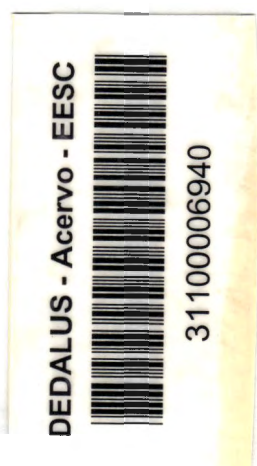


15198
✓

ENTRADAS NÃO FLUVIAIS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA REPRESA DO RIBEIRÃO DO LOBO

Sebastião Átila Fonseca Miranda



Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia ambiental

ORIENTADOR : Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar

São Carlos
1997



Classe	TESE - EESC
Curr.	3739
Título	T0008/76

311.09006940

S1/5 943 253

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

M672e Miranda, Sebastião Átila Fonseca
Entradas não fluviais de nitrogênio e fósforo na
Represa do Ribeirão do Lobo / Sebastião Átila Fonseca
Miranda. -- São Carlos, 1997.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1997.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Bohdan Matvienko Sikar.

1. Interação lago-água subterrânea. 2. Fluxo de
nutrientes. 3. Balanço de fósforo. 4. Balanço hídrico
em represa. 5. Fluxos subterrâneos de Nitrogênio e
Fósforo. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado SEBASTIÃO ÁTILA FONSECA MIRANDA

Tese defendida e aprovada em 10-11-1997
pela Comissão Julgadora:

Bohdan Matvienko

Prof. Doutor **BOHDAN MATVIENKO SIKAR (Orientador)**
(Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Arthur Mattos

Prof. Doutor **ARTHUR MATTOS**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Evaldo Luiz Gaeta Espindola

Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

José Eduardo dos Santos

Prof. Titular **OSÉ EDUARDO DOS SANTOS**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

José Salatiel Rodrigues Pires

Prof. Doutor **OSÉ SALATIEL RODRIGUES PIRES**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Maria do Carmo Calijuri

Profª. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental

Jose Carlos A. Cintra

JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

AGRADECIMENTOS

No decorrer do curso de doutorado tive oportunidade de receber ajuda de muitas pessoas, sendo que várias delas deram muito mais que uma simples contribuição, ou seja, se envolveram de fato com o trabalho. Portanto fica difícil mencionar qualquer nome e estes agradecimentos se restringirão apenas às instituições.

Ao INPA, órgão em que trabalho e onde me foram dadas condições e incentivos para realizar este curso.

A USP, pela estrutura oferecida, pelo excelente quadro de profissionais em todos os níveis e pelo plano de assistência médica que dá aos alunos mais tranquilidade para se dedicarem às suas atividades acadêmicas.

Ao CNPq e a CAPES, pelas bolsas e auxílios oferecidos.

A CONSTRUMAQ – São Carlos, por fabricar um sensor de nível baseado na condutividade elétrica da água, o qual foi muito útil neste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO.....	6
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O AMBIENTE.....	11
4.1 Localização.....	11
4.2 Clima.....	11
4.3 Solos.....	11
4.4 Condição da represa em relação ao aquífero.....	13
4.5 Morfometria da represa.....	14
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	15

5.1 Água subterrânea.....	15
5.1.1 Coletas de água do lençol freático.....	15
5.1.2 Entrada de água na represa via escoamento subterrâneo.....	19
5.2 Condutividade hidráulica.....	21
5.3 Água da chuva.....	26
5.4 Análise dos nutrientes.....	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1 Utilização geral dos piezômetros.....	29
6.2 Condutividade hidráulica.....	35
6.3 Águas dos rios.....	37
6.3.1 Fluxos de entrada.....	37
6.3.2 Concentração de fósforo total.....	37
6.4 Água subterrânea.....	40
6.4.1 Fluxos subterrâneos.....	40
6.4.2 Concentrações de nitrogênio e fósforo.....	43
6.5 Água da chuva.....	49
6.6 Água dentro do reservatório.....	58
6.7 Sedimentos.....	60
6.8 Balanço.....	61
7 CONCLUSÕES.....	64
8 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	66
9 BIBLIOGRAFIA.....	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Classificação de lagos (Boyle, 1994).....	02
FIGURA 02 - Distribuição de linhas de fluxo de água subterrânea entrando em um lago.....	09
FIGURA 03 - Mapa da represa do Ribeirão do Lobo.....	14
FIGURA 04 - Localização dos piezômetros em volta da represa.....	16
FIGURA 05 - Método de Hvorslev.....	22
FIGURA 06 - Gráfico para determinação de T (Basic time lag).....	24
FIGURA 07 - Esquema dos piezômetros utilizados neste trabalho.....	25
FIGURA 08 - Comparação entre os registros de chuva no pluviômetro do CRHEA e nos baldes.....	27
FIGURA 09 - Variações nos níveis dos piezômetros e da represa nas diversas datas, com base em uma data específica para cada caso (a , b , c e d) naquele período.....	31
FIGURA 10 - Mostra a altura h do nível do lençol freático em relação ao nível da represa, a distância d da margem ao ponto onde se mede h	32
FIGURA 11 - Variação da altura do nível do lençol com a distância da margem nos quatro solos.....	34
FIGURA 12 - A) Tipos de solos fronteiros às margens da represa. B) linhas representando estas fronteiras e o comprimento das mesmas.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Profundidade em que os piezômetros penetram no lençol freático com as devidas flutuações e as variações no nível da represa acima da cota 703m. Todos os valores em centímetros.....	30
TABELA 02 - Variação da altura do nível do lençol freático com a distância da represa e o gradiente hidráulico i resultante da maior razão h/d	33
TABELA 03 - Variação da altura do nível do lençol freático com a distância da represa e o gradiente hidráulico i resultante da maior razão h/d para os solos TEd, Tu e AQV ₁	33
TABELA 04 - Valores das condutividades hidráulicas obtidas em teste de campo para os quatro tipos de solos.....	35
TABELA 05 - Mostra os procedimentos para determinar a condutividade hidráulica, a partir da altura (h) no tempo (t).....	36
TABELA 06 - Condutividades hidráulicas obtidas em laboratório para o solo TEd.....	36
TABELA 07 - Valores das vazões de entrada e saída da represa, inclusive os de entrada por escoamento subterrâneo e os procedimentos adotados para obtê-los, no período de 24/01/96 a 13/01/97. Todos os valores em l/s.....	38
TABELA 08 - Concentração de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) nos principais tributários da represa e no rio Jacaré Guaçu em amostragens realizadas em 1996.....	39
TABELA 09 - Valores médios das vazões, concentrações e as respectivas massas de fósforo total que entram na represa pelos tributários e saem pelo rio Jacaré Guaçu, nos períodos considerados.....	39
TABELA 10 - Vazão média mensal de água subterrânea através de cada solo nos períodos seco e chuvoso.....	41
TABELA 11 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT) nas seqüências A, E e F do solo AQV ₂ em 02/04/96. Valores em $\mu\text{g/l}$	43
TABELA 12 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), para as seqüências A, B e C nos so-	

los AQV ₂ , em 14/05/96. Valores em µg/l.....	44
TABELA 13 - Valores de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT) em todas as seqüências do solo AQV ₂ , em 30/05/96. Todos os valores em µg/l.....	44
TABELA 14 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), para as seqüências B, D e F nos solos AQV ₂ , em 08/07/96. Valores em µg/l.....	45
TABELA 15 - Dados de fósforo total (µg/l) nas seqüências B, D e F nos solos AQV ₂ (além de B ₁ linha), em 26/08/96.....	45
TABELA 16 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), para a seqüência TR nos solos TED em 16/05/96 e 30/05/96. Valores em µg/l.....	45
TABELA 17 - Mostrando os valores de fósforo (µg/l), em vários dos piezômetros instalados ao redor da represa do Lobo. Na coluna da esquerda estão as datas das coletas.....	46
TABELA 18 - Médias de concentrações nos períodos seco e de chuvas para os quatro tipos de solos.....	47
TABELA 19 - Dados de Nitrogênio Kjeldahl (mg/l), em vários piezômetros em volta da represa e as datas de coletas das amostras.....	48
TABELA 20 -Dados de concentrações das várias formas de nitrogênio em água de chuva, juntamente com as datas das coletas. Em cada parâmetro temos a concentração na amostra (mg/l ou µg/l) e a massa total (mg tot. ou µg/ tot.) transportada pela chuva.....	51
TABELA 21 - Dados de nitrogênio Kjeldahl na água da chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações (mg/l) e a massa total (mg tot.) transportada pela chuva.....	52
TABELA 22 - Dado de nitrogênio Kjeldahl na água da chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações (mg/l) e a massa total (mg tot.) transportada pela chuva.....	53
TABELA 23 - Dados de concentrações, várias formas de fósforo na água da chuva, juntamente com as datas das coletas. Em cada parâmetro temos a concentração na amostra (µg/l tot.) transportada pela chuva.....	54
TABELA 24 - Dados de fósforo total em água de chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações (µg/l) e a massa to-	

tal ($\mu\text{g/l tot.}$) transportada pela chuva.....	55
TABELA 25 - Dados de fósforo total em água de chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações ($\mu\text{g/l}$) e a massa total ($\mu\text{g tot.}$) transportada pela chuva.....	56
TABELA 26 - Dados de concentrações de nitrato e fósforo total em águas de chuva, na região da represa do Lobo, segundo Moraes (1978).....	57
TABELA 27 - Quantidades de fósforo total, nitrogênio total e nitrogênio Kjeldahl depositados pelos respectivos milímetros chovidos durante os períodos de coleta.....	57
TABELA 28 - Mostrando valores anuais depositados por precipitação em três regiões diferentes. O Rawson Lake mostra variações em quatro anos (1970-1973).....	58
TABELA 29 - Médias das concentrações de fósforo total em amostras de água de superfície, coletadas em quatro diferentes pontos da represa, no período de novembro de 1974 a fevereiro de 1976. Valores em $\mu\text{g/l}$ (Moraes, 1978).....	59

Resumo

Neste trabalho são apresentados dados de nitrogênio e fósforo, relativos a interações que um ambiente aquático de superfície (Reservatório do ribeirão do Lobo) realiza com a água subterrânea adjacente e com a precipitação direta.

Balanços de água realizados neste reservatório, durante o ano de 1996, mostram que existe uma contribuição significativa de entrada através do lençol freático, constituindo-se em valores que vão desde 30 a pouco mais de 40% do total de entradas na estação seca, atingindo percentuais mais elevados na estação chuvosa. Esta água possui concentrações de nitrogênio total que são em média maiores que as da represa e as concentrações das formas de fósforo são em média menores.

As amostras de água de chuva foram coletadas em dois períodos distintos, quais sejam, 21/10 a 23/12/1994 e 26/10/1996 a 11/02/1997. Existem variações consideráveis nos teores de nitrogênio e fósforo de um período para o outro, sendo também estes teores, em geral, maiores que os encontrados na represa.

Um balanço de fósforo é realizado, o qual mostra que o reservatório está estocando este elemento.

ABSTRACT

In this work are shown nitrogen and phosphorus data, regarding interactions of a surface water environment (Ribeirão do Lobo Reservoir) with adjacent groundwater and direct rainfall.

Water budget calculations carried out in this reservoir, in 1996, show that there is a significant input of groundwater, made up of values which range from 30 to a little more than 40% of the total input in the dry season, and reaching higher values in the rainy season. This water shows nitrogen concentrations which are, on average, higher than those of the reservoir. Phosphorus concentrations are lower, on average, when compared with those of the reservoir.

Rain water samples have been collected in two different periods which were, 21 October 1994 to 23 December 1994, and 26 October 1996 to 11 February 1997. There are considerable variations in the nitrogen and phosphorus contents from one period to the other, being these values, generally, higher than those found in the reservoir.

A budget of phosphorus is carried out showing that the reservoir is stocking this element.

1 - INTRODUÇÃO

Os ecossistemas sobrevivem por trocar matéria e energia com suas vizinhanças, as quais também necessitam destas trocas, pois são igualmente sistemas ecológicos. Essas trocas (entradas e saídas) se dão em forma de fluxos, que devem ser bem caracterizados para determinar o grau de importância e o mecanismo de atuação dos mesmos. Os vários tipos de ambientes aquáticos existentes, estabelecem interações de fluxos entre si e com outros sistemas através de suas fronteiras.

Entre um corpo de água e o ambiente terrestre que o rodeia, podem ser estabelecidas inúmeras opções que possibilitem a troca de energia e nutrientes e, de acordo com Likens e Bormann (1974), os vetores (veículos) que transportam energia e matéria podem ser categorizados como meteorológicos, geológicos e biológicos. O movimento do ar transportando água e substâncias dissolvidas, matéria particulada e gases se constitui no vetor meteorológico. O movimento gravitacional de material dissolvido ou em suspensão na drenagem superficial e sub superficial, e o movimento de massas de materiais coluviais se constitui no vetor geológico. E os animais são os vetores biológicos. As trocas de matéria e energia que ocorrem entre um corpo de água e o lençol freático estão categorizadas nos vetores geológicos. O interesse pelo estudo destas trocas ganhou força só recentemente, principalmente no que diz respeito ao enfoque limnológico. Boyle (1994), classifica lagos de deposições glaciais em seis diferentes tipos, de acordo com as características e as contribuições relativas de águas subterrâneas e de superfície (Fig. 1), e considera ainda que outros tipos possam ser criados dentro desta classificação. O problema é que nem sempre é simples verificar se existem contribuições significativas de água, ou qualquer substância veiculada pela mesma no sentido do lençol freático para o lago ou vice versa, e identificar os locais na fronteira por onde estas estão se realizando.

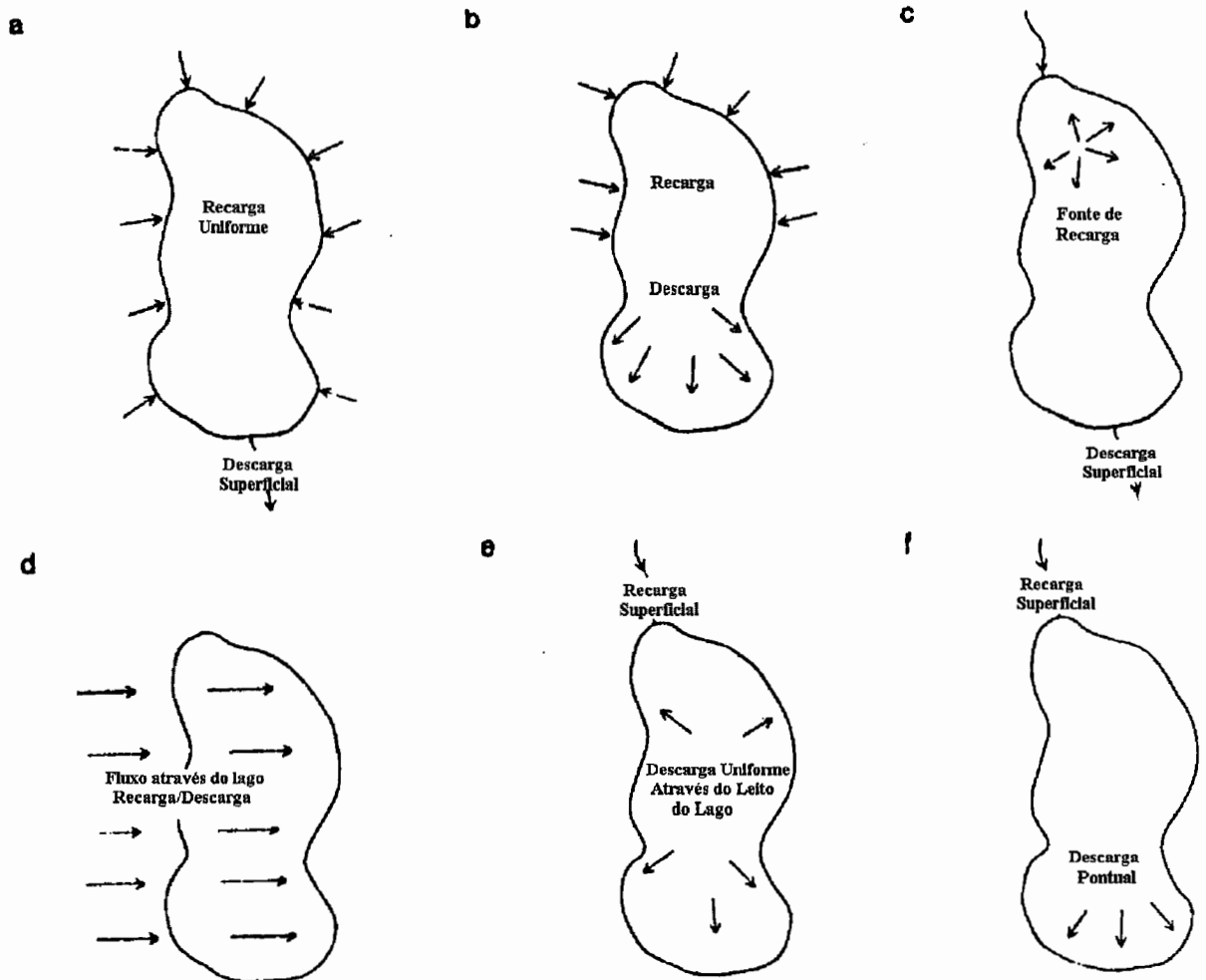


FIGURA 1 - Classificação de lagos (Boyle, 1994)

Os componentes que afetam o volume de água em um lago são todos mensuráveis ou, como no caso da evaporação, calculados por fórmulas padrões. No caso da água subterrânea, os fluxos que entram ou saem, podem não ser medidos de maneira acurada devido à complexidade geológica da subsuperfície e a detalhada metodologia de campo requerida para caracterizar a hidroestratigrafia (Crowe, 1990). Este autor comenta ainda que, por conveniência, estudos típicos assumem que a água subterrânea tem pouco significado no balanço, ou então este componente é completamente ignorado. De fato, é comum encontrar nos trabalhos que abordam este tipo de interação, alusões às

dificuldades metodológicas, o que demonstra ser uma tarefa muito árdua determinar, mesmo de uma forma não muito detalhada, os padrões de infiltração nas fronteiras entre os corpos de água superficial e subterrânea e fazer a quantificação destes fluxos. Além disso, se as atividades antrópicas desenvolvidas na bacia de um ambiente aquático que seja alimentado por água subterrânea forem dos mais variados tipos, de maneira que venham afetar a composição do lençol freático em diferentes pontos e com intensidades diferentes, aí então, deverá ser considerada mais esta complexidade, a qual obrigará uma quantificação melhor dos fluxos que servem como veículos para transportar compostos químicos que vão ditar a qualidade da água subterrânea e com isto, afetando também por este meio, as águas superficiais.

Os mananciais subterrâneos têm sido alvo de constante preocupação, o que se justifica tanto pela deteriorização a qual vêm sendo submetidas as águas superficiais, como também pelo aumento da demanda de água causado pelo crescimento populacional. A exploração em larga escala destes mananciais através de poços tem-se tornado uma opção imediata para a utilização destes recursos. Por isso, há uma tendência crescente por parte das autoridades, em proteger estes recursos contra as contaminações que possam inviabilizar sua utilização e em tornar a exploração mais racional, considerando que este recurso não é inesgotável.

Voltando a falar das interações entre águas subterrâneas e superficiais, temos visto que muitos dos trabalhos encontrados nesta área procuram enfocar a atuação da vegetação ripária e das áreas alagadas na retirada de nutrientes da água subterrânea, advindos das diversas atividades antrópicas (Cooper, 1990; Hanson et.al., 1994; Schnabel et. al., 1996; Groffman et. al., 1996). Contudo, não é somente pelas atividades antrópicas que a água subterrânea vai interferir na água superficial, uma vez que existem ainda aquelas formas naturais que variam de acordo com fatores tais como, a geologia da localidade que pode promover interferências tanto químicas como físicas e a topografia que pode forçar ou não o lençol freático a entrar em contato com os horizontes dos solos, fazendo com que esta água, em caso de contato, adquira características que estavam ausentes no seu percurso anterior até este ponto.

Com respeito a água da chuva, sabe-se basicamente que este vetor meteorológico atua fornecendo matéria e energia aos sistemas aquáticos, como também substâncias nocivas. A composição química desta água vai variar de região para região de acordo com as características geomorfológicas, posição em relação a orla marinha e também conforme as atividades praticadas em cada uma. Em regiões urbanizadas, por exemplo, a atmosfera está sempre cheia de óxidos de

vários elementos que podem produzir ácidos através de reações com a molécula de água. Nitratos e nitritos são exemplos de compostos que podem resultar de tais reações, bem como a amônia que, devido a sua volatilidade, é abundante na atmosfera. Além dos compostos inorgânicos anteriormente mencionados, às formas orgânicas de nitrogênio também estão presentes na água da chuva, sendo as vezes bem representada, como é o caso da bacia de drenagem do Rhode River mencionada no trabalho de Peterjohn e Correl (1984), onde a quantidade de nitrogênio orgânico representa quase a metade do nitrogênio total. O fósforo também é um elemento presente na atmosfera, por isso a água de chuva constitui-se numa fonte de mais este elemento por precipitação direta no corpo de água.

Medidas realizadas nos fluxos de águas superficiais que entram e saem da represa do Lobo têm demonstrado que no balanço hídrico, existem contribuições de entrada (input) que não são provenientes dos rios e córregos que desaguam na mesma. Isto significa que, medindo-se as vazões de cada uma destas correntes de água e somando-as, o resultado desta soma não é suficiente para explicar a vazão total de saída (isto sem levar em conta a saída por evaporação), o que pode significar que a quantidade de fluxo necessária para completar o balanço hídrico deve estar vindo através de escoamento subsuperficial, neste caso, a água que entra pelo lençol freático. Isto pode, de certa forma, fazer sentido, principalmente quando são levados em conta alguns fatores que caracterizam este ambiente. Por exemplo, os solos em volta da represa são em sua maior parte formados por areia quartzosa, a qual se estende por grande parte da bacia do Ribeirão do Lobo. Este tipo de solo possui alta capacidade de infiltração (que é comum no aquífero Botucatu), devido não somente às suas próprias características, mas também em virtude de haver cobertura vegetal em quase toda a área, o que faz com que haja pouco escoamento superficial e a água infiltrada vai sendo liberada para dentro da represa através do lençol freático, fenômeno este que é denominado de escoamento subterrâneo.

A alta capacidade de infiltração nestes solos foi verificada experimentalmente neste trabalho, quando se instalou dispositivos (caixas de 2m x 2m com fluxos direcionados para um coletor) com a finalidade de coletar água de escoamento superficial. Foram poucas as vezes em que se encontrou água nos coletores após as chuvas, e mesmo assim, na maioria dos casos, esta água era produto de um transbordamento momentâneo do lençol freático próximo à margem, onde estavam os dispositivos, pois dentro destes não haviam aquelas características de escoamento superficial, tais como, arranjos de folhas ou traços de erosão, embora um volume muito grande de água fosse

coletado (volume este difícil de precisar pois os frascos de 20 litros que serviam como coletores sempre transbordavam).

Vale ressaltar que neste trabalho pretende-se, pela primeira vez, fazer um balanço neste reservatório considerando as trocas com o lençol subterrâneo, tanto de água como de fósforo. Portanto será um pouco difícil fazer comparações com a literatura. Além disso, existe escassez na literatura de trabalhos adequados para fazer tais comparações. Deve-se salientar ainda, que o interesse deste trabalho restringi-se apenas em saber as condições, no que diz respeito a fósforo total e nitrogênio Kjeldahl, do lençol freático nas proximidades da represa, ou pouco antes de entrar na mesma, ou seja, quase na fronteira onde os dois ambientes interagem.

A saída por evaporação é essencialmente compensada anualmente pelas entradas através da precipitação direta. Segundo Mattos (1997), a evaporação diária do reservatório está em torno de 4,9 mm, o que confere uma evaporação anual de 1788,5 mm, sendo que a precipitação anual está em média dentro de uma faixa que vai de 1400 a 1500 mm.

MATTOS, A. (1997). (USP. Escola de Engenharia de São Carlos). *Comunicação pessoal*.

2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados das medidas de entrada de nitrogênio e fósforo no reservatório do ribeirão do Lobo, através da água que cai diretamente da chuva e da água que infiltra em virtude do escoamento subterrâneo.

Pretende-se também elaborar um balanço do elemento fósforo no referido reservatório, lançando mão de dados de trabalhos anteriores já realizados, e também por comunicações pessoais de trabalhos ainda em andamento.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

A literatura não é muito farta, em termos limnológicos, no que se refere à interação entre água subterrânea e água superficial, principalmente quando o corpo de água superficial é um lago, embora não deixe de existir o reconhecimento da importância de tais interações e de suas funções tanto como fontes quanto como sumidouros de água e de nutrientes. A grande maioria dos trabalhos, conforme mencionado anteriormente, envolve a atuação da vegetação riparia e mais recentemente das áreas alagadas na retirada de nutrientes da água que se infiltra em áreas de cultivo e escoamento lateralmente na direção dos corpos de água.

Danielopol (1980), em seu trabalho intitulado "O Papel do Limnólogo em Estudos de Água Subterrânea", procura enfatizar a necessidade de uma abordagem interdisciplinar no estudo de águas subterrâneas, deixando transparecer que a contribuição do limnólogo se restringiria apenas a atuação das comunidades biológicas até mesmo para efeitos de manipulação destes sistemas. Embora este autor venha citar efeitos das oscilações de nível de corpos de água superficial no nível do lençol freático, ele não trata das interações de fluxos entre estes dois ambientes, as quais são de extrema importância tanto para efeitos de balanço como para se saber o grau de influência de um ambiente sobre o outro.

Do ponto de vista hidrológico, este fenômeno de interação recebeu pouca atenção até a década passada (Cherkauer & Taylor 1990). Estes autores citam ainda como pioneiro o trabalho de dois outros autores (McBride & Pfannkuch) que data de 1975, o que de fato vem demonstrar que só recentemente vem sendo dedicada uma maior atenção nesta área, embora outros autores já tenham considerado a importância de estudos nesta área, como é o caso de Stephenson (1971).

A representatividade da água subterrânea para os balanços hídricos de lagos pode ser insignificante, ter algum peso ou até ser a única fonte de entrada (juntamente com a precipitação direta e o escoamento superficial, em épocas chuvosas). O lago Bysjön ao sul da Suécia, é um exemplo onde a única entrada de água se dá pelo lençol freático, sendo inclusive um lago

hipereutrífico dada a quantidade de fósforo existente neste fluxo (Vanek, 1993). Por outro lado, o lago pode perder água para o lençol freático também em várias quantidades. Para o balanço de nutrientes, mesmo pequenas quantidades de água que entram podem ter grande importância, dependendo das concentrações. Por isso, dados precisos de fluxos de entrada são de extrema importância para o balanço de nutrientes e o que se observa na literatura são esforços para quantificar o fluxo total e determinar os padrões de infiltração da água subterrânea para dentro do lago, ou os pontos onde a água se infiltra na direção do lençol freático (é claro que dificuldades sempre vão existir e tendem a se elevar nos casos de alta heterogeneidade nos sedimentos e nos solos próximos à interface).

Existe um empenho muito grande por parte dos hidrologistas em determinar estes padrões de infiltração (Pfanckuch & Winter, 1984; Cherkauer & Taylor, 1990). Os autores envolvidos nesta questão costumam citar o trabalho de McBride & Pfanckuch (1975) (por ser um dos pioneiros), no qual, através de considerações bastante simplificadas, se propõe um modelo de padrões de infiltração, onde os fluxos de água subterrânea que penetram em um ambiente de água superficial são mais intensos próximo à borda e decaem exponencialmente à medida que se afastam da mesma na direção das regiões mais profundas (Fig. 2). Na verdade, existem outros fatores que interferem nos padrões de infiltração, como por exemplo a selagem provocada pelo acúmulo de sedimento em setores do lago, diminuindo a permeabilidade daquela região e forçando até mesmo a convergência dos fluxos para outros locais mais permeáveis.

Muitos dados experimentais têm confirmado os padrões propostos por McBride & Pfanckuch (Lee, 1977; John & Lock, 1977; Lock & John, 1978; Fellows & Brezonik, 1980; Frape & Patterson, 1981), enquanto outros propõem padrões diferentes com base na heterogeneidade existente por baixo do corpo de água (Cherkauer e Nader, 1989).

Para os limnologistas, o trabalho se torna mais fácil quando ele adquire o entendimento destes padrões de infiltração no seu ambiente de estudo. Este conhecimento irá direcionar a instalação dos coletores de amostras de água e, evidentemente, facilitará as interpretações da qualidade da mesma, considerando que a topografia, a pedologia, a geologia, os tipos de atividades praticadas na localidade, ou quaisquer outros fatores que possam influenciar a qualidade da água subterrânea, sejam também conhecidos.

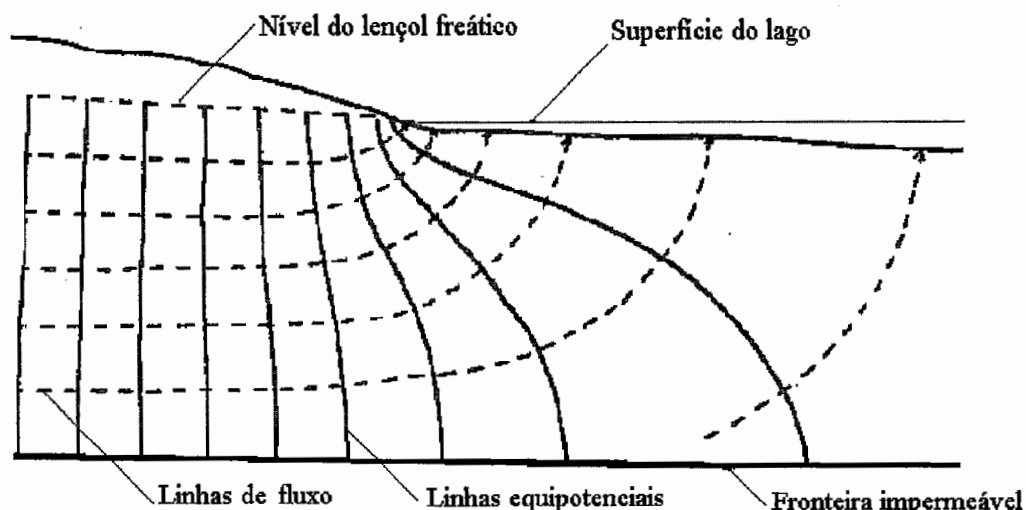


FIGURA 2 - Distribuição das linhas de fluxo de água subterrânea entrando em um lago
Fonte: Lee 1977.

No Brasil, estudos desta natureza são ainda muito raros. Temos, por exemplo, na Amazônia, a recente publicação de um trabalho realizado no lago Calado (Lesack, 1995), onde são tratados os efeitos mútuos que acontecem entre o referido lago e o sistema adjacente de águas subterrâneas. Tais efeitos são decorrentes da elevação e rebaixamento do nível de água, que é um fenômeno que ocorre anualmente nos ambientes aquáticos desta região.

Como o nitrogênio e o fósforo são os nutrientes de interesse neste trabalho, será feito a seguir um comentário resumido sobre estes elementos. O nitrogênio e fósforo são elementos químicos que participam da estrutura de moléculas e macromoléculas, com ação decisiva nos processos vitais, e desde que os ciclos destes elementos estejam equilibrados, eles não costumam causar alterações bruscas no meio ambiente.

O nitrogênio, em sua forma de substância simples (N_2), compõe aproximadamente 80% da atmosfera. Apesar da existência deste grande reservatório à disposição dos organismos fixadores, o processo de fixação é energeticamente muito dispendioso e a biosfera, como um todo, tende a preservar seu estoque de nitrogênio fixado (ou seja, nas formas que todas as plantas e organismos podem utilizar), por uma extensa recirculação dentro de um dado ecossistema (Warneck, 1988). Nesta última situação, o nitrogênio encontra-se distribuído em várias formas de compostos, que se interconvertem através de vários processos mediados por microorganismos. Na maioria destes processos o nitrogênio sofre variação no número de oxidação, de forma que os vários estados de oxidação cobrem uma extensa faixa que vai de -3 (como é o caso da amônia e boa parte dos

compostos orgânicos) até +5 (que é o estado encontrado no nitrato). O nitrato e a amônia são as formas prontamente assimiláveis pela base da cadeia trófica, onde são transformados em compostos orgânicos mais complexos e daí passados a outros níveis tróficos. No entanto sempre estão retornando às formas inorgânicas anteriores, seja por processos metabólicos dos próprios organismos, seja pela mineralização efetuada pelos microorganismos nos mesmos, após sua morte. Isto seria, de forma bem sucinta, o ciclo do nitrogênio nos diversos ambientes, levando-se em conta logicamente as peculiaridades de cada um. Segundo Goldman & Horne (1983), o nitrato é a forma inorgânica combinada de nitrogênio mais comum em lagos e rios, sendo que sua concentração e taxa de entrada nestes ambientes estão intimamente relacionadas com as práticas e usos do solo nas vizinhanças. Mas Wetzel (1981) diz que, mesmo em ambientes naturais, os solos podem contribuir com uma grande quantidade de nitrogênio, desde que os mesmos sejam cobertos por plantas que apresentem relações simbióticas com organismos fixadores de nitrogênio.

Quanto ao fósforo, a forma inorgânica (fosfatos) dissolvida é a que está prontamente disponível para ser assimilada pelos vegetais e outros microrganismos. Esta forma se encontra nos ambientes em quantidades normalmente muito pequenas devido a afinidade que o fosfato tem em formar ligações com íons de cálcio, ferro, alumínio, e de aderir à superfícies de compostos que contenham estes elementos. Os minerais de solo possuem, entre outros componentes, o ferro e o alumínio, o que dificulta o arraste do fósforo pela água que passa através do solo e vai em direção aos corpos de água superficiais, a não ser em casos onde a abundância deste elemento seja grande. Após a assimilação pelos organismos, o fosfato inorgânico é transformado em fosfato orgânico, como por exemplo o ATP, cuja hidrólise a ADP transfere energia com objetivo de possibilitar o acontecimento de outras reações dentro dos sistemas vivos. O processo de mineralização também ocorre com este elemento, possibilitando novamente a liberação do fosfato inorgânico. O interessante é que em todos estes processos que participam de um ciclo normal do fósforo, o número de oxidação deste elemento permanece inalterado, fato este que não acontece com o nitrogênio. O fosfato pode também ser liberado em ambientes anaeróbios, como por exemplo, os sedimentos. Esta liberação dá-se pela ação de microrganismos que reduzem, por exemplo, o fosfato férrico (insolúvel) a fosfato ferroso (solúvel).

4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O AMBIENTE

4.1 Localização

A represa do Ribeirão do Lobo está situada na região centro-norte do estado de São Paulo, entre os municípios de Brotas e Itirapina a 22°15' de latitude Sul e 47°49' de longitude oeste, em um local que faz parte da região de recarga do aquífero Botucatu, o qual foi recentemente batizado como aquífero Gigante do Mercosul (A Água em Revista, 1996) . Este, segundo Teissedre & Barner (1981) é a maior reserva de água doce da América do Sul (segundo a revista supra citada, é a maior reserva do mundo), sendo constituído por arenitos finos a médios, bem arredondados e de origem eólica. Dados granulométricos indicam que mais de 50% dos grãos têm diâmetros entre 0,125 e 0,250 mm (Gilboa et al., 1976). A boa seleção e arredondamento, devido à sua origem eólica, dão lugar a excelentes condições de porosidade, permeabilidade e armazenamento (Della Togna, 1973).

4.2 Clima

Segundo Mattos (1982), o clima desta região é em geral sub-tropical mesotérmico, úmido com estiagem branda no inverno.

4.3 Solos

Em toda a bacia que drena para dentro da represa existem várias classes de solos. Destes serão feitas considerações, com base em Freire et. al. (1980), apenas a respeito dos que estão em contato

direto com o reservatório, mencionando somente as características diretamente relacionadas com o trabalho.

As classes de solos são: 1) Terra Roxa Estruturada Latosólica Distrófica, A moderado, textura média (TEd) - Esta unidade compreende solos desenvolvidos a partir de sedimentos conhecidos como cenozóicos, com contribuição de basaltos. Todos os horizontes do perfil apresentam uma textura média, com uma concentração de argila nos subhorizontes B₁ e B₂. A estrutura do horizonte superficial é granular, pequena, moderada; enquanto que a do subhorizonte B₁, se apresenta em blocos, grandes, fortes com tendência a laminar na sua parte superior, evidenciando compactação induzida pelo uso agrícola. A textura média e uma estruturação moderada condicionam uma drenagem interna boa, como indica a cor avermelhada uniforme que se observa em todo o perfil. O conteúdo de matéria orgânica é médio no horizonte superficial, baixando sensivelmente nos horizontes mais profundos. O conteúdo de fósforo assimilável é baixo em todos os horizontes do perfil; 2) Areia Quartzosa Vermelha-Amarela Distrófica, álica A fraco (AQV₁) - Esta unidade taxonômica é constituída por solos desenvolvidos a partir de sedimentos inconsolidados recentes. Apenas o horizonte superficial está presente, os demais horizontes são pouco diferenciados ou faltam em consequência do curto espaço de tempo em que os demais fatores formadores do solo estão atuando sobre o material de origem. O subhorizonte superficial pertence, quase sempre, à classe textural areia; enquanto que os demais, geralmente, pertencem à classe textural areia barrenta. A textura grossa destes solos condiciona uma drenagem de boa a excessiva; entretanto, devido à posição topográfica em que geralmente ocorrem, alguns perfis podem apresentar indícios de flutuação do lençol freático nas camadas mais profundas. Os teores de matéria orgânica são baixos e diminuem nas camadas mais profundas; 3) Areia Quartzosa Vermelha-Amarela Câmbica Distrófica, álica, A fraco (AQV₂) - esta unidade é formada a partir de sedimentos inconsolidados recentes, cuja natureza depende das rochas das quais se originaram. O horizonte superficial pertence, quase sempre, à classe textural areia; enquanto que os demais, geralmente, pertencem à classe textural areia barrenta. Já o horizonte B incipiente pode pertencer à classe textural barro arenosa. A textura grossa também condiciona drenagem de boa a excessiva, e, devido à posição topográfica em que geralmente ocorrem, alguns perfis podem apresentar indícios de flutuações do lençol freático nas camadas mais profundas. Os teores de matéria orgânica são também baixos e diminuem nas camadas profundas; 4) Solos Turfosos Distróficos, álicos, indiscriminados (Tu) - estes solos têm mais o aspecto do material de origem ou de um horizonte O,

do que de um perfil de solo. O material de origem é constituído por matéria orgânica acumulada por causa das condições anaeróbias que predominam durante a maior parte do ano. Além da matéria orgânica que ocorre em percentagens de 50 a 70%, material mineral de diâmetro predominante que corresponde às dimensões da fração silte, também contribue na composição do material de origem destes solos. A drenagem destes solos é impedida devido à posição topográfica em que ocorrem. Durante a maior parte do ano a superfície destes solos encontra-se coberta por água.

Uma boa descrição da geologia desta região pode ser encontrada no trabalho de Corrêa (1995).

4.4 Condição da represa em relação ao aquífero

Neste trabalho, considera-se que a represa como uma região de descarga local do aquífero, isto quer dizer que só existem fluxos de água subterrânea direcionados para dentro do reservatório e em nenhum momento este sentido se inverte. Esta inferência está assentada em duas razões, a primeira delas é que existem tributários quase que ao redor de toda a represa, drenando na direção da mesma. A segunda, que é bem mais decisiva, encontra-se no trabalho de Corrêa (1995), onde, pela observação do mapa 12 dos anexos daquele trabalho, que trata também de divisores de água subterrânea, a represa está localizada no interior de uma bacia (de água subterrânea), em uma posição que só permite fluxos em sua direção. Este autor afirma ainda que os divisores de água subterrânea do aquífero Botucatu coincidem com os divisores de águas superficiais, fortalecendo ainda mais a hipótese de entradas por todos os lados. Deve-se considerar ainda que nesta região de afloramento do aquífero Botucatu, os fluxos subterrâneos locais são em direção aos rios que atravessam o arenito, onde saem como escoamento básico (DAEE, 1974). Além das razões mencionadas acima, existem outras evidências referentes às medidas já realizadas por pessoas do grupo que estão realizando este trabalho onde, conforme visto anteriormente, o balanço hídrico deste sistema conta com contribuição significativa da água subterrânea.

Diante das características verificadas acima, a represa do Ribeirão do Lôbo poderia comparar-se perfeitamente ao lago tipo a da classificação de Boyle (1994), se a este fossem acrescentadas algumas linhas de recarga superficial (semelhantes aos tributários desta). Mesmo sem estas linhas, dos seis tipos mencionados por aquele autor, o lago tipo a é o que mais se assemelha à represa.

4.5 Morfometria da represa

Características morfométricas atribuídas à represa do Lobo:

Comprimento máximo	8,0 Km
Largura máxima	2,0 Km
Largura média	0,9 Km
Profundidade máxima	12,0 m
Profundidade média	3,0 m
Área de superfície	6,8 Km ²
Perímetro	21,0 Km
Volume	22,0 x 10 ⁶ m ³

No local onde a represa está situada a espessura do aquífero Botucatu está entre 60 e 80 metros (Corrêa, 1995).

A Fig. 3 mostra o mapa deste reservatório com os respectivos tributários.

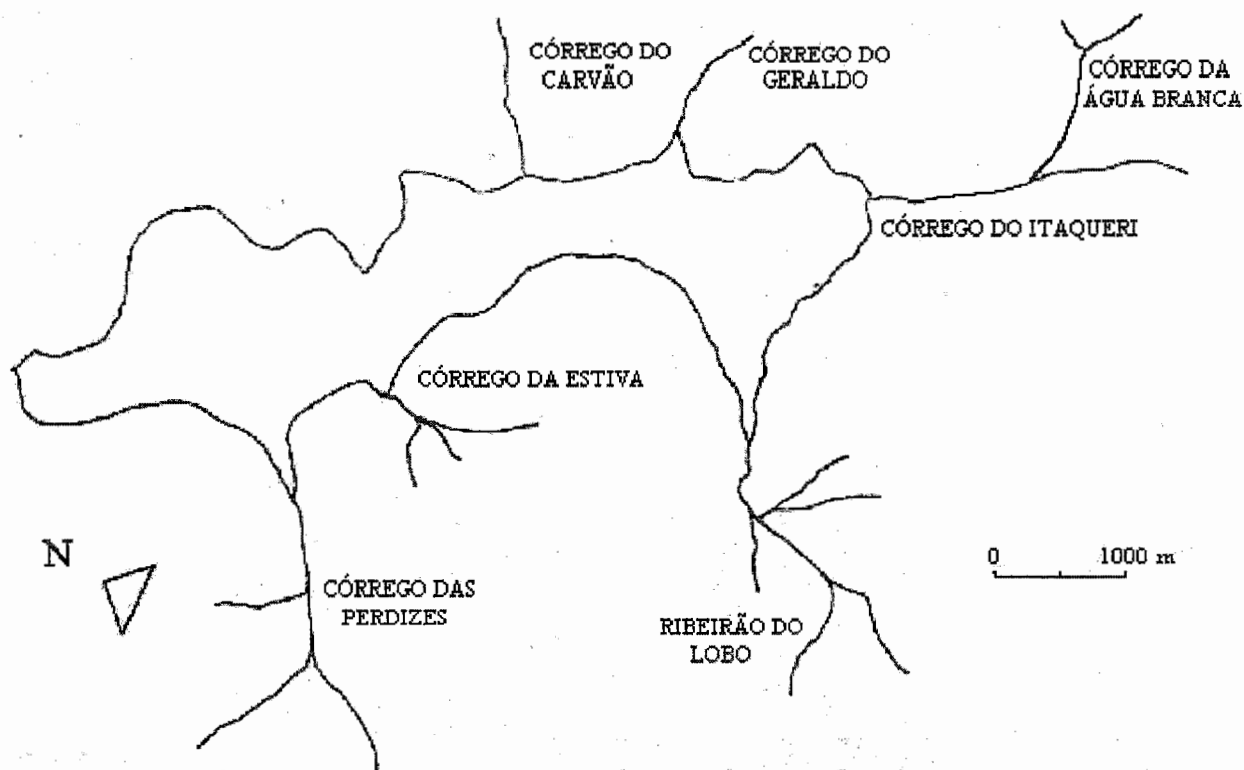


FIGURA 3 - Mapa da represa do Ribeirão do Lobo

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Água subterrânea

5.1.1 Coletas de água do lençol freático

As coletas de água do lençol freático foram feitas nos piezômetros. Inicialmente vários destes instrumentos foram instalados em sequências, cada uma contendo de três a cinco piezômetros. Uma sequência de três ficou situada em solo de terra roxa estruturada e as outras (uma de quatro e cinco de cinco) foram postas em solo de areia quartzosa. Estas últimas ficaram espaçadas entre si por aproximadamente sessenta metros. Para identificá-las atribuiu-se a cada uma letras que iam de A a F. Nas sequências, os piezômetros encontravam-se distanciados entre si por cinco metros, estando o primeiro a cinco metros da margem da represa, o segundo a dez metros, o terceiro a quinze e assim por diante. O objetivo de coloca-los em forma de sequências era saber se existe variações nos teores de fósforo e nitrogênio à medida que a água do lençol freático se aproxima da represa. Após a realização de algumas coletas, foram instalados nesta região mais cinco piezômetros, sendo que três deles complementavam as sequências B, D e F, estando os mesmos situados à distância zero da margem, na divisão entre o solo e a água. Os outros dois foram colocados a cinco metros da margem, um ao lado da sequência B e o outro ao lado da sequência D. Estes últimos foram denominados B₁' e D₁' (ou B₁ linha e D₁ linha) e o objetivo dos mesmos era coletar água a um nível mais baixo no lençol freático, afim de verificar variações nos teores de nutrientes com a profundidade. Cada piezômetro nesta localidade recebeu índices atrelados as letras de sua sequência, que variavam de zero (na margem) até cinco (25 metros da margem). Depois foram

acrescidos mais seis instrumentos em outros pontos, sempre próximo à margem. Ao todo foram colocados quarenta e quatro piezômetros instalados da forma descrita acima, ou seja, trinta e quatro na região onde se encontram as sequências em solos de areia quartzosa; uma sequência de três na terra roxa estruturada (TR₁, TR₂ e TR₃); dois com diferentes profundidades e diferentes distâncias da margem numa região pantanosa de solos turfosos, onde haviam alguns pinheiros na proximidades (Pinheiros zero e Pinheiros um); dois no final da pista do aeroporto (as coletas foram feitas em apenas um deles) também em solos turfosos; dois dentro da propriedade do senhor Jorge Botelho, já quase fronteiros ao balneário do Brôa (JB e JB/Bal) fazendo parte de um tipo de areia quartzosa diferente daquela da região onde estavam as sequências e um em outra propriedade particular situada do outro lado da represa quase em frente ao CRHEA (Dona Lourdes) em areia quartzosa semelhante aquela das sequências. A disposição destes instrumentos ao redor da represa está mostrada na Fig. 4.

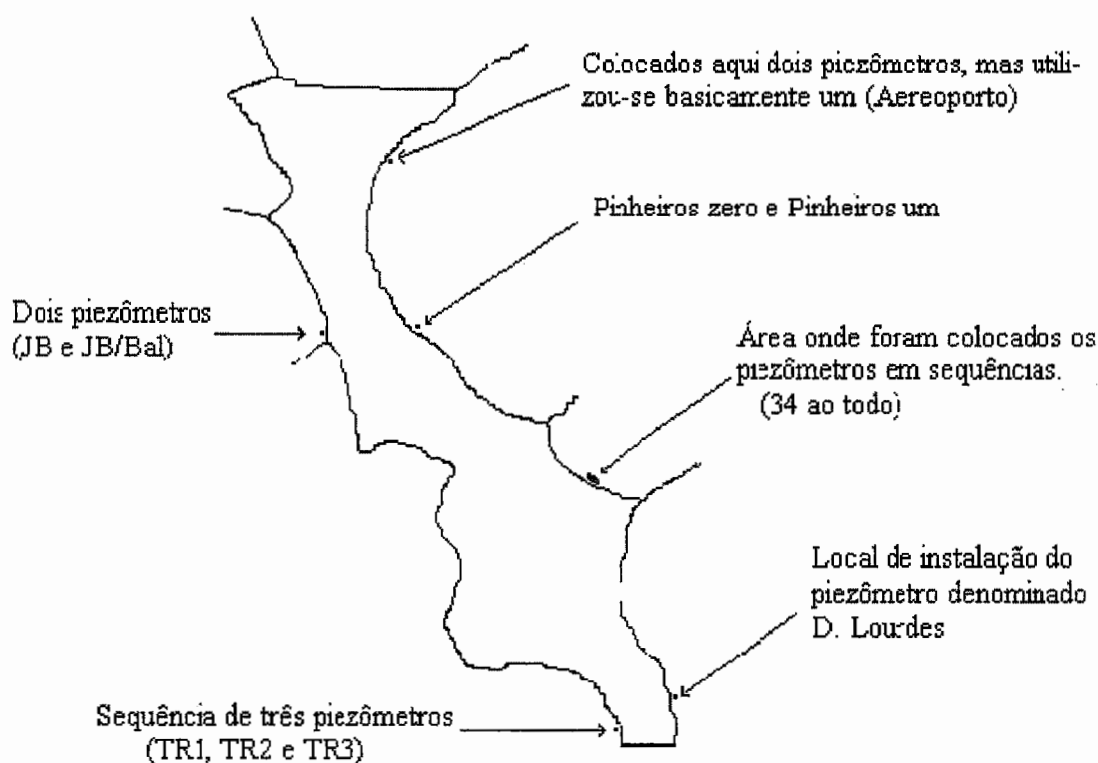


FIGURA 4 – Localização dos piezômetros em volta da represa

Dois destes equipamentos (o Pinheiros zero e o Aeroporto), só foram colocados em virtude das dificuldades em coletar água de outros dois que já haviam sido instalados, dada a lentidão com

que estes recuperavam o nível. No aeroporto, o primeiro piezômetro instalado não chegou a atravessar uma camada de solo, muito rica em matéria orgânica, embora tenha penetrado cerca de 114 centímetros no lençol freático (este só foi utilizado para registrar o nível do lençol freático nos dias de coleta, e em outras visitas feitas a partir de dezembro/96). Instalou-se um segundo nesta localidade, considerando que este deveria produzir vazão suficiente para o processo de coleta e para isto, a referida camada teve que ser atravessada, o que se deu com a penetração de 158 centímetros no lençol freático em um nível topográfico cerca de 10 centímetros mais baixo. Mesmo assim, talvez pela proximidade desta camada, a vazão ainda era baixa. Na região dos pinheiros, o primeiro piezômetro instalado (Pinheiros um) tinha como objetivo coletar água abaixo da primeira camada de solo, a qual supostamente teria pouca vazão pelo aparente alto teor de matéria orgânica. Tendo perfurado a referida camada encontrou-se em seguida, à medida que se ia cavando, solos mais consistentes e mais difíceis de penetrar, aparentemente mais argilosos e realmente diferentes dos até então encontrados. Este piezômetro adentrou 140 centímetros no lençol freático, com sua parte de captação de água penetrando totalmente neste solo. Além da pouca vazão, ele também respondia muito pouco as flutuações do lençol freático. Mesmo assim foram feitas coletas neste instrumento, porque o procedimento adotado, quando se ia ao campo, era antes de tudo esvaziá-lo, realizar coletas em vários outros, e depois retornar para fazer coleta no mesmo. Percebida esta dificuldade no Pinheiros um, imediatamente instalou-se um outro próximo a ele, e que não fosse tão profundo para evitar atingir aqueles solos. Este foi o Pinheiros zero, com penetração no lençol freático de cerca de 54 centímetros e bem próximo à margem da represa.

Convém comentar aqui, entretanto, que não se fazia coletas de água nestes instrumentos logo após a instalação dos mesmos. As primeiras visitas eram apenas para efetuar o que se chamava de "limpeza", ou seja, eles eram esvaziados por várias vezes até que a água assim retirada, estivesse livre das interferências decorrentes do processo de instalação. Era comum encontrar nestas visitas (na região onde estão as sequências), vários destes instrumentos arrancados dos seus locais, alguns desaparecidos e outros danificados. Estes instrumentos eram então refeitos e iniciava-se novamente o processo de limpeza. Com as análises das primeiras amostras coletadas, não foi verificado a existência clara de gradientes nas sequências ou diferenças entre uma sequência e outra, portanto, a partir de algumas coletas procurou-se selecionar apenas quatro destes instrumentos, dos quais dois representavam todos daquela área, e os outros dois foram aqueles colocados a profundidades maiores (B_1 e D_1). O critério de escolha dos dois primeiros, foi que ficassem o mais próximo

possível destes dois mais profundos. Estes foram os instrumentos escolhidos desta área para, em conjunto com os demais da margem da represa, formarem o grupo de piezômetros a serem amostrados periodicamente a partir de agosto/96 (incluindo posteriormente outros que foram sendo instalados até novembro/96). Após a coleta de agosto de 96, um destes piezômetros foi arrancado (B_1), e a coleta seguinte passou a ser no que estava mais próximo a este, no caso o B_2 pois o B_0 já havia também sido arrancado. Entre as coletas de 15 de janeiro e 05 de fevereiro de 1997, o piezômetro B_1 foi arrancado e desapareceu do local, o qual não foi refeito, uma vez que as coletas já estavam sendo encerradas.

Uma outra observação que deve ser feita, está relacionada com a profundidade em que foram colocados os piezômetros. A grande maioria dos que estão nas sequências se encontra em torno de 60 centímetros abaixo do nível do lençol freático, e temos apenas dois (B_1 e D_1) que chegam a penetrar em torno de 190 centímetros. Os demais estão em profundidades variáveis, mas nunca ultrapassando os dois acima citados, ou seja, supõe-se que a água subterrânea entra na represa nas regiões próximas às margens, e por conseguinte despreza-se a outra parte que possivelmente deve estar se infiltrando por regiões mais profundas. Esta suposição por enquanto, recebe um certo suporte na literatura, onde grande parte dos lagos recebe quase que toda sua água por regiões próximas às margens. Além disso, existem informações a respeito de dados granulométricos dos sedimentos da represa, extraídas dos trabalhos de Strixino (1973) e Có (1979). Principalmente neste último, onde verifica-se uma extensão significativa das margens é constituída de areia grossa que pode permitir uma maior permeabilidade, sendo esta mesma região a mais pobre em matéria orgânica, o que faz também com que o efeito da selagem (obstrução da passagem de água) seja reduzido.

As formas de nitrogênio e fósforo analisadas a princípio foram: amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo inorgânico, fósforo total dissolvido e fósforo total. Com os primeiros resultados verificou-se que as amostras possuíam teores muito baixos destes constituintes. Decidiu-se então, nas análises, determinar somente as concentrações de fósforo total e nitrogênio Kjeldhal, considerando-se ser suficiente para atingir os objetivos propostos.

As coletas em cada piezômetro eram feitas esvaziando-se os mesmos para retirar a água que se encontrava parada, depois descartava-se mais algumas amostras de água também por esvaziamento, e só pela quarta ou quinta vez é que se coletava a amostra para análise. Somente em um destes instrumentos (o Pinheiros um), em que havia muita lentidão em recuperar o nível, o processo de

coleta se realizava descartando-se apenas a água que estava parada. Água parada é aquela água que ficava no piezômetro entre uma coleta e outra; na verdade, como existem fluxos, esta água está sendo constantemente renovada.

Com respeito à frequência das amostragem, com exceção do mês de setembro/96, houve pelo menos uma visita mensal ao campo no período de abril/96 a março/97 conforme mostra o conjunto de tabelas. Em dezembro foram realizadas 4 coletas para verificar se houve variação em um período de tempo mais curto, por ser este um mês chuvoso e com isto, o lençol freático estava sendo submetido a uma tensão. No entanto, no conjunto de piezômetros que representavam ao mesmo tempo todos os solos da margem, as coletas se deram apenas no período de outubro a março, com o acréscimo em novembro de mais dois em solos turfosos (Pinheiros zero e um), e um em areia quartzosa (Dona Lourdes).

5.1.2 Entrada de água na represa via escoamento subterrâneo

A entrada de água através do escoamento subterrâneo foi estimada como sendo a diferença entre o total de água que sai da represa e o total de água que entra na mesma através dos rios e córregos, durante o período relativo a um ano de medidas. Esta metodologia, que é uma das mais antigas, sofre críticas de acúmulos de erros causados pela medição em outros componentes do balanço (Gibbs, 1987). No entanto, foi utilizada por ser a única que estava disponível e também porque atendia aos objetivos de se obter a primeira estimativa de um balanço no reservatório do Ribeirão do Lobo, levando em conta a água subterrânea. Ao estimar o fluxo de água subterrânea considerando somente os córregos e rios, deixa-se de computar a evaporação, cuja ausência subestima um pouco este fluxo, e também a precipitação que cai direto no reservatório produzindo efeito contrário. Para os elementos envolvidos no balanço, os efeitos da evaporação não são normalmente considerados, embora se saiba que a temperatura, sendo um agente importante na evaporação, também interfere na solubilidade dos gases, fato este que vem alterar a concentração das formas gasosas no corpo de água. Quanto a precipitação, esta tem grande importância com respeito aos elementos e será abordada posteriormente.

As entradas de águas superficiais consideradas para efeito de balanço foram as seguintes: Córrego do Geraldo, Córrego da Água Branca, Córrego do Itaqueri, Ribeirão do Lobo e Córrego das Perdizes, além, evidentemente, da entrada pelo lençol freático. A saída se dá pelo vertedouro e pela linha que alimenta a turbina da usina, que juntas formam o volume total que sai, e considerou-se que a partir daí começa o rio Jacaré Guaçú. O Córrego da Água Branca não desagua diretamente na represa e sim no Córrego do Itaqueri, e as medidas foram feitas pouco antes da junção dos mesmos. Os valores das vazões e dos teores de fósforo nestas águas foram gentilmente fornecidos por BUENO (1997).

Com o valor total da vazão que entra via escoamento subterrânea, desmembrou-se este fluxo de acordo com os tipos de solo que fazem fronteira com a região litorânea da represa. Estes solos, segundo Sobral & Tundisi (1985), são: Terra Roxa Estruturada Latosólica Distrófica, A moderado, textura média (denominados s_1); Areia Quartzosa Vermelha-Amarela Distrófica, álica, A fraco (denominados s_2); Areia Quartzosa Vermelha-Amarela Câmbica Distrófica, álica A fraco (denominados s_3); e Solos Turfosos Distróficos, álicos, indiscriminados (estes receberam a denominação s_4). Para realizar este desmembramento, levou-se em conta a condutividade hidráulica de cada solo, a extensão na qual cada um compõe o perímetro da represa e o gradiente hidráulico do lençol freático em cada solo. Com isto considera-se que a área de entrada pelo fluxo subterrâneo por unidade de comprimento da borda da represa é a mesma em toda a margem. E tem-se então, sem muito rigor, a seguinte equação:

$$q_{s_j} = q_t \times f_{s_j} \quad (1)$$

onde:

q_{s_j} = quantidade de água que entra pelo tipo de solo s_j

q_t = quantidade total de água que entra por escoamento subterrâneo

f_{s_j} = fator específico para cada solo, definido, por exemplo para o solo s_1 , como:

$$f_{s_1} = \frac{K_{s_1} \times L_{s_1} \times i_{s_1}}{4 \sum_{j=1} K_{s_j} \times L_{s_j} \times i_{s_j}} \quad (2)$$

sendo:

K_{s_j} = condutividade hidráulica do solo s_j

L_{s_j} = extensão em que o solo s_j contribui para o perímetro da represa

i_{s_j} = gradiente hidráulico no solo s_j

A extensão L da fronteira entre cada tipo de solo e a represa, bem como a posição destes em relação a mesma estão mostrados na Fig. 12. O comprimento desta fronteira foi obtido utilizando-se uma tira de papel graduada com riscos separados entre si por 0,5 cm, com a qual se fez a medida do contorno de uma figura (com escala) da represa.

5.2 Condutividade hidráulica

As condutividades hidráulicas foram determinadas utilizando-se o método de Hvorslev (1951), citado em Freeze & Cherry (1979), que consiste em criar uma diferença de potencial hidráulico entre o interior de um piezômetro e suas vizinhanças, no aquífero onde o mesmo está parcialmente penetrado. Esta diferença de potencial é gerada por elevação ou rebaixamento do nível de água no piezômetro a partir do nível estático, depois disto registra-se em intervalos de tempo a posição do nível da água à medida que este desce ou sobe (conforme o caso), para recuperar novamente o nível estático inicial.

O procedimento adotado no presente trabalho consistiu em esvaziar o tubo até um certo nível, onde se considerou o tempo inicial ($t = 0$), e a partir daí registrava-se as posições do nível nos devidos intervalos de tempo à medida que este se recuperava. Esta recuperação implica em fluxo de água para dentro do piezômetro, ocasionado obviamente pelo potencial hidráulico, gerado no processo de esvaziamento. Segundo Hvorslev (Freeze & Cherry 1979, Cedergren 1967), a taxa q

com a qual este fluxo entra no piezômetro em qualquer tempo t , é proporcional à condutividade hidráulica K do solo, e ao vazio existente entre o nível estático e o topo da coluna d'água que está subindo ($h = z - y$), (Fig. 5),

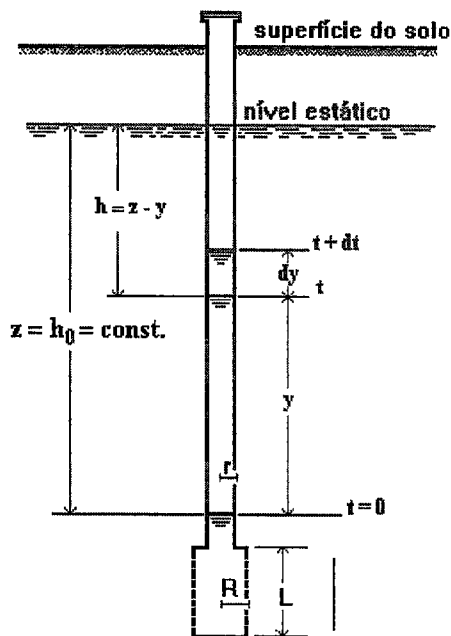


FIGURA 5 - Método de Hvorslev

Fonte: CEDERGREN (1967) modificada

portanto,

$$q = FK h = FK(z - y) \quad (3)$$

onde F é um fator que depende da forma e das dimensões do piezômetro. Assumindo que as perdas por atrito no tubo possam ser negligenciadas, obtem-se a seguinte equação:

$$q dt = A dy \quad (4)$$

sendo A a área da seção transversal do tubo.

Combinando as duas últimas equações obtém-se:

$$\frac{dy}{z - y} = \frac{FK}{A} dt \quad (5)$$

Hvorslev definiu um tempo T, que ele chamou de *basic time lag*, como sendo o tempo necessário para igualar a diferença de pressão (retornar ao nível estático), se fosse mantida a taxa de fluxo inicial q_0 , ou

$$T = \frac{V}{q_0} = \frac{Ah_0}{FKh_0} = \frac{A}{FK} \quad (6)$$

combinando as duas equações anteriores tem-se:

$$\frac{dy}{z - h} = \frac{dt}{T} \quad (7)$$

A equação acima pode ser facilmente integrada, lembrando apenas que quando o tempo varia de zero até um tempo t, y varia de zero até $h_0 - h$. Tem-se então a seguinte equação:

$$\frac{h}{h_0} = e^{-\frac{t}{T}} \quad (8)$$

Para determinar o valor de T, constroi-se um plote de $\frac{h}{h_0}$ (em escala logarítmica) versus t (em escala aritmética). Com a equação da reta melhor ajustada a estes pontos obtém-se o valor de T, o qual corresponderá a $\frac{h}{h_0} = 0,37$, pois, pela equação (8), quando $t = T$ tem-se,

$$\frac{h}{h_0} = e^{-1} = \frac{1}{e} \cong 0,37 \text{ (ver Fig. 6).}$$

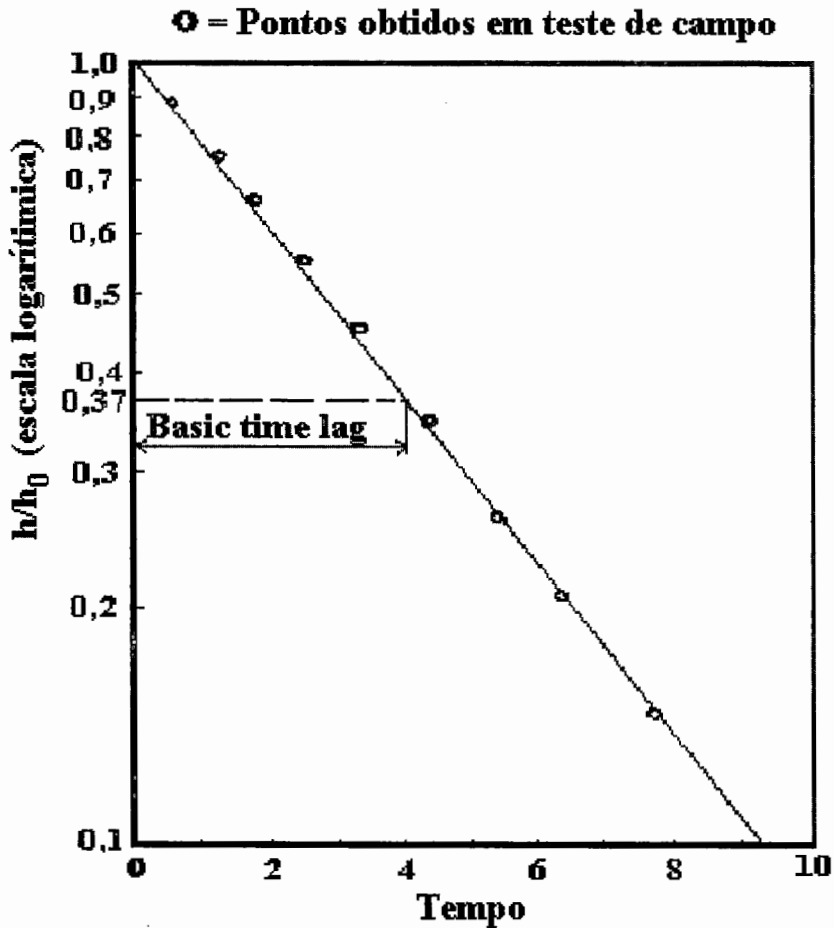


FIGURA 6 - Gráfico para a determinação de T (Basic time lag)

Fonte: CEDERGREN (1967), alterada.

De acordo com o que foi visto anteriormente, o valor de K vai depender de um fator F, que está relacionado com a forma e com as dimensões do piezômetro. Segundo Freeze & Cherry (1979), para piezômetros com $L/R > 8$, Hvorslev avaliou o fator de forma F, de modo que:

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2LT} \quad (9)$$

sendo L a altura da região através da qual a água penetra no piezômetro; r é o raio externo do tubo e R é o raio que vai do centro do tubo até a parte externa do envelope de cascalho, que é normalmente utilizado para revestir estes equipamentos. Os instrumentos utilizados neste trabalho para realizar as medidas, consistiam de tubos de PVC contendo 82 furos (feitos com broca de 5,8mm) bem distribuídos nas paredes, ocupando uma extensão de 31 centímetros no corpo do tubo, por onde era captada a água. Estes furos eram feitos próximo a uma das extremidades onde se colocava também um cap (tampa), (Fig. 7).

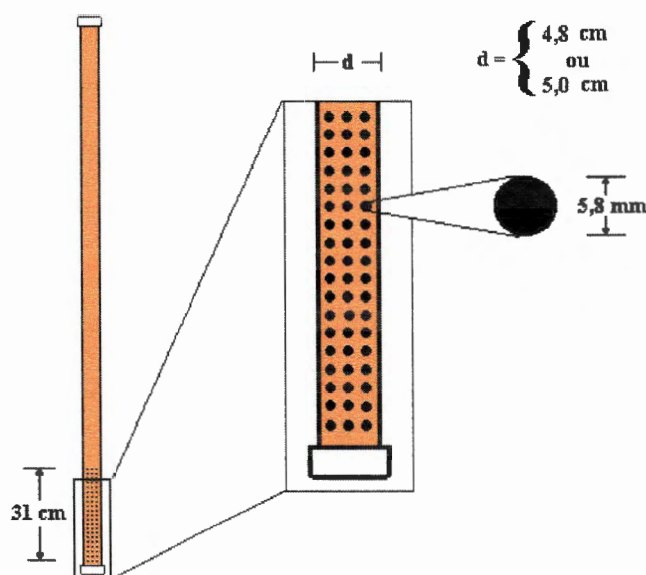


FIGURA 7 - Esquema dos piezômetros utilizados neste trabalho

d = diâmetro externo

Nos primeiros instrumentos instalados, o número de furos era menor que 82 e estes foram utilizados apenas para coletar água. A parte do tubo onde estavam os furos era envolvida com quatro camadas de tela e ficava, é claro, mergulhada no lençol freático. Em alguns dos piezômetros havia o envólucro de cascalho, mas nestes onde foram feitos os experimentos de condutividade ele não existia (portanto, $r = R$). Também foram utilizados (por força das circunstâncias) dois conjuntos de tubos com bitolas ligeiramente diferentes, num destes conjuntos o raio externo era de 2,4 cm e no outro era de 2,5 cm.

Os testes de campo foram realizados em pelo menos um dos piezômetros que representavam cada tipo de solo. Não foi possível fazer réplicas em todos eles. Evitou-se também realizar estes testes nos equipamentos instalados na divisa entre o solo e a água da represa para não haver interferência da mesma. Na região de solos turfosos, o teste foi feito unicamente no piezômetro do aeroporto em que se fazia as coletas de água, pois o Pinheiros zero era muito próximo à margem, e os outros dois eram muito lentos.

Utilizou-se a equação 9 para determinar os valores das condutividades hidráulicas, uma vez que os equipamentos atendiam às exigências da mesma.

Para o solo Terra Roxa Estruturada (s_1), foram feitos também testes de laboratório para determinação da condutividade hidráulica K (Klute & Dirksen 1986). Para isto, foram coletadas amostras em intervalos de 20 cm, chegando a um perfil de um metro.

5.3 Água da chuva

As amostras de água da chuva foram coletadas em dois períodos, a saber, de 21/10 a 23/12/1994, e de 26/10/96 a 11/02/97. No primeiro período foram coletadas amostras a partir da primeira chuva, no segundo não foi possível proceder desta forma e com isso, não existem resultados das primeiras chuvas. Nos dois períodos procurou-se sempre coletar amostras de todas as chuvas o mais próximo possível do término das mesmas, sendo que no segundo chegou-se a coletar até duas vezes em um mesmo dia, havendo inclusive ocasiões em que ao realizar-se uma coleta logo após o término de uma chuva, dava-se início outra chuva e se esta era de pouca duração, também era coletada. Algumas amostras tiveram que ser descartadas por contaminação e outras foram perdidas por acidente. Os frascos nos quais eram feitas as coletas eram continuamente lavados com água destilada, para evitar ao máximo que a deposição a seco viesse a ser contabilizada juntamente com a deposição oriunda da precipitação. No primeiro período, o frasco utilizado para a coleta de água era um balde plástico cujo diâmetro da boca era de 29,5 cm, e estava a uma altura de aproximadamente 80 cm do solo, no meio de uma vegetação vulgarmente conhecida como capim colônia, que muitas vezes ultrapassava a altura do frasco. Cuidados eram tomados para que não houvesse contaminação no balde pela água que corria pelas folhas das plantas. Apesar do balde estar localizado a aproximadamente 80cm da superfície do solo (a altura

recomendada para medir precipitação é 1,5m), houve uma boa correspondência entre os milímetros de precipitação determinados no balde e os milímetros de precipitação registrados na estação meteorológica do CRHEA (Fig. 8). O objetivo inicial, quando o balde foi colocado, era apenas de coletar água da chuva, por isso não houve preocupação com a altura ou distância de algum anteparo. Como era necessário medir o volume para a determinação da quantidade em Kg de N e P que eram depositados, aproveitou-se também estes dados para medir a quantidade de chuvas (em milímetros) que caía no balde. No segundo período, tomou-se um pouco mais de cuidado, e a altura da boca do balde (cujo diâmetro era de 35,4cm) em relação ao solo ficou em torno de 1,65m, sendo que a árvore mais próxima estava a uma distância de 23,5m. Foi colocada uma tela de nylon por dentro do frasco e o mesmo, juntamente com a tela, eram lavados geralmente duas vezes ao dia.

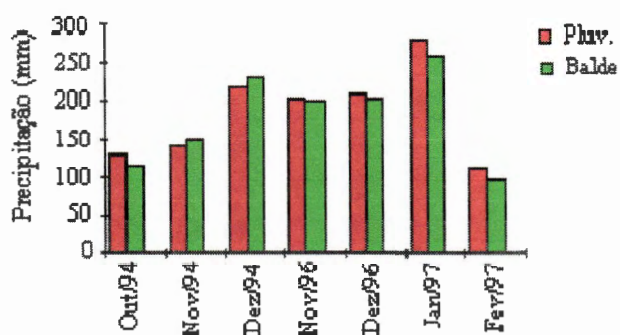


FIGURA 8 – Comparação entre os registros de chuva no pluviômetro da estação do CRHEA e nos baldes.

5.4- Análise dos nutrientes

Todas as amostras de água coletadas, foram colocadas em frascos de polietileno e congeladas. Os nutrientes analisados foram os seguintes: nitrito e nitrato, segundo MACKERETH et. al. (1978) ; amônia (KOROLEFF 1976) ; fosfato inorgânico dissolvido (STRICKLAND & PARSONS 1960) ; o fosfato total e total dissolvido, após digestão com persulfato de potássio, foram determinados seguindo a metodologia utilizada para o fosfato inorgânico dissolvido.

Analisou-se também o nitrogênio Kjeldahl (orgânico + amônia) através da utilização de um aparelho marca Büchi.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Utilização geral dos piezômetros

Conforme visto anteriormente havia um conjunto de piezômetros que, por representarem todos os solos, foram escolhidos para realizar coletas periódicas. Além das coletas de água, que era o objetivo principal ao qual eles se destinavam, e de serem utilizados na determinação das condutividades hidráulicas, estes instrumentos serviram também para obter outras informações que se faziam necessárias no decorrer do trabalho.

Durante uma parte do período de chuvas (06/12/96 à 21/03/97), acompanhou-se a variação no nível de vários piezômetros e, por conseguinte, a variação no nível do lençol freático naquela localidade. Estas variações, bem como a profundidade em que estes instrumentos penetram no lençol freático e também a variação no nível da represa, estão mostradas na Tabela 1. As variações no nível da represa foram obtidas do diário de operação da usina, onde existem registros dos níveis, lidos em uma régua fixa próxima à barragem. Daí tomou-se apenas a altura, em centímetros, que ultrapassou a cota de 703 metros.

Para visualizar o comportamento do lençol freático em relação as flutuações do nível da represa, com base nos dados da Tabela 1, fez-se para cada tipo de solo, um gráfico onde são mostradas as variações nos níveis dos piezômetros daquele solo e a variação no nível da represa (Fig. 9). Devido as diferenças entre os piezômetros, tanto no comprimento como na profundidade com que mergulham no lençol freático, os gráficos da Figura 9 estão apresentando apenas a variação em relação a uma determinada data, que é considerada como valor zero (ou seja, dos valores dos níveis em outras datas subtrai-se o valor do nível nesta data) . Esta não é a mesma em todos os casos, como por exemplo, no caso a a data considerada zero foi 12/Fev., já no caso c foi 06/Dez .

TABELA 1 - Profundidade em que os piezômetros penetravam no lençol freático, com as devidas flutuações, e a variação no nível da represa acima da cota 703m. Todos os valores em centímetros.

Piezômetros	06/12	16/12	20/12	27/12	15/01	16/01	05/02	12/02	21/03
D. Lourdes	108,1	108,6	110,7	126,7	123,7	121,8	120,5	117,6	110,5
B2	51,3	50,8	54,2	74,6	69,5	67,4	67,4	63,5	54,5
B1 linha	191,6	191,4	194,4	213,2	207,9	205,8			
D1	44	44,1	48,6	66,4	62	59,5	58,1	55,3	46,5
D1 linha	187,3	186,8	191,3	209,4	205,1	202,3	202,3	199,2	190,1
P. zero	53,7	51,5	55,3	65,4	62	60,7	58,5	57,3	53,8
P. um	140,1	138,8	142,2	142,8	143,3	143,3	144,1	144	143,8
Aeroporto	158,5	154	167,3	173,7	171,2	170,2	171	169	165,2
JB				146,1	142,7	141,3	143,6	142	138,1
JB/Bal				148,5	147,3	146,5	150,8	148,3	145
TR1				69,5	63	64,9	64,7	61,9	
Represa	8	8	10	30	21	21	19	16	10

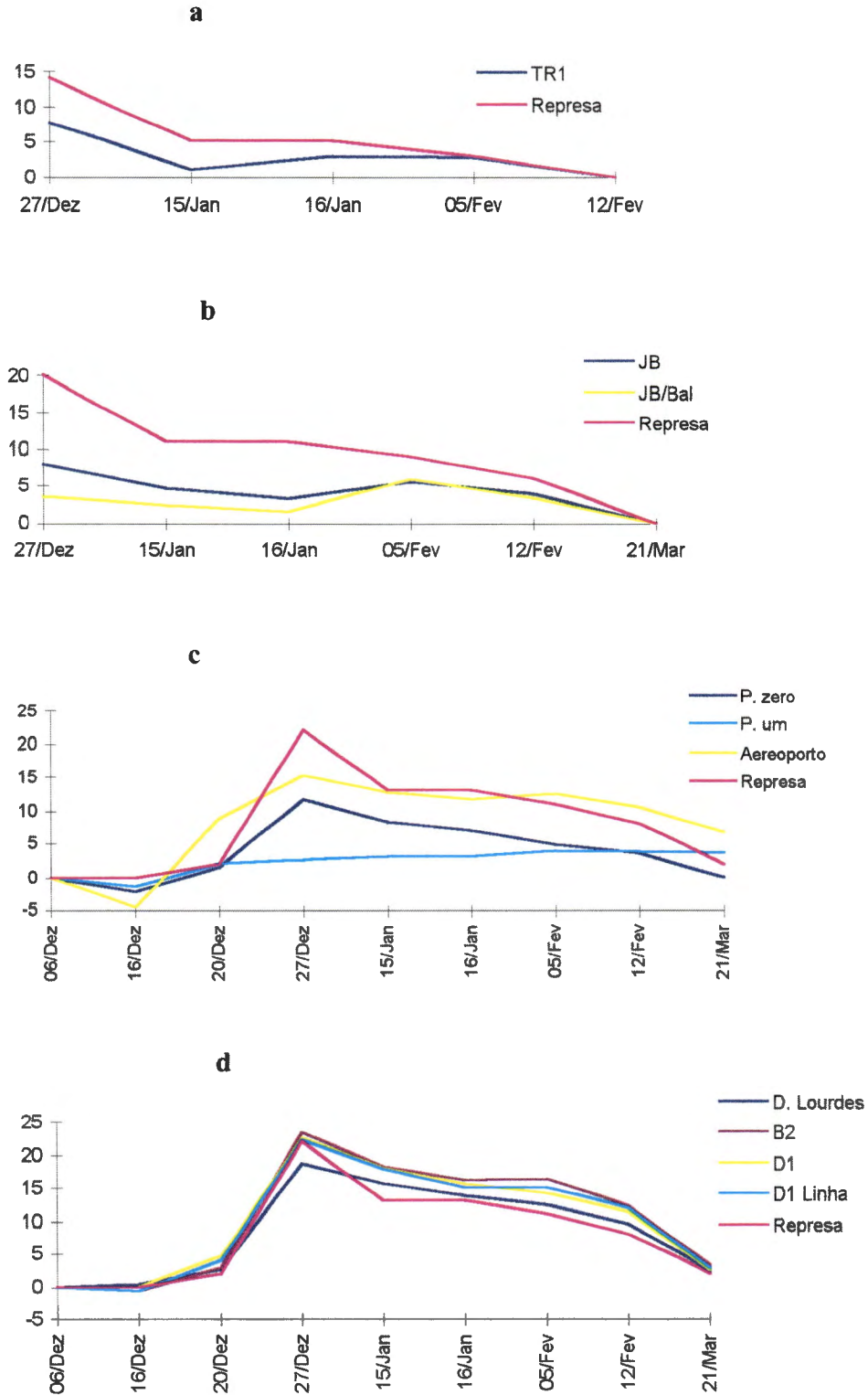


FIGURA 9 - Variações nos níveis dos piezômetros e da represa nas diversas datas, com base em uma data específica para cada caso (a, b, c e d) naquele período.

O observa-se com estes gráficos que em geral o nível do lençol freático em cada tipo de solo tende a acompanhar as variações no nível da represa e aparentemente, nos solos de maior condutividade hidráulica (caso **d**, conforme será visto), a resposta é mais rápida. Nesta figura pode também ser observado o já mencionado comportamento irregular do piezômetro Pinheiros um (P. um) no gráfico c.

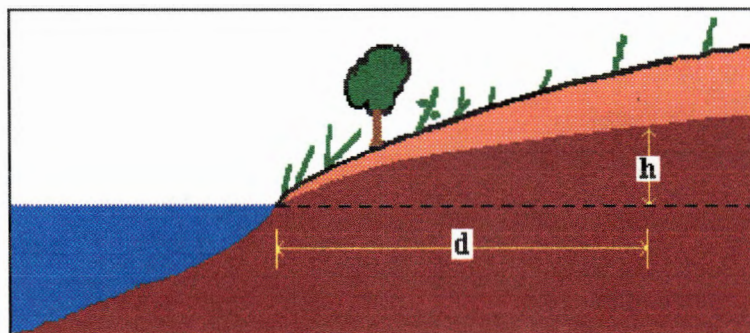


FIGURA 10 - Mostra a altura **h** do nível do lençol freático em relação ao nível da represa, a uma distância **d** da margem.

O fluxo de água para dentro da represa é movido por uma diferença de pressão (gradiente) existente entre a água subterrânea e o corpo de água superficial. Este gradiente pode ser obtido medindo-se a altura **h** do nível do lençol freático em relação à represa a uma certa distância **d** da mesma (Fig.10). O gradiente hidráulico (i) é definido como a razão entre a variação da altura com a distância ($\Delta h/\Delta d$). Já foi verificada a tendência no nível do lençol freático em acompanhar as variações no nível da represa, e isto se reflete diretamente no gradiente hidráulico, que pode momentaneamente sofrer variações, mas na maior parte do tempo permanece inalterado. Nas Tabelas 2 e 3 temos medidas de **h** e **d** para os piezômetros em todos os solos e na Fig 11 são mostradas graficamente estas variações (no solo AQV₂ são mostradas apenas as sequências C e E). Para atribuir valor ao gradiente hidráulico, considerou-se o maior resultado da razão $\Delta h/\Delta d$, quando esta não era única.

Os piezômetros JB e JB/Bal estavam em um local onde o nível do lençol freático é muito alto em relação a represa. Esta região apresenta uma topografia em que há uma elevação muito rápida no terreno ainda próximo à margem, e a impressão que se tem é que o nível do lençol freático acompanha esta topografia. Existem algumas áreas mais baixas deste terreno (mas que estão bem

acima do nível da represa), que se encontram constantemente encharcadas, inclusive em períodos secos, e apresentam escoamentos que vão dar em pequenos filetes de água drenando para a represa. Como a extensão da margem da represa na qual este fenômeno ocorre é difícil de precisar, e também pelo fato de ser pequena em relação ao resto da fronteira entre este tipo de solo e a margem, decidiu-se fazer outras medidas para representar o gradiente hidráulico naqueles solos, e estas se deram dentro do balneário do Broa, considerando dois transectos (balneário 1 e balneário 2), cada um próximo a uma das extremidades. Foram estas as medidas que se considerou para efeito de gradiente hidráulico, embora deva-se realçar a necessidade de uma melhor averiguação naquele trecho de nível elevado no lençol freático. Para aqueles solos em que se fez várias medidas de gradiente hidráulico, tomou-se para fins de calculos, as médias entre os valores.

TABELA 2 - Variação da altura do nível do lençol freático com a distância da represa, e o gradiente hidráulico i resultante da maior razão h/d .

B		C		AQV ₂ D		E		F	
dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	Altura (cm)
								0,8	5,3
		5,0	7,9	5,0	11,5	6,0	12,7	5,8	15,3
10,0	15,0	10,0	14,8	10,0	14,5	11,0	20,5	10,8	24,9
15,0	20,5	15,0	18,4	15,0	18,3	16,0	25,9	15,8	32,2
20,0	25,0	20,0	21,7			21,0	31,0	20,8	38,4
25,0	26,4	25,0	26,1	25,0	27,0	26,0	35,4		
$i = 0,015$		$i = 0,016$		$i = 0,023$		0,021		$i = 0,066$	

TABELA 3 - Variação da altura do nível do lençol freático com a distância da represa, e o gradiente hidráulico i resultante da maior razão h/d , para os solos TE_d, Tu e AQV₁

Tu		TE _d		AQV ₁							
Pinheiros		TR		JB		JB/Bal		Balneário 1		Balneário 2	
dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)	dist. (m)	Altura (cm)	dist. (m)	altura (cm)
0,85	1	5,5	11	5	80	16,9	157,5	5	11,5	5	26
7	19	10,5	15					10	17	10	48
		15,5	16,5					15	20	15	55,5
								20	23,5	20	65
$i = 0,027$		$i = 0,02$		$i = 0,16$		$i = 0,093$		$i = 0,023$		$i = 0,052$	

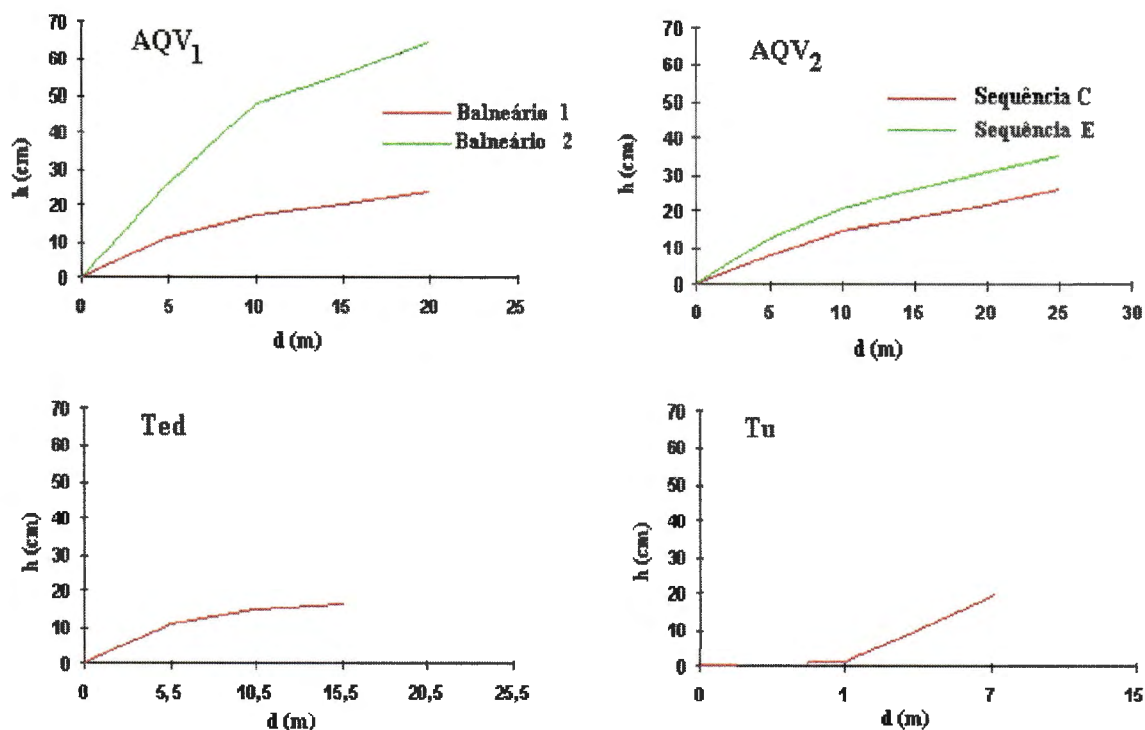


FIGURA 11 – Variação da altura do nível do lençol freático com a distância da margem nos quatro solos.

Nota-se na Tabela 02 que os fluxos nas sequências B, C e D se dão aparentemente perpendiculares às bordas da represa, e que a partir de D, indo no sentido das fileiras E e F, existe um gradiente hidráulico que faz com que haja fluxos também no sentido da fileira F para a fileira D, além do fluxo na direção da represa. Vale resaltar ainda, que indo no sentido de D para F, está-se aproximando cada vez mais da região de transição entre os solos AQV₂ e os solos turfosos (Tu). Os gradientes hidráulicos medidos nas duas sequências do balneário, apresentam diferenças que também podem sugerir que os fluxos que entram na represa nem sempre o fazem de forma perpendicular.

6.2 Condutividade hidráulica

Os valores das condutividades hidráulica estão apresentados na Tabela 4. O maior valor encontrado, 2042,9 cm/dia ($2,4 \times 10^{-4}$ m/s), localiza-se em solo AQV₂, e o menor, 6,9 cm/dia (8×10^{-7} m/s), está no solo Tu. Este último foi determinado no piezômetro de maior vazão nos solos turfosos (não considerando o Pinheiros zero que ficava muito próximo à margem). Portanto, apesar do valor ser relativamente baixo, é possível que mesmo assim tenha sido superestimando a condutividade daqueles solos. Corrêa (1995) encontrou uma faixa de variação de condutividades hidráulicas no aquífero Botucatu nesta região que vai de $1,6 \times 10^{-6}$ m/s a $5,0 \times 10^{-5}$ m/s. Este autor cita ainda o trabalho de Silva (1983) onde, considerando todo o aquífero, a faixa vai de $2,4 \times 10^{-6}$ m/s a $4,5 \times 10^{-4}$ m/s. Desta forma, excetuando o valor da condutividade dos solos turfosos, os demais valores obtidos no presente trabalho encontram-se dentro da faixa de condutividades hidráulicas do aquífero Botucatu. Para exemplificar, a Tabela 5 mostra os dados utilizados para obtenção do valor da condutividade no piezômetro E₃, os demais valores foram obtidos seguindo este mesmo procedimento.

É importante também observar a relativa semelhança entre os dados obtidos no campo e os dados de laboratório para o solo TEd. Cada valor representado na Tabela 6 é uma média obtida de seis dados.

TABELA 4 - Valores das condutividades hidráulicas obtidas em teste de campo para os quatro tipos de solos

AQV ₂	AQV ₁	TEd	Tu
Valores de K (cm/dia)	Valores de K (cm/dia)	Valores de K (cm/dia)	Valores de K (cm/dia)
2042,9	268,2	450	6,9
1792,7	257,8	359,7	
1708,3	137,4	164,3	
1702			
Média = 1811,5	Média = 221,1	Média = 324,7	Média = 6,9

TABELA 5 - Mostra os procedimentos para determinar a condutividade hidráulica, a partir da altura (h) no tempo (t)

Tempo (seg.)	h (cm)	h/h ₀	ln(h/h ₀)
0	48,0 (h ₀)	1,000	0,000
5	32,1	0,669	-0,402
10	21,7	0,452	-0,794
15	14,5	0,302	-1,197
20	10,4	0,217	-1,529
25	7,6	0,158	-1,843
30	5,6	0,117	-2,148
35	3,7	0,077	-2,563
40	2,7	0,056	-2,878
45	2,2	0,046	-3,083
50	1,8	0,038	-3,283
60	1,3	0,027	-3,609
70	1,0	0,021	-3,871

$$T_0 = 12,0 \text{ seg.}$$

$$K = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ cm/seg, ou } 1702 \text{ cm/dia}$$

TABELA 6 - Condutividades hidráulicas obtidas em laboratório para o solo TEd.

Perfil (cm)	K (cm/dia)
0 - 20	215,2
20 - 40	124
40 - 60	53
60 - 80	168
80 - 100	342,8

6.3 Águas dos rios

6.3.1 Fluxos de entrada

A Tabela 7 mostra os dados de vazões de entrada e saída na represa no decorrer do ano de 1996 e em janeiro de 1997. Faltam alguns valores que por algum motivo não foi possível determinar. Também não existem dados referentes aos meses de agosto e setembro, embora tenha havido mais de uma leitura nos meses de maio, junho e julho. Mesmo assim, em muitas datas existem valores de todos os fluxos, tanto no período de chuvas como no período seco. As maiores vazões foram registradas sempre no período chuvoso e, para a maioria dos componentes do balanço, as menores aconteceram no período seco, exceto no caso do Ribeirão do Lobo e do Córrego das Perdizes onde a menor vazão se deu no período chuvoso.

Observa-se que a diminuição ou aumento na vazão em um dos fluxos nem sempre implica numa variação semelhante em outro. Mas em geral existe uma certa regularidade neste sentido.

Para efeito de cálculo médio, considerou-se dois períodos: um seco (abril a setembro) e um chuvoso (outubro a março). Utilizou-se estes dados de vazão para fazer as médias nos dois períodos para cada entrada.

6.3.2 Concentração de fósforo total

As concentrações do fósforo total transportado pelos rios que desaguam na represa estão mostradas na Tabela 8. Nesta tabela existem dados tanto do período seco como do chuvoso, os quais sugerem que uma maior quantidade é transportada para a represa no período chuvoso. Isto pode ser melhor verificado examinando a Tabela 9, onde também são mostradas as quantidades mensais de entrada, obtidas pelo produto das vazões pelas concentrações e transformando as unidades para Kg/mês. A maior contribuição de fósforo para a represa vem do sistema Itaqueri - Água Branca, pois possuem as maiores vazões e as maiores concentrações.

TABELA 7 - Valores das vazões de entrada e saída na represa, inclusive as entradas por escoamento subterrâneo e os procedimentos adotados para obtê-los, no período de 24/01/96 a 13/01/97. Todos os valores em l/s.

Rio	24/01	08/02	01/03	03/04	23/05	26/05	21/06	28/06	04/07
Geraldo	362	532	467	320	314	264	257	164	230
Água Branca	496	639	639	471	537	316	361	344	326
Itaqueri	681	721	721	286	560	266	187	161	249
Lobo	355	295	295	180	300	159	138	246	116
Perdizes			165	85	190	162	83	60	58,2
Tot. Entrada			2287	1342	1901	1167	1026	975	979,2
J. Guaçú		7491	7491	1710	2850	2053	1704	1639	1547
Saída - Entr.			5139	368	949	886	678	664	567,8

5204

continuação

Rio	12/07	26/07	30/10	28/11	11/12	13/01
Geraldo	273	277	284	245	386	
Água Branca	313	278	322	325	478	404
Itaqueri	202	120	222	191	222	595,2
Lobo	114,4	167	120	75	78,3	352,6
Perdizes	73,6	56	71	45	48	
Tot. Entrada	976	898	1019	881	1212,3	
J. Guaçú	1535	1433	3745	4581	2097	4378,2
Saída - Entr.	559	535	2726	3700	884,7	

TABELA 8 - Concentração de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) nos principais tributários da represa e no rio Jacaré Guaçú em amostragens realizadas em 1996.

Rio	11/01	16/01	24/01	01/02	08/02	01/03	21/06	28/06	04/07	12/07	26/07
Geraldo	30,2	19,3	12,7	130,5	37,1	13,0	6,1	5,16	0,0	2,86	6,5
Água Branca	184,8	87,7	113,0	160,1	119,0	121,0	140,0	118,3	146,3	113,0	147,0
Itaquerí	137,7	32,7	51,2	127,5	83,1	40,4	27,5	10,4	2,53	9,77	11,7
Lobo	46,3	78,8	91,3	102,5	50,6	35,4	26,9	12,4	0,25	4,18	15,4
Perdizes	25,2	24,9					39,0	20,6	9,4	0,0	5,8
J. Guaçú	96,3	4,17	7,5	51,5	26,2	15,7	19,3	13,4	0,0	4,83	13,8

TABELA 9 - Valores médios das vazões, concentrações e as respectivas massas de fósforo total que entram na represa pelos tributários e saem pelo rio Jacaré Guaçú, nos períodos considerados.

Entradas, e a saída Pelo J. Guaçú	Período seco			Período chuvoso		
	Vazão (l/s)	Conc. ($\mu\text{g/l}$)	Massa total (Kg/mês)	Vazão (l/s)	Conc. ($\mu\text{g/l}$)	Massa total (Kg/mês)
Geraldo	262	4,124	2,8	379	40,466	39,75
Água Branca	368	132,98	126,84	468	130,93	158,83
Itaqueri	254	12,38	8,15	339	78,76	69,21
Lobo	178	11,83	5,46	142	67,48	24,84
Perdizes	96	14,96	3,72	82	25,05	5,32
J. Guaçú	1809	10,27	28,99	4964	33,56	431,81

Bacia Jacaré Guaçu

Lembrando que são seis meses para cada período (seco e chuvoso), chega-se a um total de entrada pelos rios igual a 2669,52 Kg/ano, e a um total de saída igual a 2764,8 Kg/ano, sendo o Jacaré Guaçu a única saída do sistema. No período seco entraram 881,82 e saíram 173,94 Kg, e no chuvoso entraram 1787,7 e saíram 2590,86 Kg, portanto, de acordo com estes dados, o ambiente retém fósforo no período seco.

6.4 Água subterrânea

6.4.1 Fluxos subterrâneos

Conforme dito anteriormente, os fluxos de água subterrânea para a represa foram determinados subtraindo-se do valor da saída pelo rio Jacaré Guaçu, os valores somados das entradas pelos rios principais em cada data. Estes valores estão representados na Tabela 7 como "Saída - Entr". Observa-se que apenas uma vez (03/04), durante o período em que foram realizadas as medidas, a contribuição da água subterrânea esteve abaixo de 30% do total que entra, sendo esta também menor vazão. Este dado, no entanto, deve ser olhado com cautela já que a medida foi feita logo após a estação chuvosa (portanto espera-se que o valor não seja tão baixo) e as vazões de entrada nos meses posteriores do período seco foram sempre superiores a 500 l/s. Com exceção deste, os outros valores do período seco estiveram sempre acima de 30%, chegando até ultrapassar um pouco os 40%. No período chuvoso as vazões de entrada foram maiores, chegando a uma contribuição em termos percentuais em torno de 80% (28/11), embora não tenha coincidido com a maior vazão de entrada (01/03), isto possivelmente seja resultado de chuvas setoriais dentro da bacia.

Vale ressaltar aqui que, segundo informações do operador da usina, a comporta de fundo só é aberta quando o nível da represa chega na cota 703,35 m (medidos na régua já mencionada) e isto raramente acontece. Em 08/02 e 01/03, datas de maiores registros de vazão de saída (J. Guaçu), as cotas estavam em 703,18 m e 703,26 m respectivamente, sendo que nos dois dias que precediam cada uma destas medidas as cotas estavam também abaixo daquela que justifica a abertura da comporta (703,35 m), e isto se deu em todas as datas em que se mediu vazão de saída. Portanto, a vazão de saída do rio Jacaré Guaçu não está sofrendo acréscimos pela abertura da comporta.

Tundisi (1986) registrou valores de vazão (m^3/s) para o Itaqueri (após a junção com o Água Branca), Lobo, Geraldo, Perdizes e Cachoeirinha (Córrego da Estiva) como sendo respectivamente 3,11 ; 0,99 ; 0,43 ; 0,22 e 0,09. Para a saída o registro foi de 8,48 m^3/s , produzindo então uma diferença entre saída e entradas de 4,00 m^3/s (4000 l/s), valor este atribuído à entrada via escoamento subterrâneo.

Os fluxos de entrada de água subterrânea para cada solo foram obtidos através das equações 1 e 2, onde se considerou apenas os valores médios das condutividades hidráulicas e dos gradientes hidráulicos para cada tipo de solo, além do comprimento das fronteiras destes com a margem. A Fig. 12 mostra os tipos de solos fronteiros a margem, bem como os comprimentos destas fronteiras.

Os valores médios das vazões nos períodos seco e chuvoso foram 651 e 3112 l/s respectivamente (obtidos da Tabela 7), os quais foram substituídos na equação 1, como sendo a variável q_t , produzindo assim também valores médios nos fluxos em cada solo nos dois períodos. Estes dados juntamente com os fatores f_s obtidos da equação 2 estão mostrados na Tabela 10.

TABELA 10 - Vazão média mensal de água subterrânea através de cada solo nos períodos seco e chuvoso.

Solo	Fator (f) Eq. 2	Vazão média no período seco ($\text{m}^3/\text{mês}$)	Vazão média no período chuvoso ($\text{m}^3/\text{mês}$)
Ted	0,044	74131,2	355104
AQV ₁	0,228	384652,8	1839024
AQV ₂	0,722	1218240,0	5824224
Tu	0,005	8553,6	40435,2

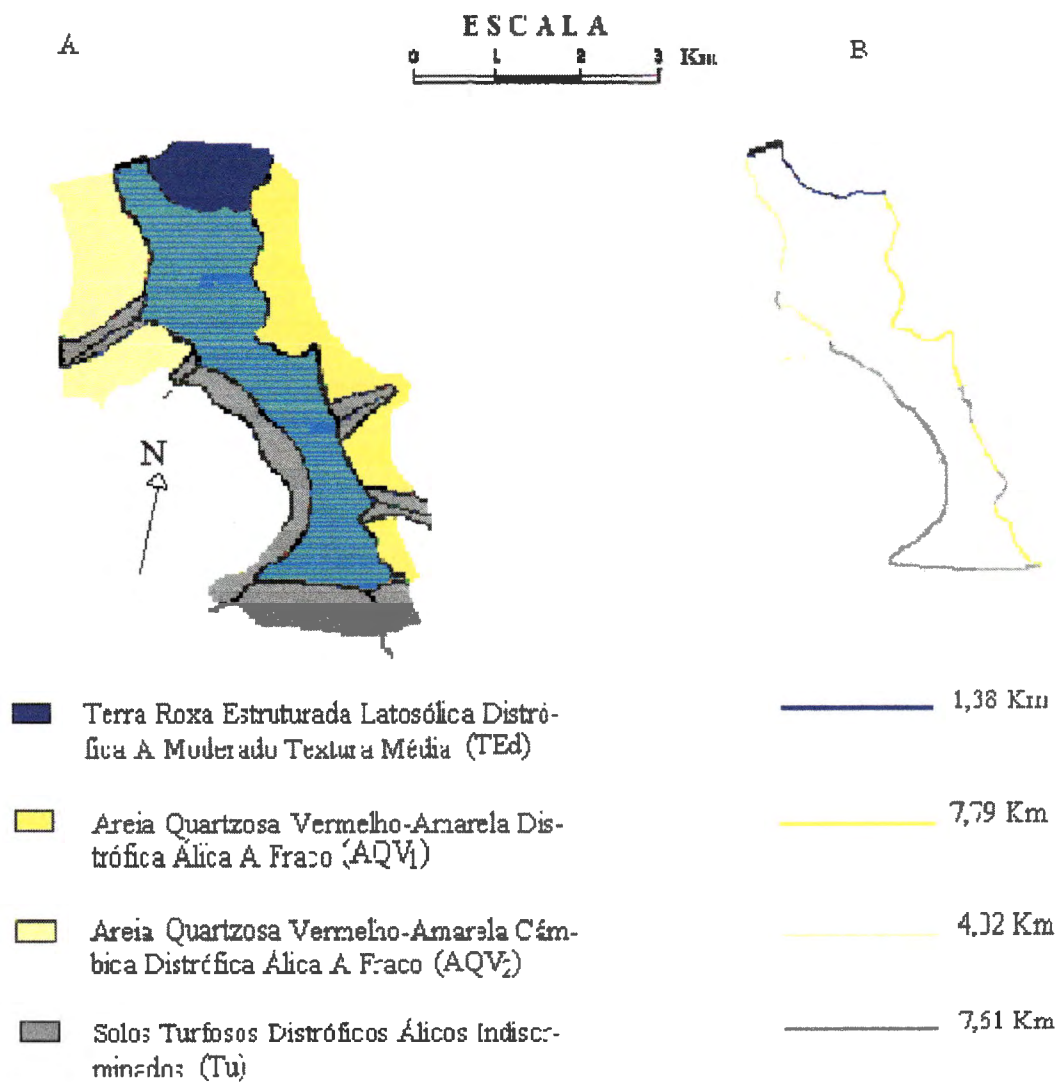


FIGURA 12 - A) Tipos de solos fronteiros as margens da represa, B) Linhas representando estas fronteiras e o comprimento das mesmas.

Fonte: Sobral & Tundisi, 1985 (modificada).

6.4.2 Concentrações de nitrogênio e fósforo

Os teores de fósforo na água subterrânea estão mostrados nas Tabelas 11 a 17. O maior valor registrado para o fósforo total (PT) foi 44,408 $\mu\text{g/l}$ e raramente estes valores excederam a 30 $\mu\text{g/l}$ e foram poucos (menos de 10%) os que passaram de 20 $\mu\text{g/l}$. A grande maioria (em torno de 75%) esteve abaixo de 10 $\mu\text{g/l}$. Os maiores valores geralmente ocorreram em piezômetros específicos, e os valores registrados como 0,000 nas tabelas, são aqueles em que não foi possível, pelo método utilizado, detectar qualquer teor. Todos os dados foram incluídos para obter as médias nos períodos seco e chuvoso. Além dos dados mostrados nas tabelas, houve ainda amostragens em 05/12/96 nos piezômetros Pinheiros zero, Pinheiros um e Aereoporto (dando respectivamente 9,21 ; 5,263 e 2,631 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total), e amostragens em 10/12/96 nos piezômetros JB e JB/Bal (dando respectivamente 8,224 e 10,197 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total), cujos valores foram também incluídos na determinação de médias. O fósforo total dissolvido (PTD) e o fósforo inorgânico (P Inorg.) apresentaram valores muito baixos. Na sequência B em 14/05/96 (Tabela 12) e em 30/05/96 (Tabela 13), as amostras no piezômetro B₁ apresentaram valores relativamente altos de PTD. No entanto, por ultrapassarem os valores de PT fica a suspeita de algum tipo de erro no decorrer dos procedimentos analíticos. Houve ainda mais três situações em que o PTD foi maior que o PT, só que estas se deram em uma região de concentrações muito baixas (menor que 5 $\mu\text{g/l}$) e por isso dificultando qualquer tentativa de explicação.

TABELA 11 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), nas sequências A, E e F do solo AQV₂ em 02/04/96. Valores em $\mu\text{g/l}$.

Posição	A			E			F		
	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT
1	2,580	2,641	9,540	0,322	1,056	1,645	5,806	5,105	6,759
2	2,258	2,288	0,329	0,000	0,880	4,276	1,774	2,817	9,540
3	2,742	3,345	33,553	0,483	4,049	2,303	1,451	1,936	3,947
4	2,419	2,288	6,579	1,935	2,465	12,829	1,129	2,289	10,855
5	2,419	2,817	5,921	0,806	1,584	0,329			

TABELA 12 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), para as seqüências A, B e C nos solos AQV₂, em 14/05/96. Valores em µg/l.

Posição	A			B			C		
	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT
1	4,667	5,458	11,349	0,806	22,007	8,389	0,967	3,873	9,704
2	1,774	4,402	4,441	2,258	3,345	7,402	4,193	4,753	20,56
3	4,194	4,930		1,129	0,880	0,000			
4	1,129	1,585	3,454	1,452	2,465				
5	1,612	2,288	4,77	0,968	0,704		2,258	1,408	4,441

TABELA 13 - Valores de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT) em todas as seqüências do solo AQV₂, em 30/05/96. Todos os valores em µg/l.

Posição	A			B			C		
	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT
0				2,903	4,577	2,632			
1	1,129	0,704	9,54	0,806	13,556	7,895	3,225	8,098	11,553
2	1,612	2,817		2,581	1,584	7,566	3,549	0,880	
3	1,129	1,936	5,921	0,645	0,352		0,967	1,584	
4	2,580	4,049		2,904	0,352		0,000	0,000	11,842
5	1,612	2,112		1,612	1,584		1,290	0,352	15,79

continuação

Posição	D			E			F		
	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT
0	2,741	5,457	13,658				3,064	3,697	24,671
1	0,322	3,169	6,25	1,613	5,634	12,5	3,064	3,697	11,513
2	3,065	0,000	6,744	0,322	5,281		1,613	4,049	1,316
3	0,483	0,880		0,484	1,936	4,605	0,162	0,352	8,718
4	0,465	2,641		0,968	1,232	23,355	0,000	0,176	26,316
5	0,000	0,000		0,000	0,000				

TABELA 14 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e Fósforo total (PT), para as seqüências B, D e F nos solos AQV₂ em 08/07/96. Valores em µg/l.

Posição	B			D			F		
	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT	P Inorg	PTD	PT
0	0,000	0,528	2,632	0,000	0,352	0,000			0,000
1	0,000	3,345	0,000	0,484	1,056	0,987			5,921
2	0,645	0,880	1,974	0,000	0,000	0,987			3,619
3	0,161	0,000		0,000	0,000				
4	0,968	0,880		2,097	2,993				
5	1,129	0,880		0,484	0,704				

TABELA 15 - Dados de fósforo total (µg/l) nas seqüências B, D e F nos solos AQV₂ (além de B₁ linha) em 26/08/96

Posição	B	B ₁ linha	D	F
0	0,000		0,000	0,000
1	0,658	0,329	4,606	0,000

TABELA 16 - Dados de fósforo inorgânico (P Inorg.), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total (PT), para a seqüência TR nos solos TEd em 16/05/96 e 30/05/96. Valores em µg/l.

Posição	16. 05. 96			30. 05. 96		
	P. Inorg.	PTD	PT	P. Inorg.	PTD	PT
1	0,968	1,760	3,125	0,322	1,584	7,895
2	0,484	2,993	8,718	0,968	0,704	13,487
3	1,129	1,056		0,968	1,056	16,777

TABELA 17 Mostrando os valores de Fósforo ($\mu\text{g/l}$), em vários dos piezômetros instalados ao redor da represa do Lobo. Na coluna da esquerda estão as datas das coletas.

Data	Dona Lourdes	B ₁	B ₁ linha	B ₂	D ₁	D ₁ linha	P. Zero	P. Um	aereo- porto	JB	JB/ Bal	TR ₁	TR ₂	TR ₃
30/05/96		7,895			6,52							7,895	13,487	16,777
13/06/96		4,277			0,658							37,829	6,579	
08/07/96		0,000			0,987							0,987	4,606	
26/08/96		0,658	0,329		4,606					0,000	15,434	0,000		
29/10/96			2,303	5,921	10,198	10,856		33,224		6,250	5,921	3,619	25,658	
28/11/96	8,553		3,948	6,579	5,593	10,527	44,408	11,843	18,421	0,000	1,974	2,961	38,487	10,527
06/12/96	8,553		5,263	1,974	14,145	1,645	18,421	29,605	14,474	3,289	7,237		7,566	
16/12/96	7,894		2,302	7,566	4,276	8,233	4,605	6,908	10,526	9,539	3,947	3,947	7,237	5,592
20/12/96	5,921		6,579	5,921	3,619	2,303	8,882	4,935	4,606	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27/12/96	3,289		8,881	6,250	8,881	8,223	6,908	12,994	7,073	2,302	1,315	0,000	30,592	0,000
15/01/97	3,454		4,112	5,757	6,086	2,467	17,270	7,402	4,770	4,441	10,033	6,744	7,402	0,823
05/02/97	6,744			7,073	5,428	3,454	6,415	5,099	6,415	3,783	6,744	9,375	9,046	4,112
21/03/97	3,125			12,007	8,388	9,046	14,967	6,744	11,678	8,388	8,060	10,362	12,665	8,060

Os solos Tu não apresentam dados no período seco e o solo AQV₁ apresenta apenas uma coleta com dois dados para este período (a média foi feita apenas com estes dois dados). Os outros dois solos que apresentam vários dados em ambos os períodos não demonstram ter sofrido variações sazonais, ou seja, as médias no período chuvoso e seco não apresentaram grandes diferenças, assim também como o AQV₁ (Tabela 18). Portanto, considerou-se que o solo Tu possuía média no período seco igual a média no período chuvoso.

TABELA 18 - Médias de concentrações nos períodos seco e de chuvas para os quatro tipos de solos.

Tipos de solo	Período	Período chuvoso
	seco	
TEd	9,976	8,533
AQV ₁	7,717	5,082
AQV ₂	6,828	6,270
Tu	11,989	11,989

Para o nitrogênio Kjeldahl, (Tabela 19) o maior valor registrado foi 2,015 mg/l, sendo este o único que ficou acima de 2 mg/l. A maioria (em torno de 74%) ficou abaixo de 1mg/l. Mesmo assim, para um sistema como a represa Lobo, muitos destes valores podem ser considerados elevados.

Os valores das concentrações tanto de fósforo total como de nitrogênio Kjeldahl não mostram diferenças quando se compara as águas mais próximas à superfície com as águas mais profundas no solo AQV₂, ou seja, o piezômetro B₁', quando comparado com o B₂, e o D₁', quando comparado ao D₁ apresentam resultados bem próximos em termos das médias calculadas entre os valores em que os dois foram amostrados.

TABELA 19 - Dados de Nitrogênio Kjeldahl (mg/l), em vários piezômetros em volta da represa, e as datas de coletas das amostras.

Data	Dona Lourde s	B ₁	B ₁ Linha	B ₂	D ₁	D ₁ linha	P. Zero	P. Um	aereo- porto	JB	JB Bal	TR ₁	TR ₂	TR ₃
26/08/96		0,000	0,000		0,849					0,000	0,000	0,000		
29/10/96			0,494	0,317	0,765	0,391		0,253		1,007	0,261	0,186	0,373	
28/11/96	0,130		0,065	0,065	0,009	0,083	0,494	0,466	0,363	0,000	0,195	0,251	0,326	0,149
06/12/96	0,382		0,055	0,195	0,111	0,009	0,569	0,531	0,559	0,289	0,298		0,466	
16/12/96	1,231		1,166	1,101	1,119	1,175	1,446	1,502	1,194	0,197	1,026	0,214	0,177	1,119
20/12/96	0,093		0,382	0,429	0,149	0,205	0,569	0,541	0,606	0,242	0,111	0,755	0,662	0,783
27/12/96	0,149		0,401	0,625	0,727	0,205	2,015	1,297	0,513	0,494	0,671	0,597	0,578	0,961
15/01/97	0,942		1,353	0,858	1,278	1,315	1,231	1,913	1,017	1,605	1,455	1,577	1,521	1,931
05/02/97	1,026			1,726	1,483	1,138	1,913	1,297	1,689	1,203	1,250	1,166	1,521	1,073
21/03/97	0,065			0,438	0,298	0,149	0,354	0,251	0,326	0,149	0,111	0,261	0,121	0,177

Para obter o valor total da entrada de fósforo pela água subterrânea, tomou-se o produto das vazões (Tabela 10) pelas concentrações (Tabela 18) nos períodos considerados, e chegou-se a um total anual de 369,06 Kg, sendo que o solo A_{QV}₂ contribuiu com 72,9% deste valor (isto se deve a maior vazão), e os solos Tu contribuíram com menos de 0,2%. No período seco a entrada foi de 72,78 e no chuvoso 296,28 Kg.

6.5 Água da chuva

Os dados de nitrogênio e fósforo na água da chuva estão mostrados nas Tabelas 20 a 25. Além das concentrações destes nutrientes, as tabelas mostram as datas das coletas, os volumes encontrados nos baldes, os milímetros de precipitação correspondentes a estes volumes (volume dividido pela área da boca do balde), e a massa total que é depositada, ou no solo ou na represa (esta massa é o produto da concentração pelo volume). Em geral os grandes volumes causados por chuvas contínuas e de longa duração resultaram em concentrações pequenas. Isto pode ser devido ao fato de a primeira parte da chuva lavar a atmosfera e o restante vai somente diluir o que já está no frasco, e pode também explicar porque uma boa parte dos pequenos volumes estarem com concentrações altas. Em alguns dos grandes volumes em que haviam altas concentrações, notou-se que eram resultados de duas ou três chuvas espaçadas entre si (geralmente no período da noite), dando nos intervalos oportunidade de a atmosfera recuperar um pouco a sua composição. Em 05/12/94 uma amostra de volume pequeno apresentou baixas concentrações, isto porque neste dia houve uma pequena chuva que produziu um volume de apenas 55ml, o qual foi descartado por não ser suficiente para atender a todos os parâmetros que na ocasião se fazia, e, logo em seguida, teve início outra chuva que deixou no balde 280 ml, os quais foram recolhidos para análise. Diante disto, cremos que a chuva que foi descartada retirou da atmosfera uma boa parte das formas de nitrogênio e fósforo que ali estavam, o que refletiu nas concentrações da que veio logo após. Houve ainda resultados que destoaram muito, ou seja, bem mais elevados que os outros, e também duas situações (29/11/94 e 23/12/94) em que os resultados são um tanto contraditórios, ou seja, nas amostras não foi detectado nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico + amônia), e no entanto as mesmas apresentaram teores de amônia. Situação semelhante a anterior, em que os teores de amônia estavam acima do teor de nitrogênio Kjeldahl ocorreu em 05/11/94 e 02/12/94. Em ambos

os casos há de se notar que as diferenças registradas entre estes dois parâmetros em cada data, não ultrapassou 100 µg/l (0,1 mg/l).

Nos períodos em que se coletou chuva, houve registros tanto de altas como de baixas concentrações para nitrogênio e fósforo em todo o transcorrer. Portanto, não fica muito claro que com o passar do tempo, especificamente o fósforo e as formas nitrato e amônia (para estes dois últimos, os dados talvez não sejam suficientes para tal inferência), tendem a contribuir cada vez menos, em termos de massa, enquanto existirem chuvas frequentes (período chuvoso). Isto pode ser melhor observado quando se toma a razão, em cada mês, entre a massa total destes compostos depositada pela chuva e a quantidade de chuva (em milímetros). Observa-se que esta razão vai diminuindo mês a mês. Este fato não é claramente percebido para o nitrogênio Kjeldahl em nenhum dos períodos, embora se verifique para a amônia no ano de 1994 (aqui também vale a observação de poucos dados). Portanto, a atmosfera tem realmente um certo poder em restabelecer sua composição (com respeito ao fósforo e possivelmente com as formas inorgânicas de nitrogênio), mas a medida que o tempo passa este poder vai se enfraquecendo; e com respeito à forma Kjeldahl de nitrogênio, a atmosfera aparentemente não apresenta este enfraquecimento ou ele acontece de forma bem mais lenta, o que vem despertar a curiosidade de saber quais fontes estão constantemente fornecendo este elemento.

Moraes (1978), determinou os teores de nitrato e fósforo total em algumas amostras de água de chuva coletadas nesta região da represa do Ribeirão do Lobo, como mostra a Tabela 26. Com exceção daqueles valores destoantes os demais valores para o fósforo obtidos neste trabalho, são muito semelhantes aos encontrados pelo referido autor. Quanto ao nitrato, os valores obtidos no presente trabalho são aparentemente mais elevados.

Com os dados de precipitação (nos baldes), as quantidades de massa depositada e a área da boca dos baldes, estimou-se os montantes (em Kg/Km²) de nitrogênio total, nitrogênio Kjeldahl e fósforo total depositados no período de 1994, e também de fósforo total e nitrogênio Kjeldahl no período de 96/97 (Tabela 27). Os dados assim obtidos mostram que no período de 1994 houve uma maior contribuição de fósforo, embora com menor quantidade de chuvas coletadas. Já a contribuição do nitrogênio Kjeldahl é bem maior no período em que se coletou mais chuva (96/97). Verifica-se então que não existe uma relação direta entre a quantidade de chuvas e a quantidade de nutrientes depositados.



TABELA 20 - Dados de concentrações das várias formas de nitrogênio em água de chuva, juntamente com as datas das coletas. Em cada parâmetro temos a concentração na amostra (mg/l ou µg/l) e a massa total (mg tot. ou µg tot.) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	N- Kjeldahl		Amônia		Nitrito		Nitrito	
			mg/l	mg tot.	µg/l	µg tot.	µg/l	µg tot.	µg/l	µg tot.
21/10/94	13,2	0,905	1,974	1,786	778,238	704,305	1,072	0,970	556,550	503,678
22/10/94	14,2	0,975	1,218	1,188	609,795	594,550	0,778	0,759	527,924	514,726
25/10/94	35,1	2,4	0,872	2,093	163,893	393,343	0,321	0,770	164,947	395,873
27/10/94	25,4	1,74	0,615	1,070	142,582	248,093	0,060	0,104	106,168	184,732
28/10/94	8,3	0,57	1,334	0,760	192,172	109,538	0,321	0,183	123,725	70,523
29/10/94	18,1	1,24	0,504	0,625	254,467	315,539	0,125	0,155	200,061	248,076
Tot.Out	114,3			7,522		2365,37		2,941		1917,61
05/11/94	36,3	2,48	0,462	1,146	549,139	1361,86	1,828	4,533	498,534	1236,36
07/11/94	34,1	2,33	1,344	3,132	159,016	370,507	12,141	28,289	204,580	476,671
09/11/94	4,5	0,31	3,150	0,977	850,820	263,754	1,855	0,575	613,359	190,141
14/11/94	34,1	2,33	0,168	0,391	61,475	143,238	0,484	1,128	101,145	235,668
18/11/94	21,5	1,47	2,562	3,766	302,869	445,217	1,398	2,055	240,076	352,912
19/11/94	15,8	1,08	1,428	1,542	617,213	666,590	1,142	1,233	427,481	461,679
27/11/94	6,2	0,425	0,588	0,250	54,508	23,166	0,228	0,097	103,817	44,122
28/11/94	37,3	2,55	1,218	3,106	129,098	329,200	0,419	1,068	94,275	240,401
29/11/94	41,8	2,86	0,000	0,000	77,459	221,533	0,419	1,198	54,962	157,191
Tot.Nov	231,6			14,31		3825,07		40,176		3395,15
02/12/94	7,0	0,485	0,294	0,143	390,533	189,409	1,072	0,520	241,573	117,163
05/12/94	4,8	0,28	0,882	0,247	197,541	55,311	0,550	0,154	148,855	41,679
06/12/94	38,7	2,65	2,814	7,457	212,664	563,560	0,751	1,990	183,267	485,658
07/12/94	4,6	0,32	0,714	0,228	364,754	116,721	0,876	0,280	190,458	60,947
15/12/94	1,5	0,105	1,428	0,150						
17/12/94	10,3	0,71	1,260	0,895	474,959	337,221	0,946	0,672	458,840	325,776
18/12/94	22,5	1,54	4,620	7,115	234,426	361,016	0,321	0,494	186,641	287,427
23/12/94	50,5	3,45	0,000	0,000	65,164	224,816	0,419	1,446	78,626	271,260
Tot.Dez	139,9			16,235		1848,06		5,556		1589,91
Totais	485,8			38,07		8038,49		48,68		6902,67

TABELA 21 - Dados de nitrogênio Kjeldahl na água da chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações (mg/l) e a massa total (mg tot.) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	N- Kjeldahl	
			mg/l	mg tot.
26/10/96	18,24	1,795	1,278	2,294
27/10/96	0,44	0,044	5,487	0,241
28/10/96	17,58	1,730	1,129	1,953
01/11/96	19,31	1,900	12,943	24,592
01/11/96	19,21	1,890	1,213	2,293
02/11/96	1,06	0,105	18,691	1,963
03/11/96	0,47	0,047	9,153	0,430
04/11/96	6,40	0,630	1,642	1,034
15/11/96	29,93	2,650	1,259	3,336
16/11/96	51,13	5,030	1,427	7,404
17/11/96	1,52	0,15	11,804	1,771
18/11/96	17,68	1,74	1,213	2,111
22/11/96	52,14	5,13	0,858	4,402
Tot.Nov	235,11			53,724
05/12/96	0,34	0,033	4,852	0,160
05/12/96	1,63	0,160	7,232	1,157
07/12/96	17,74	1,745	0,774	1,351
11/12/96	3,00	0,295	7,764	2,290
12/12/96	2,91	0,286	2,528	0,723
13/12/96	3,23	0,318	1,651	0,525
14/12/96	5,03	0,495	2,640	1,307
17/12/96	12,30	1,218	1,670	2,034
17/12/96	10,06	0,990	0,410	1,607
18/12/96	0,14	0,014	2,406	0,034
20/12/96	8,28	0,815	0,886	0,722
21/12/96	2,71	0,267	6,793	1,814
22/12/96	5,8	0,57	4,535	2,585
23/12/96	16,72	1,645	0,895	1,472
24/12/96	14,90	1,465	0,849	1,244
26/12/96	5,30	0,520	4,712	2,450
27/12/96	0,30	0,03	30,711	0,921
29/12/96	16,11	1,585	0,634	1,005
31/12/96	2,13	0,210	4,638	0,974
Tot.Dez	128,63			24,375
Total	363,74			78,099

TABELA 22 - Dado de nitrogênio Kjeldahl na água da chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações (mg/l) e a massa total (mg tot.) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	N- Kjeldahl	
			mg/l	mg tot.
02/01/97	6,40	0,630	0,737	0,464
07/01/97	24,90	2,450	0,970	2,376
10/01/97	7,32	0,72	1,763	1,269
10/01/97	7,83	0,77	1,287	0,991
13/01/96	17,58	1,73	1,801	3,116
13/01/97	0,91	0,09	3,583	0,322
16/01/97	0,91	0,09	15,743	1,417
18/01/97	3,96	0,390	3,023	1,179
20/01/97	20,2	1,99	2,071	4,121
21/01/97	12,6	1,24	3,098	3,841
23/01/97	9,8	0,97	2,547	2,470
24/01/97	41,8	4,12	1,987	8,186
25/01/97	7,8	0,77	2,463	1,896
27/01/97	19,3	1,905	3,975	7,572
28/01/97	4,0	0,395	2,883	1,138
29/01/97	39,7	3,905	2,221	8,673
31/01/97	1,4	0,14	16,797	2,351
Tot. Jan	226,41			51,382
03/02/97	23,0	2,27	1,801	4,088
04/02/97	2,7	0,27	2,360	0,637
10/02/97	1,2	0,12	19,867	2,384
11/02/97	2,1	0,21	8,884	1,86
13/02/97	0,5	0,048	16,348	0,785
14/02/97	4,3	0,42	1,717	0,721
17/02/97	26,7	2,63	0,793	2,086
17/02/97	10,5	1,03	0,727	0,749
18/02/97	23,8	2,34	0,513	1,200
24/02/97	1,8	0,18	3,004	0,541
26/02/97	2,3	0,23	4,050	0,932
Tot. Fev	98,9			15,983
Total	325,31			67,365

TABELA 23 - Dados de concentrações várias formas de fósforo na água da chuva, juntamente com as datas das coletas. Em cada parâmetro temos a concentração na amostra ($\mu\text{g/l}$) e a massa total ($\mu\text{g tot.}$) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	P total		P total dissolvido		P inorgânico	
			$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g tot.}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g tot.}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g tot.}$
21/10/94	13,2	0,905	86,513	78,294	65,602	58,881	60,335	54,603
22/10/94	14,2	0,975	24,013	23,417	20,884	20,362	18,077	17,625
25/10/94	35,1	2,4	37,829	90,790	8,451	20,282	7,258	17,419
27/10/94	25,4	1,74	10,197	17,743	5,986	10,416	4,677	8,138
28/10/94	8,3	0,57	11,513	6,562	34,683	19,769	28,71	16,365
29/10/94	18,1	1,24	246,381	305,512	18,067	22,403	14,368	17,816
Tot.Out.	114,3			522,318				
05/11/94	36,3	2,48	26,645	66,080	17,782	44,099	16,613	41,200
07/11/94	34,1	2,33	20,723	48,285	35,387	82,452	20,484	47,728
09/11/94	4,5	0,31	128,612	39,870	87,324	27,070	67,419	20,900
14/11/94	34,1	2,33	7,236	16,860	8,275	19,281	4,516	10,522
18/11/94	21,5	1,47	16,118	23,693	9,331	13,717	7,097	10,433
19/11/94	15,8	1,08	1,193	1,288	14,613	15,728	12,903	13,964
27/11/94	6,2	0,425	931,677	395,963	2,817	1,197	1,613	0,686
28/11/94	37,3	2,55	2,302	5,870	6,162	15,713	2,742	6,992
29/11/94	41,8	2,86	11,512	32,924	5,986	17,120	2,742	7,842
Tot.Nov	231,6			630,833				
02/12/94	7,0	0,485	158,552	76,898	20,775	10,076	14,032	6,806
05/12/94	4,8	0,28	66,776	18,697	17,958	5,028	6,452	1,807
06/12/94	38,7	2,65	6,908	18,306	4,577	12,124	5,000	13,250
07/12/94	4,6	0,320	62,171	19,895	16,902	5,409	8,064	2,580
15/12/94	1,5	0,105	86,184	9,049				
17/12/94	10,3	0,71	27,302	19,384	12,500	8,875	11,452	8,131
18/12/94	22,5	1,54	17,105	26,342	12,148	18,708	9,355	14,407
23/12/94	50,5	3,45	4,934	17,022	3,697	12,755	2,581	8,904
Tot.Dez.	139,9			205,591				
Totais	485,8			1358,74		462,012		348,089

TABELA 24 - Dados de fósforo total em água de chuva. juntamente com as datas das coletas, as concentrações ($\mu\text{g/l}$) e a massa total ($\mu\text{g tot.}$) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	P total	
			$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g tot.}$
26/10/96	18,24	1,795	9,869	17,715
27/10/96	0,44	0,044	40,461	1,780
28/10/96	17,58	1,730	7,566	13,089
01/11/96	19,31	1,900	135,198	256,876
01/11/96	19,21	1,890	2,961	5,596
02/11/96	1,06	0,105	478,948	50,290
03/11/96	0,47	0,047	560,198	26,329
04/11/96	6,40	0,630	28,290	17,823
15/11/96	29,93	2,650	30,264	80,200
16/11/96	51,13	5,030	44,408	223,372
17/11/96	1,52	0,15	39,474	5,921
18/11/96	17,68	1,74	7,237	12,592
22/11/96	52,14	5,13	13,816	70,876
Out+No	235,11			782,459
05/12/96	0,34	0,033	55,264	1,824
05/12/96	1,63	0,160	43,092	6,895
07/12/96	17,74	1,745	17,105	29,848
11/12/96	3,00	0,295	43,750	12,906
12/12/96	2,91	0,286	22,697	6,491
13/12/96	3,23	0,318	13,158	4,184
14/12/96	5,03	0,495	15,460	7,653
17/12/96	12,30	1,218	14,802	18,029
17/12/96	10,06	0,990	7,566	7,490
18/12/96	0,14	0,014	0,000	
20/12/96	8,28	0,815	4,935	4,02
21/12/96	2,71	0,267	42,764	11,418
22/12/96	5,8	0,57	5,264	3,000
23/12/96	16,72	1,645	0,000	
24/12/96	14,9	1,465	0,000	
26/12/96	5,3	0,520	26,645	13,855
27/12/96	0,30	0,03	1444,74	43,342
29/12/96	16,11	1,585	6,250	9,906
31/12/96	2,13	0,210	13,158	2,763
Tot.Dez	128,63			183,624
Totais	363,74			966,083

TABELA 25 - Dados de fósforo total em água de chuva, juntamente com as datas das coletas, as concentrações ($\mu\text{g/l}$) e a massa total ($\mu\text{g tot.}$) transportada pela chuva.

Data	Balde mm	Volume (l)	P total	
			$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g tot.}$
02/01/97	6,4	0,630	5,921	3,73
07/01/97	24,9	2,450	8,717	21,356
10/01/97	7,32	0,72	17,928	12,908
10/01/97	7,83	0,77	12,336	9,498
13/01/97	17,58	1,73	6,744	11,667
13/01/97	0,91	0,09	9,704	0,873
16/01/97	0,91	0,09	31,086	2,797
18/01/97	3,96	0,390	10,033	3,912
20/01/97	20,2	1,99	10,033	20,556
21/01/97	12,6	1,24	5,428	6,730
23/01/97	9,8	0,97	4,770	4,626
24/01/97	41,8	4,12	3,783	15,585
25/01/97	7,8	0,77	4,770	3,672
27/01/97	19,3	1,905	72,204	137,548
28/01/97	4,0	0,395	4,441	1,754
29/01/97	39,7	3,905	6,415	25,050
31/01/97	1,4	0,14	18,257	2,555
Tot. Jan	226,41			284,817
03/02/97	23,0	2,27	4,112	9,334
04/02/97	2,7	0,27	10,362	2,797
10/02/97	1,2	0,12	78,125	9,375
11/02/97	2,1	0,21	26,152	5,491
13/02/97	0,5	0,048	37,172	1,784
14/02/97	4,3	0,42	11,678	4,905
17/02/97	26,7	2,63	12,336	32,444
17/02/97	10,5	1,03	7,402	7,624
18/02/97	23,8	2,34	4,770	11,162
24/02/97	1,8	0,18	17,270	3,109
26/02/97	2,3	0,23	35,691	8,209
Tot.Fev	98,9			96,234
Totais	325,31			381,051

TABELA 26 - Dados de concentrações de nitrato e fósforo total em águas de chuva, na região da represa do Lobo, segundo Moraes (1978).

Data	N-NO ₃ ⁻ (µg/l)	P - Total (µg/l)
09/10/75	202,5	31,9
16/10/75	179,2	23,2
06/11/75	128,9	11,1
13/11/75	15,8	13,5
20/11/75	6,5	16,3
27/11/75	31,1	48,0
04/12/75	49,5	83,4
11/12/75	5,7	72,8
26/01/76	8,6	46,7
03/02/76	4,2	13,4
09/02/76	2,4	18,4
17/02/76	9,7	15,8

TABELA 27 - Quantidades de fósforo total, nitrogênio total e nitrogênio Kjeldahl depositados pelos respectivos milímetros chovidos, durante os períodos de coleta.

PERÍODO	P Total (Kg/Km ²)	N Total (Kg/Km ²)	N Kjeldahl (Kg/Km ²)	Milímetros Chovidos
Out./94 - Dez./94	19,89	658,9	556,98	485,8
Out./96 - Fev./97	13,69		1478,7	689,05

Como é pretendido um balanço anual para o fósforo, há necessidade de se ter a massa total deste elemento, que entra durante o período de um ano através da chuva (considerou-se para este balanço, apenas os dados do período 96/97). Para estimar esta massa a partir dos dados que se dispõe, é preciso assumir que tais dados sejam uma amostra representativa de um período anual (entre 1400 e 1500 mm). Embora se tenha uma boa quantidade de milímetros (689,05), todos eles foram coletados na estação chuvosa (geralmente ocorrem neste período mais de 70% das chuvas),

onde a tendência é depositar cada vez menos fósforo com o passar do tempo. Esta tendência pode induzir a um resultado diferente da quantidade real depositada, mas, por não ser acentuada, há de se esperar que o erro produzido não seja muito grande. Utilizou-se então uma regra de três simples para obter a quantidade de fósforo depositada em um ano de chuva (adotou-se 1450 mm), partindo do fato de se ter a deposição de 13,69 Kg/Km² em 689,05 mm. Os dados obtidos na extrapolação se encontram na Tabela 28, onde também são mostrados dados da bacia hidrográfica do Rawson Lake durante um período de quatro anos (Schindler et al., 1976), e dados da bacia de drenagem do Rhode River (Peterjohn & Correl, 1984). Este último apresenta um valor de fósforo total no período coletado (março/81 a março/82) que difere da média anual (81 Kg/Km²) da localidade determinada ao longo de 1973 a 1978. Já os valores obtidos para o nitrogênio Kjeldahl e nitrogênio total são bastante semelhantes aos das médias anuais (860 e 1339 Kg/Km² respectivamente).

TABELA 28 - Mostrando valores anuais depositados por precipitação em três regiões diferentes. O Rawson Lake mostra variações ocorridas em quatro anos (1970 - 1973).

LOCAL	Milímetros anuais	P Total (Kg/Km ²)	N Total (Kg/Km ²)	N Kjeldahl (Kg/Km ²)
Represa do Lobo	1450	28,8		3111,7
Rhode River	1004	43,5	1420	943
Rawson Lake	701 - 767	24 - 53	477 - 732	

A represa do Ribeirão do Lobo tem 6,8 Km² de área superficial, portanto, utilizando-se o valor de 28,8 Kg/Km²/ano, tem-se que durante um ano entrou diretamente na represa via precipitação 195,84 Kg de fósforo. Souza (1993) estima este valor em 620 kg e Tundisi (1986) representa este valor como sendo 362 Kg. Se for feita uma extrapolação com os dados de chuva obtidos em 1994, o valor da deposição anual por precipitação é de 404 Kg, o qual, como já foi visto é uma provável superestimação.

6.6 Água dentro do reservatório

A represa do Lobo vem sendo estudada desde o início da década de setenta, com inúmeros trabalhos já produzidos os quais geraram uma grande quantidade de dados, que podem ser

organizados em uma série histórica. Souza (1993) fez uma análise dos dados produzidos até 1991, e verificou que o sistema não sofreu alterações apreciáveis a não ser em um caso de impacto por mineração de areia, mas à medida que este impacto cessou o sistema se restabeleceu. O fato de estar incluída numa área de proteção ambiental faz com que exista sempre a possibilidade desta região manter-se preservada, embora Tundisi (1986) relate alterações no reservatório atribuídas às atividades humanas na bacia como desflorestamento, despejos domésticos e agricultura. Este autor compartimentaliza ainda a represa em dois subsistemas distintos, a saber, o alto e o baixo reservatório. Os dados obtidos em todos estes anos são oriundos de amostras retiradas de vários pontos (estações) distribuídos nestes dois compartimentos.

Resultados de fósforo total de alguns trabalhos anteriores serão mencionados a seguir. Na Tabela 29 temos resultados médios de Moraes (1978) para este parâmetro, onde o maior valor registrado, segundo este autor, foi de 41,7 $\mu\text{g/l}$. Barbieri (1984) registrou valores de fósforo total na região pelagica da represa, nos meses de setembro de 1980 a março de 1981, e os resultados variaram de 8,5 a 22,0 $\mu\text{g/l}$, e neste mesmo período os valores nas regiões das macrófitas variaram de 10 a 151 $\mu\text{g/l}$. Calijuri & Tundisi (1990), apresentam valores de concentrações de fósforo total representativos da represa no inverno e no verão como sendo respectivamente 19,56 e 21,52 $\mu\text{g/l}$, e finalmente os dados de Souza (op. cit.), obtidos em várias profundidades (perfil) produziram uma média de 24,23 $\mu\text{g/l}$. Existe ainda uma variação entre o inverno e o verão, sendo que neste último o teor é ligeiramente mais elevado.

TABELA 29 - Médias das concentrações de fósforo total em amostras de água de superfície, coletadas em quatro diferentes pontos da represa, no período de novembro de 1974 a fevereiro de 1976. Valores em $\mu\text{g/l}$. (Moraes, 1978).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974											33,4	21,2
1975	19,7	16,0	17,6	18,3	14,4	10,7	10,1	16,2	18,6	17,3	18,2	13,4
1976	13,6	16,9										

Para o nitrogênio total existe uma menor quantidade de dados em relação ao fósforo, Calijuri & Tundisi (op. cit.) apresentam valores para inverno e verão como sendo respectivamente 342,31 $\mu\text{g/l}$

(0,342 mg/l) e 356,22 µg/l (0,356 mg/l) e o valor determinado a partir dos dados de Souza (op. cit.) foi 296,18 µg/l (0,296 mg/l).

Cabe agora um comentário específico sobre o nitrogênio, uma vez que não haverá balanço para este nutriente. Fazendo-se uma comparação entre os valores das concentrações de nitrogênio total no corpo da represa e os valores de nitrogênio Kjeldahl (que é um componente do nitrogênio total) nas Tabelas 19 a 21, verifica-se que 59,1% dos valores existentes na Tabela 19 estão acima do maior valor (0,356 mg/l) mencionado anteriormente para a represa (muitos deles bem acima), sugerindo ser a água subterrânea uma fonte de nitrogênio para o reservatório (talvez em razão das atividades antrópicas anteriormente citadas), já que grandes volumes fluem para o mesmo. Com o exame das Tabelas 20 a 22, verifica-se que a precipitação direta realmente constitui-se em uma fonte importante de nitrogênio.

Possivelmente estas entradas não sejam suficientes para ajudar a atender a demanda de nitrogênio deste sistema, pois em experimentos com enriquecimento artificial por nutrientes inorgânicos, foi verificado ser o nitrogênio muito importante (inclusive mais que o fósforo) para o crescimento das algas neste reservatório (Henry & Tundisi, 1983), constituindo-se em um fator limitante. É oportuno lembrar que o nitrogênio utilizado nos experimentos destes autores estava na forma de nitrato, e o determinado neste trabalho (Kjeldahl) constava de amônia (que também é prontamente assimilável) e nitrogênio orgânico que precisa passar por alguns processos para ser transformado nas formas assimiláveis pelo fitoplâncton, caso contrário existe a possibilidade de parte deste nitrogênio que entra, passar pela represa sem ser utilizado.

Mesmo que estas entradas ainda não sejam suficientes para promover um aumento na produtividade do fitoplâncton, existe a necessidade de um monitoramento constante para verificar o teor deste elemento nas águas da chuva e principalmente nas subterrâneas, para tentar antecipar qualquer início de um possível processo de eutrofização, considerando que os fluxos superficiais são, a princípio, mais fáceis de controlar e segundo os autores acima, a entrada de nitrogênio e fósforo pelos principais rios oriundas de atividades agrícolas, são removidas por um extensivo crescimento de macrófitas no alto reservatório, embora estas últimas abasteçam o reservatório por bombear nutrientes do sedimento para a coluna d'água (Barbieri, 1984).

6.7 Sedimentos

O fato de existirem sedimentos em ambientes aquáticos vem demonstrar que de toda a matéria que entra no sistema, uma fração vai se alojar no fundo, onde, à medida que o tempo passa, novas camadas vão se formando e as antigas perdem cada vez mais o contato com a coluna d'água, até que finalmente se estabeleça um completo isolamento e todo o material contido nestas camadas mais profundas fica retido, constituindo-se assim em mais um meio pelo qual as substâncias deixam a coluna d'água. O contato permanente entre as camadas superficiais do sedimento e a camada de água sobrejacente faz com que ocorra constantes trocas, algumas das quais regidas por fatores externos. Na represa do Lobo o vento é um fator que atua diretamente nas interações entre a água e o sedimento (Tundisi, 1986), mantendo o sistema homogêneo através da circulação com oxigênio em toda a coluna e por consequência, o fosfato presente liga-se ao ferro que está em sua forma mais oxidada (Fe^{+3}), formando o fosfato férrico que é insolúvel e se precipita no sedimento. Quando o vento é um pouco mais forte a circulação promove a resuspensão do sedimento recém formado, devolvendo por este mecanismo muitos nutrientes e algas já sedimentados.

Estes e outros fenômenos que se dão dentro do reservatório do Brôa são muito difíceis de quantificar e por este motivo a água e o sedimento serão tratados no balanço como a mesma unidade.

6.8 Balanço

De acordo com os cálculos realizados, a partir dos dados então disponíveis, chega-se a um total de entrada anual para o fósforo de 3234,42 Kg, sendo o valor de saída igual a 2764,68 Kg, o que parece ter uma certa consistência, já que existe sedimentação e com isto o sistema tende a reter anualmente 469,74 Kg deste nutriente. Souza (1993) determinou a quantidade anual de fósforo que entra na represa do Lobo, baseando-se na classificação geológica e nos usos da terra, chegando a um valor de 3880 Kg (lembrando que este valor não inclui a entrada por precipitação direta). Se subtrairmos a precipitação direta (195,84 Kg) do valor total de entrada o resultado ficará em 3038,58 Kg, que é um valor relativamente comparável ao determinado teoricamente por aquele autor.

É claro que pelo curto período (apenas um ano) em que se realizou coletas e pela ausência de alguns dados, fica difícil afirmar que estes resultados sejam conclusivos. Schindler (1976) considera que, em virtude das grandes variações anuais nas entradas e saídas de substâncias químicas, parece impossível obter uma estimativa acurada do balanço em qualquer bacia hidrográfica sem vários anos de dados aplicados diretamente à análise hidrológica. O balanço aqui não foi feito em toda a bacia hidrográfica (que se constitui, de fato, em uma melhor unidade para estudo), mas pode-se dizer que a consideração feita pelo autor vale também para a represa, pois a mesma responde de uma forma ou de outra às alterações que ocorrem na bacia e, mesmo que este ambiente não tenha sofrido variações consideráveis ao longo destes anos, os dados não são os mesmos de um ano para o outro. Isto pode ser verificado comparando-se, como já foi visto, os dados de chuva de 1994 com os dados em 1996/97 neste trabalho, onde existe uma certa independência entre a quantidade de nutrientes depositados e a quantidade de milímetros chovidos. Por outro lado a chuva vai ainda ter outros efeitos relativos à entrada de nutrientes no sistema, pois em anos onde há um aumento na quantidade de precipitação, haverá também um aumento nos níveis e nos fluxos das correntes superficiais, arrastando assim uma maior quantidade de substâncias para o reservatório com as consequências que daí se desencadeiam. Segundo Calijuri & Tundisi (1990), nesse ecossistema os efeitos do vento e precipitação afetam a produção da comunidade, sendo que o papel da precipitação está no influxo de nutrientes críticos e diferenças no nível d'água. Portanto, também vários anos de acompanhamento seriam necessários para se ter informações acuradas do balanço neste reservatório, embora o resultado aqui obtido reduza bastante a incerteza e é o primeiro a incluir o componente água subterrânea.

As concentrações de fósforo total na água subterrânea são em geral mais baixas que nos rios e na represa, mesmo assim devido ao grande fluxo, a contribuição por esta entrada só é menor que o sistema Itaquerí - Água Branca, que desemboca na represa apenas como Itaquerí, e é disparadamente a maior contribuição. O que chama de imediato a atenção é um grande volume de água com baixos teores de fósforo misturando-se com a água da represa um pouco mais rica (com o nitrogênio o efeito é contrário). Esta mistura inevitavelmente produz um efeito de diluição com relação a este elemento dentro do reservatório, e pode ser uma força atuando na direção contrária à elevação do teor de fósforo na represa (caso as baixas concentrações na água subterrânea se mantenham). Uma evidência deste fato é a concentração média de saída pelo Jacaré Guaçu ter sido

menor que a metade da concentração média de entrada pelos rios (sem levar em conta a entrada pela chuva).

7 - CONCLUSÕES

De toda água que abastece o reservatório do Broa, a entrada via escoamento subterrâneo é a mais expressiva em termos de volume, situando-se em uma faixa que vai de 30, a pouco mais de 40% do total de águas que entram no período seco, e no período chuvoso esta faixa fica difícil de precisar, que pode chegar até em torno de 80%.

A maior parte desta água subterrânea (cerca de 72%) que entra na represa, flui pelo trecho dos solos AQV₂ que possuem uma maior condutividade hidráulica, possibilitando uma comunicação mais fácil entre as águas subterrânea e de superfície, o que pode ser confirmado pela resposta rápida do nível do lençol freático nesta área, as flutuações da represa.

Os teores de nitrogênio que entram pelo fluxo subterrâneo são em geral maiores que o teor deste elemento no reservatório, levantando a suspeita de que pode estar havendo algum tipo de contaminação.

Os teores de fósforo na água subterrânea são menores que na represa, e como o volume que entra é considerável, a mistura das mesmas produz como efeito imediato a diluição deste elemento no reservatório, constituindo-se assim em uma força contrária ao aumento da concentração do mesmo no sistema.

Pelos rios entra uma maior quantidade de fósforo no período chuvoso, sendo o sistema Itaquerí - Água Branca os maiores provedores deste elemento. No entanto, é no período seco que o sistema aparentemente retém fósforo.

A água da chuva é, de fato, uma fonte de nitrogênio e fósforo para o reservatório. A quantidade de nutrientes depositada no período chuvoso independe da quantidade de chuvas. Verifica-se que há, de fato, uma tendência de a primeira parte da chuva retirar a maior quantidade de N e P da coluna atmosférica e que esta tem um certo poder de restabelecer sua composição, o qual vai se enfraquecendo com o tempo, embora de uma forma não facilmente perceptível.

Um balanço de fósforo realizado no reservatório demonstrou que o sistema está estocando este elemento.

8 - PERSPECTIVAS FUTURAS

É bem provável que se tenha deixado de detectar outros efeitos advindos desta entrada de água subterrânea, simplesmente porque deixou-se de realizar algumas medidas básicas, tais como pH, temperatura, condutividade, alcalinidade, etc. Espera-se que os piezômetros que ficaram instalados não sejam danificados e haja oportunidade de se fazer tais medidas.

Verifica-se também que os padrões de infiltração de água subterrânea para dentro do reservatório precisam ser melhor definidos.

É importante identificar dentro da bacia, as causas da elevada concentração de nitrogênio na água subterrânea, mesmo porque, no trecho onde o fluxo subterrâneo para a represa é maior, não existem aqueles sistemas naturais de proteção como macrófitas e áreas alagadas.

A deposição a seco pode ser também uma fonte de nutrientes para represa, dada a composição da atmosfera, e um balanço incluindo este componente seria interessante, tendo ainda como justificativa o fato de que nesta região existem constantes queimadas, principalmente no período seco.

9 - BIBLIOGRAFIA

A ÁGUA EM REVISTA (1996). Revista técnica e informativa da CPRM. Ano IV, n. 7, maio.

BARBIERI, R. (1984). *Estudo da composição química de algumas espécies de macrófitas aquáticas e suas implicações no metabolismo da represa do Lobo*. Dissertação de mestrado São Carlos - Dpto. de Ciências Biológicas da UFSCar.

BOYLE, R. B. (1994). Design of a seepage meter for measuring groundwater fluxes in the nonlitoral zones of lakes - Evaluation in a boreal forest lake. *Limnol. Oceanogr.*, v. 39 , p. 670 - 681.

CALIJURI, M. C. ; TUNDISI, J. G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Brasil. Biol.*, v. 50 , p. 893 - 913.

CEDERGREN, H. R., (1967). *Seepage, Drainage, and Flow Nets*. Jonh Wiley & Sons, New York, 489 pp.

CHERKAUER, D.S. and NADER, D.C., (1989). Distribution of groundwater seepage to large surface-water bodies: the effect of hydraulic heterogeneities. *J. Hydrol.*, v. 109, p. 151-165.

- CHERKAUER, D.S. and TAYLOR, R.W., (1990). The spatially continuous determination of groundwater flow to surface water bodies: application to the Connecting Channels between Lakes Huron and Erie. *J. Hydrol.*, v.114, p. 349-369.
- CÓ, L.M. (1979). *Distribuição de oligochaeta na represa do Lobo, estado de São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 169p.
- COOPER, A. B. (1990). Nitrate depletion in the riparian zone and stream channel of a small headwater catchment. *Hydrobiologia*, v. 202, p. 13 - 26.
- CORRÊA, U. M. P. (1995). *Estuda das águas subterrâneas das bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira no estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, EESC - USP, 108p.
- CROWE, A. S. (1990). Numerical modelling of the groundwater contribution to the hydrological budget of lakes. In: Selected papers on hydrology. (Ed.) Simpson, E. S. and Sharp, J. M. Jr. vol. 1.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - (1974) - Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa no. 6, Ribeirão Preto, São Paulo, TAHAL. 4v.
- DANIELOPOL, D. L., (1980). The role of the limnologist in ground water studies. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* v. 65, p. 777-791.
- DELLA TOGNA, R. J. B., (1973). Estudo das águas subterrâneas no estado de São Paulo. *Água Subterrânea*, v.1, p. 19 - 52
- FELLOWS, H.R. and BREZONIK, P.L., (1980). Seepage flow into Florida lakes. *Water Res. Bull.*, v. 16, p. 635-641.

- FRAPE, S.K., (1981). Chemistry of interstitial water and bottom sediments as indicators of seepage patterns in Perch Lake, Chalk River, Ontario. *Limnol. Oceanogr.*, v. 26, p. 500-517.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A., (1979). *Groundwater*, Prentice-Hall, 604 pp.
- FREIRE, O.; GIMENES, J. ; PESSOTTI, J.E. e CARRARO, E., (1980). *Solos da bacia do Broa*. UFSCar.
- GIBBS, M. M., (1987). Groundwater contributions to water and nutrient budgets. In *Lake Managers Handbook*. (Ed.) W. N. Vant. Water & Soil Miscellaneous Publication No. 103.
- GILBOA, Y.; MERO, F. e MARIANO, I.B., (1976). The Botucatu aquifer of South America. Model of an Untapped Continental Aquifer. *Jornal of Hydrology*, New York, v. 29, p.165-179.
- GOLDMAN, C.R.; HORNE, A.J., (1983). *Limnology*. International Student Ed. 464p.
- GROFFMAN, P. M.; HOWARD, G.; GOLD, A. J.; NELSON, W. M. (1996). Microbial nitrate processing in shallow groundwater in a riparian forest. *J. Environ. Qual.*, v. 25, p. 1309 - 1316.
- HANSON, G. C.; GROFFMAN, P. M.; GOLD, A. J. (1994). Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs. *J. Environ. Qual.*, v.23, p 917 - 922.
- HENRY, R. e TUNDISI, J. G., (1983). Responses of the phytoplankton community of a tropical reservoir (São Paulo, Brasil) to the enrichment with nitrate, phosphate and EDTA. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, v. 68, p. 853 - 862.
- JOHN, P.H. and LOCK, M.A., (1977). The spacial distribution of groundwater discharge into the littoral zone of a New Zealand lake. *J. Hidrol.*, v. 33, p.391-395.

- KLUTE, A. & DIRKSEN, C., (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods, in A. Klute and C. Dirksen, editors. *Methods of Soil Analysis*, part 1, Physical and Mineralogical Methods, second edition, 1188pp.
- KOROLEFF, F., (1976). Determination of nutrientes. In GRASSHOF, K. (ed). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie Weinheim: 117 - 181.
- LEE, D.R., (1977). A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. *Limnol. Oceanogr.* V.22, p. 140-147.
- LESACK, L. F. W., (1995). Seepage exchange in an Amazon floodplain lake, *Limnol. Oceanogr.*, v. 40, p. 598-609.
- LIKENS, G. E. and BORMANN, F. H. (1974). Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *BioScience*, v. 24, p. 447 - 456.
- LOCK, M.A. and JOHN, P.H., (1978). The measurement of groudwater discharge into a lake by a direct method. *Int. Revue ges. Hydrobiol*, v. 63, p. 271 - 275.
- MACKERETH, F. J. H. ; HERON, J. ; TALLING, J. F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association. Scientific Publication n. 36. Titus Wilson & Son Ltda. Kendall.
- MATTOS, A., (1982). *Método de previsão de estiagens em rios perenes usando poucos dados de vazão e longas séries de precipitação*. Tese de Doutorado. EESC - USP.
- MORAES, E. M., (1978). *Ciclo sazonal, distribuições horizontal e vertical e interrelações ecológicas de nutrientes na represa do Lobo (Brotas - Itirapina - SP)*. Dissertação (Mestrado). USP, Instituto de Biociências.

- PETERJOHN, W.T. & CORREL, O.L., (1984). Nutrient dynamics in an agricultura watershed observations on the a riparian forest. *Ecology*, v. 65, p. 1355-1475.
- PFANNKUCH, H.O.; WINTER, T.C., (1984). Effect of anisotropy and groundwater system geometry on seepage through lakebeds, 1. Analog and dimensional analysis. *J. Hydrol.*, v. 75, p. 213-237.
- SCHINDLER, D. W. ; NEWBURY, R. W. ; BEATY, K. G. ; CAMPBELL, P. (1976) Natural water and chemical budgets for a small precambrian lake basin in Central Canada. *J. Fish. Res. Board Can.*, v. 33, p. 2526 - 2543.
- SCHNABEL, R. R.; CORNISH, L. F.; STOUT, W. L.; SHAFFER, J. A., (1996). Denitrification in a grassed and a wooded, valley and ridge, riparian ecotone. *J. Environ. Qual.*, v. 25, p.1230 - 1235.
- SOBRAL, H. & TUNDISI, J. G., (1985). Mapa de Solos da Bacia da Represa e do Ribeirão do Lobo.
- SOUZA, D.A., (1993). *Bacia do Ribeirão e Represa do Lobo: bases ecológicas para o planejamento regional, manejo e conservação*. Dissertação de Mestrado. USP, Escola de Engenharia de São Carlos - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada.
- STEPHENSON, D.A., (1971). Groundwater flow system analysis in lade environments, with management and planning implications. *Water Resources Bulletin*, v. 7, n. 5.
- STRICKLAND, J. D. & PARSONS, T. R., (1960). A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bel. Can.*, v. 125, p. 1 - 185.
- STRIXINO, G.B.M.A., (1973). *Sobre a ecologia dos macroinvertebrados do fundo, na -represa do Lobo*. São Carlos, Universidade Federal. 241p. Tese de Doutorado.

- TEISSÉDRE, J. & BARNER, U., (1981). Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero de Botucatu na bacia do Paraná. *Revista Águas Subterrâneas*, no. 4. Dezembro.
- TUNDISI, J. G., (1986). The Lobo (Broa) ecosystem. *Ciência Interamericana*, v.25, p. 18 - 31.
- VANEK, V., (1993). Transport of groundwater-borne phosphorus to Lake Bysjön, South Sweden. *Hydrobiologia*, v. 251, p. 211-216.
- WARNECK, P., (1988). *Chemistry of the natural atmosphere*. International geophysic series vol. 41. Academic Press, Inc. 757p.
- WETZEL, R.G.,(1981). *Limnologia*. Ediciones Omega, Barcelona: 677p.