORREA FILHO, V. - 1945 - Pantanaís Matogrossense - Devassamento e Ocupação - IBGE/Conselho Nacional de Geografia - 170p. Rio de Janeiro.
- CORREA FILHO, V. - 1969 - História de Mato Grosso - Instituto Nacional do Livro-Ministério de Educação e Cultura - p. 723 - 741. Rio de Janeiro.
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M.R. - 1976 - Hidrologia Subterrânea- Tomo I - Editora Omega S.A. - 1.157 - Barcelona.
- CUNHA, N.G. da - 1980 - Considerações sobre os Solos da Sub- Região da Nhecolândia, Pantanal Matogrossense - Circular Técnica nº 1 - EMBRAPA - 45p. CORUMBÁ-MS.
- DAVIS, S.N. - 1964 - Sílica in Streams and ground water-American Journal of Science vol.262, p.870-891.
- DEL'ARCO, J.O.; TARAPANOFF, I; PEREIRA, L.G.M.; SOUZA, S.L. e LUZ, D.S. - 1981 - Geologia do Pré-Cambriano na Folha SE 21 -Corumbá - 1º Simpósio de Geologia do Centro-Oeste-Resumos. p. 154-176. Goiânia.
- DURUM, W.H. e HAFTY, J. - 1963 - Implications of the minor element content of some major steams of the world - geochimica et cosmochimica Acta, vol. 27, p.1-11.
- FOURNIER, F. - 1977 - Estimation des Paramètres de l' Erosion et des Quantités des Sediments dans les Bassins Fluviaux où les Donnée sont Insuffisantes - Relations entre l'Erosion - et les Quantités de Sediments et leurs Facteurs Climatiques du Bassin Versant et sur Lit-même-Hydrological Sciences-Bulletin des Sciences Hidrologiques, XXII, p.4-12.

- GIBBS, R. - 1967 - The Geochemistry of the Amazon River System - Part I - Geological Society of América Bulletin- vol.78, nº 10, p. 1203-1232.
- GIBBS, R. - 1977 - Transport Phases of Transitions metals in the Amazon and Yukon Rivers - Geol. Soc. Am. Bull. jun.vol. 88, nº 6, p.737-896.
- HAUBERT, M. - 1976 - Bilan Hydrochimique d'un Bassin Versant de Moyenne Montagne. La Dranse de Bellevaux (Brévon), Haute-Sa_uvoie-Bulletin du Bureau de Recherches Geologiques et Miniere-Sec. III-nº 1/2-p.5-31.
- HYPOLITO, R. - 1972 - Estudo Experimental de Alteração Intempé_ri_ca de Diabásios - Tese de doutoramento IGUSP. 103p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO -1980
Estudo de Reaparelhamento da Frota para Transporte de Cargas nos Rios Paraguai e Paraná - Fase 1 - Projeto e Concepção de Embarcações - Minuta Apresentada à Superintendência Nacional de Marinha Marcante - São Paulo. Inédito.
- KOVACS, G. - 1978 - Hydrology and Water Control on Large Plains-Hydrological Sciences - Bull. des Sciences Hydrologiques - 23,3,9. p.305-332.
- KRAUSKOPF, B. - 1972 - Introdução à Geoquímica - V.I. Ed. Polígono-Ed.Universidade de São Paulo-SP. 294p.
- LEINZ, V.; PAIVA, G. - 1939 - Contribuição para a Geologia do Petróleo no Sudeste de Mato Grosso - DNPM-DFPM - nº 37 - 98p. Rio de Janeiro.
- LEINZ, V.; AMARAL, S.E. - 1978 - Geologia Geral - Companhia Editora Nacional - 7a.ed. 397p. São Paulo.

- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. e MILLER, J.P. - 1964 - Fluvial Processes in Geomorphology - W.F.Freeman and Company - 522p. - San Francisco an London.
- LIVINGSTONE, D.A. - 1963 - Date of Geochemistry, Chapter; Chemical composition of Rivers and lakes Geological survey Professional Paper-440-G-GL- 652p.
- LOUVRIER, M. - 1976 - Acquisition et traitements des Données Hydrogeochimiques - Exemples d'application. Tese apresentada à Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 174p.
- MASON, B.H. - 1971 - Principios de Geoquímica - Trad.Editora Polígono-Editora da Universidade de São Paulo - 403p. São Paulo.
- MELFI, A.J. - 1971 - Influência da sílica na evolução dos geles amorfos de Fe III: estudo experimental simulando condições tropicais úmidas e bem drenadas - Tese de Livre Docência apresentada ao IGUSP. 90p.
- MOREIRA, M.A.N. - 1977 - Geografia do Brasil - vol.4 - Região Centro-Oeste - Capítulo Relevô - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - p.1-34. Rio de Janeiro.
- NIMER, E. - 1977 - Geografia do Brasil - vol.4 - Região Centro - Oeste - Capítulo Clima - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - p.35-58 - Rio de Janeiro.
- NORDEL, E. - Water Treatment for Industrial and Other Uses 2a. ed. Reinhold Publishing Corporation - New York.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS - 1969 - Bacia do Prata - Estudo para sua Planificação e Desenvolvimento - Inventários de dados Hidrológicos e Climáticos - Relatório período 1967

-1968 - 309p. Washington.

OKAMOTO, G.; OKURA, T. e GOTO, K. - 1957 - Properties of Silica in water. *Geochimica et cosmochimica Acta*, vol.12, p.123-132

OLIVATTI, O. - 1981 - Problemas Estratigráficos do Pré-Cambriano, na Região Sudoeste do Estado de Mato Grosso. Tentativa de Correlação com a Geologia do Oriente Boliviano. Ata do Iº Simpósio de Geologia do Centro-Oeste: Geologia do Pré-Cambriano. p.196-211. Goiânia.

PENALVA, F. - 1973 - Reconhecimento Geológico da Faixa Pré-Cambriana na Borda Leste do Pantanal, Mato Grosso. *Bol.Geogr.* 32-232 - jan/fev, p. 1-31. Rio de Janeiro.

PEREIRA, J.V. - 1974 - Pantanal - *Rev.Bras. de Geogr.* 6 (2) - 281-5-abril/junho.

POVINELLI, J. e PARAGUASSU, A.B. - 1966 - Geoquímica das águas dos Rios: Quilombo, Chibarro, Araras e Negro, S.P. XVIII Reunião Anual da SBPC, Blumenau, SC. Ciência e Cultura, vol.18, nº 2, 210p. São Paulo.

SANTOS, M.J.; BRINO, W.C. - 1975 - Considerações sobre Índices Térmicos e Hídricos e sua Utilização para a Caracterização Climática do Espaço. *Boletim Geográfico* nº 247 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - p.115-127. Rio de Janeiro.

SERRA, A. - 1975 - Climatologia do Brasil - *Bol.Geográfico* 34 (247) - out.dez. Rio de Janeiro.

SOUZA, H.B. e DERISIO, J.C. - 1977 - Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água - CETESB - São Paulo - 257p.

SOUZA, L.G. - 1973 - História de Uma Região: Pantanal e Corumbá - vol. I. Ed. Resenha Tributária Ltda. São Paulo.

- SOUZA, L.G. - 1978 - Bacia do Paraguai: Geografia e História - Departamento de Documentação e Divulgação - Brasília.
- SZIKSZAY, M. - 1967 - Exame espectrográfico semi-quantitativo de elementos traços na água do Rio Paraíba, Bol. Soc.Bras.Geol. vol.16, nº 2, p.61-77.
- SZIKSZAY, M. - 1972 - Aspectos Geoquímicos de Rios da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado IGUSP - 126p.
- VALVERDE, O. - 1972 - Fundamentos Geográficos de Planejamento do Município de Corumbá - Rev.Bras. de Geogr. 34(1): 49-144 - jan/mar. Rio de Janeiro.
- VILLELA, S.M. e MATTOS, A. - 1975 - Hidrologia Aplicada - McGraw-Hill do Brasil - 245p.