

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

**“CONTRIBUIÇÕES PARA O BALANÇO DE
MASSA DO CARBONO NO RESERVATÓRIO DO
BROA, Itirapina-SP.”**

Luiz Fernando Charbel

DEDALUS - Acervo - EESC



31100013629



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Bohdan Mativenko Sikar

São Carlos - SP
Outubro - 1998

Class.	TESE - EESC
Curr.	1491 ✓
Tombo	T 276/98

311000/3629

st 1003985

© 469e

Charbel, Luiz Fernando

Contribuições para o balanço de massa do carbono no reservatório do Broa, Itirapina-SP. / Luiz Fernando Charbel. — São Carlos, 1998. 121p.

Dissertação (Mestrado) — Escola de Engenharia de São Carlos, 1998.

Orientador: Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar

1. Balanço de carbono. 2. Sedimentação. 3. Taxa de troca gasosa. I.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado **LUIZ FERNANDO CHARBEL**

Dissertação defendida e aprovada em 23.10.1998
pela Comissão Julgadora:

Bohdan Matvienko Sikar

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

Irineu Bianchini Júnior

Prof. Dr. **IRINEU BIANCHINI JÚNIOR**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Alex Vladimír Krusche

Dr. **ALEX VLADIMIR KRUSCHE**
(Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA - Universidade de São Paulo)

Maria do Carmo Calijuri

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

José Carlos A. Cintra

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho aos meus pais:

Carlos Charbel e Carmem Teresinha

Mauro Charbel

Disse Deus:

Eis que ponho uma pedra fundamental na construção da vida.

Quem nela crer não será confundido.

(1. Pedro 2:6)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo privilégio e oportunidade de realizar este trabalho de mestrado.

Ao Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar, meu orientador, pela atenção, paciência, e colaboração em uma extensa coleta de 24 horas, e também pela amizade desenvolvida durante o trabalho.

Aos técnicos do CRHEA: Marcelo, Luci, Amândio, Betão e especialmente, ao Miro pelas aventureiras coletas na madrugada, e à amiga América pela dedicação e companheirismo.

Ao pessoal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA):

ao Plínio B. de Camargo, à Amanda, ao Alex Krusche e ao Jean, pelas análises realizadas.

Aos amigos do grupo: Paulo Bueno e Bitar, pelo auxílio nas coletas.

Ao meu irmão José Paulo Charbel pelo companheirismo e compreensão em momentos difíceis.

Ao querido amigo e irmão Luciano (Barba) pela auxílio e valorosos conselhos.

Aos irmãos Wilson e William, pelos trabalhos de impressão e companheirismo, ao Luquinha por todo apoio no momento final, muito obrigado.

À todos os colegas que de alguma forma contribuirão para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - BASES CIENTÍFICAS.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	10
2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
3.2 - RIOS	18
a) Periodicidade das Coletas	19
b) Justificativas dos locais de coleta.....	19
c) Procedimento de amostragem	20
d) Velocidade da correnteza e Cálculo da vazão.....	20
e) Medidas de Concentração	22
f) Cálculo para a determinação da carga de carbono.....	24
3.3 - LENÇOL FREÁTICO	24
a) Periodicidade das Coletas	25
b) Justificativas dos locais de coleta.....	25
c) Procedimento de amostragem	25
d) Cálculo da vazão	27
e) Medidas de Concentração	27
f) Cálculo para a determinação da carga de carbono.....	28
3.4 – INTERFACE ATMOSFERA/LAGO.....	28

3.4.1- Gases Dissolvidos na Água da Represa - CO_2 e metano (CH_4)	29
a) Periodicidade das Coletas	29
b) Justificativas dos locais de coleta.....	29
c) Procedimento de amostragem	30
d) Medida de Massa.....	31
3.4.2- Gases liberados dos em forma de bolhas - CO_2 e metano (CH_4)	37
a) Periodicidade das coletas	37
b) Justificativas dos locais de coleta.....	37
c) Procedimento de amostragem	38
d) Medida de Massa.....	39
3. 5 – SEDIMENTO PERMANENTE	40
a) Periodicidade das Coletas	41
b) Justificativas dos locais de coleta.....	41
c) Procedimento de amostragem	42
d) Medida de Concentração	43
3.6 – MACRÓFITAS.....	44
a) Cálculos para determinação dos fluxos de carbono	45
b) Quantidade de carbono que entra no reservatório devido as macrófitas..	47
4 – MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DO CARBONO USANDO A SÍLICA COMO TRAÇADOR	48
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	48
4.2 - USANDO A SÍLICA COMO TRAÇADOR.....	49
4.2.1 - Dinâmica da Sílica na Represa	49

4.2.2 – <i>Argumentação do método</i>	50
4.2.3 – <i>Explicação do método analítico</i>	51
4.3 – MATERIAIS E MÉTODOS	52
a) Periodicidade das Coletas	52
b) Justificativas dos locais de coleta.....	52
c) Procedimento de amostragem	52
d) Medida de Concentração	54
4.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1 – BALANÇO DO CARBONO	57
5.2 - RIOS	60
5.3 - LENÇOL FREÁTICO	73
5.4 - SEDIMENTO.....	79
5.5 - INTERFACE ATMOSFERA/ÁGUA.....	94
6 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	110
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXO A.....	119
ANEXO B.....	120
ANEXO C.....	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA - 1. Representação esquemática, simplificada, dos processos bioquímicos que se ocorrem num lago.....	4
FIGURA – 2 . Localização dos pontos de coleta no reservatório do Broa e nos rios.....	13
FIGURA – 3 Representação da Caixa Preta em corte do reservatório. ...	17
FIGURA – 4. Corte de um rio mostrando dois tubos de fluxo.....	21
FIGURA – 5. Corte da câmara de equilíbrio.....	30
FIGURA – 6. corte de funil para captura de bolhas.....	39
FIGURA - 7 : Fotografia demonstrando o procedimento inicial para coleta de sedimento recente por meio de armadilha de sedimentação.....	53
FIGURA – 8 : Fotografia demonstrando o procedimento de coleta de sedimento numa armadilha de sedimentação.....	54
FIGURA – 9. Média anual de concentração de carbono em cada rio.....	61
FIGURA 10 - Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego do Geraldo.....	66
FIGURA – 11. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego da Água Branca.....	67
FIGURA – 12. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo rio Itaqueri.....	67

FIGURA – 13. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego Ribeirão do Lobo.....	68
FIGURA – 14. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego das Perdizes.....	68
FIGURA – 15. Comparação mensal das vazões dos afluentes.....	69
FIGURA – 16. Contribuição anual da carga de carbono, em kg, para cada rio.....	70
FIGURA – 17. Contribuição percentual de carga de carbono fornecida pelos rios durante um ano.....	70
FIGURA – 18. Comparação mensal da carga de carbono dos afluentes.....	71
FIGURA – 19. Gráfico da carga de carbono mensal durante o período de Dez/96 à Jan/98.....	72
FIGURA – 20. Vazão mensal do efluente.	72
FIGURA - 21. Concentração de carbono em sedimento contra profundidade (Abril, Setembro e Janeiro-98)	88
FIGURA - 22. Concentração de sílica em sedimento contra profundidade (Abril, Setembro e Janeiro-98).....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA - 1: Concentração de Carbono nos Rios e Massa de Carbono. Total (Mensal).....	62
TABELA - 2: Massa de Carbono nos Rios Afluentes - <i>Entrada</i> -	66
TABELA - 3: Massa de Carbono no Rio Efluente - <i>Saída</i> -.....	73
TABELA - 4: Concentração de Carbono no Lençol Freático ; Carga de carbono mensal e Vazão do lençol.....	73
TABELA - 5: Massa de Carbono no Lençol Freático - <i>Entrada</i> -	79
TABELA - 6: Balanço anual de massa de carbono - <i>Lençol e Rios</i>	79
TABELA - 7: Concentração (%) de Carbono no Sedimento Permanente.....	80
TABELA-8: Concentração (%) de Sílica no Sedimento Permanente.....	84
TABELA - 9: Razão das Concentrações (%) entre Carbono e Sílica no Sedimento Permanente.	90
TABELA - 10: Taxa de Sedimentação da Sílica - (<i>Armadilha de Sedimento</i>).....	93
TABELA - 11: Concentração de C e SiO ₂ no Sedimento Permanente e suas Taxas de Sedimentação.....	94
TABELA - 12: Concentrações; parâmetros k, A e C da equação de equilíbrio ($y = C + A.exp^{(-kt)}$), para o gás carbononico e metano ; a taxa de troca dy/dt calculada no instante inicial; e o fluxo Q de carbono em mg m ² por dia.....	95

TABELA – 13: Taxa de carbono transportado através de gases, coletados nos ambientes: macrófitas (10% da represa), perdizes e barragem (90% da represa), durante 24 horas.....	103
TABELA – 14: Balanço da troca gasosa na interface água/ar da represa, em toneladas por ano.....	106
TABELA – 15: Carga de carbono transportado através de bolhas, coletadas nos ambientes: macrófitas (10% da represa), perdizes e barragem (90% da represa) – Dados de 94/95.	106
TABELA - 16: Balanço do carbono para a represa no período de um ano.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS

C_A - Carga de carbono proveniente dos afluentes

C_E - Carga de carbono proveniente do efluente

C_L - Carga de carbono proveniente do lençol freático

$C\%_A$ - Percentual de carbono para o mês de Abril

$C\%_S$ - Percentual de carbono para o mês de Setembro

$C\%_J$ - Percentual de carbono para o mês de Janeiro

TsM_{SiO_2} - Taxa de sedimentação da sílica

RESUMO

O balanço de carbono do reservatório do Broa, foi realizado considerando-o como um sistema “caixa preta”, no qual foram considerados apenas os compartimentos de entradas e saídas. As entradas de carbono foram quantificadas, periodicamente, nos compartimentos: afluentes, lençol freático e interface atmosfera-água, contribuindo com 19,93%, 17,38% e 24,05%, respectivamente. Também considerou-se como entrada, as macrófitas do reservatório, contribuindo com: 38,64%. As saídas foram quantificadas nos compartimentos: efluente, sedimento e interface atmosfera-água, contribuindo com 20,04%, 76,94% e 3,02%, respectivamente. Neste trabalho foi desenvolvido um método para determinação da taxa de sedimentação do carbono, usando-se a sílica como traçador. Como resultado final, obteve-se para entrada de carbono no reservatório o valor de $376,12 \text{ mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e, para a saída, $614,42 \text{ mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Teoricamente, o valor para o balanço deveria ser zero, por se tratar de uma caixa preta imutável. No entanto, obteve-se um saldo negativo de $-238,30 \text{ mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

ABSTRACT

The carbon budget of Broa reservoir, was established in a “black-box” treatment, in which only the compartments of input and output were considered. Carbons inputs were quantified periodically in the compartments: stream inflow, groundwater and atmosphere-water interface, contributing with 19,93%, 17,38% and 24,05%, respectively. Macrophytes of the reservoir were also treated as an entry contributing with 38,64%. The outputs were quantified in the compartments: stream outflow, sediment and atmosphere-water interface, contributing with 20,04%, 76,94% and 3,02%, respectively. In this work a method was developed to determine the carbon sedimentation rate, using silica as a tracer. As a final input result $376,12 \text{ mg.Cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ were obtained and for the output $614,42 \text{ mg.Cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Theoretically, the value of the balance should be zero, because an unchangeable “black box” was assumed. In stead of a null balance a deficit of $-238,30 \text{ mg.Cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ was obtained.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Bases Científicas

O carbono dentro de uma represa está sob várias formas inorgânicas e orgânicas. Exemplos são os carbonatos, que são iônicos, gás carbônico dissolvido, metano, e a grande variedade dos compostos da biosfera como: carboidratos, aminas, lipídios, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, etc. O carbono é o elemento principal utilizado pela biosfera, sendo que o plâncton aquático contribui com parcela significativa em sua circulação. A atmosfera é fonte e sumidouro do carbono que circula. São importantes também o acúmulo de carbono nos seres vivos e a fossilização. A concentração do gás carbônico (CO₂) na atmosfera é afetada pela ação antrópica, havendo no presente um contínuo aumento provocado por tal ação. Os seis maiores impactos do aumento do CO₂ são: no clima, nos ecossistemas naturais, na agricultura, nas condições de gelo continentais e oceânicas e na estabilidade dos contornos de desertos (HARE, 1986). Estes impactos são uma fonte de preocupação e está em curso um intenso trabalho de extensão global. Estes trabalhos são de natureza multidisciplinar e sua soma orientará a política de utilização antrópica de carbono que a humanidade deva seguir, sendo a ameaça de um desequilíbrio do efeito estufa a principal preocupação.

A circulação do carbono é altamente dependente da latitude. A fotossíntese, a fossilização e a estocagem são peculiares em cada região. Por exemplo na Amazônia, na mata intocada, há uma adição anual de uma tonelada de carbono por hectare na biomassa viva (GASH, et al., 1996). Considerando que o estoque de carbono na biomassa viva seja de 180 t.ha^{-1} , estima-se que se trata de um aumento de cerca de 0,5% ao ano. Em outras regiões há desertificação, por exemplo o limite sul do deserto Saara está avançando em certas regiões a uma velocidade média 0,5m por dia DUMONT (1995)^(*). A soma dos resultados do trabalho de muitos grupos, em várias latitudes, permitirá formar uma imagem da situação e apontar caminhos a seguir.

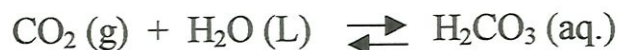
Esse trabalho visa descrever e quantificar apenas as entradas e saídas do carbono no reservatório do Broa, não tendo como objetivo estudar a dinâmica do carbono nesse ecossistema. No entanto, gostaríamos de, aqui, fazermos uma breve discussão sobre a ocorrência do carbono nos atendo, apenas nos compartimentos do sistema que nosso trabalho abordou. Para quantificar o carbono consideramos alguns compartimentos como por exemplo as águas dos rios, ou seja, dos afluentes e do efluente, as águas do lençol freático, o sedimento do fundo do reservatório e a interface atmosfera/lago onde pudemos quantificar o carbono tanto nos gases que emanam em forma de bolhas, que aliás se formam no sedimento recente, como nos gases dissolvidos na água que saem para atmosfera ou que vêm da atmosfera e se dissolvem na água.

^(*)DUMONT, H.J. (1995) comunicação pessoal

Os Rios

O carbono presente nas águas dos rios, tanto os afluentes como no efluente, se apresenta basicamente na forma de carbono orgânico e inorgânico. Podemos ainda, subdividir o primeiro em carbono orgânico detrital e carbono orgânico particulado da biota (COP-biota) e ambos formam o que chamamos de carbono orgânico total (COT).

O carbono inorgânico pode ocorrer no ambiente aquático, em três formas principais: carbono inorgânico livre, como CO_2 e H_2CO_3 (ácido carbônico), íon bicarbonato, como HCO_3^- , e íon carbonato, como CO_3^{2-} . As equações abaixo descrevem suas formações:



Segundo WETZEL (1983) os lagos possuem duas fontes de carbono orgânico: (1) uma produção autóctone, devido à organismos fotossintéticos dentro do lago (o plâncton) e as macrófitas aquáticas, (2) a foz dos rios liberando o carbono alóctone .

Quanto ao carbono inorgânico dissolvido, segundo SONDERGAARD et al. 1986, sua assimilação e sua redução para compostos orgânicos, além de sua participação no desenvolvimento de biomassa de algas, constituem a origem do ciclo do carbono nos ecossistemas de água doce.

Um pouco sobre a dinâmica do carbono no lago

Os rios alimentam o lago contribuindo com carbono, fósforo e nitrogênio e outros nutrientes. Os organismos clorofilados (por exemplo, o fitoplâncton ou algas) tomam o C, P e N e, se utilizando da luz solar como fonte de energia, produzem compostos de alta energia (VESILIND et al., 1994). Algas são comidas pelo zooplâncton (minúsculos animais aquáticos), que por sua vez são comidos pelos grandes organismos aquáticos, como os peixes, por exemplo. Todas estas formas de vida excretam, contribuindo para o acúmulo de carbono orgânico dissolvido (COD), que será aumentado, mais adiante, com a morte dessas vidas aquáticas. As bactérias usam o COD e produzem CO_2 , que é aproveitado pelas algas. Há, também, produção de CO_2 dissolvido devido à respiração dos peixes e do plâncton, havendo, também, ingresso de CO_2 diretamente do ar. A Figura 1, nos mostra através de esquemas os processos bioquímicos que ocorrem em um lago natural.

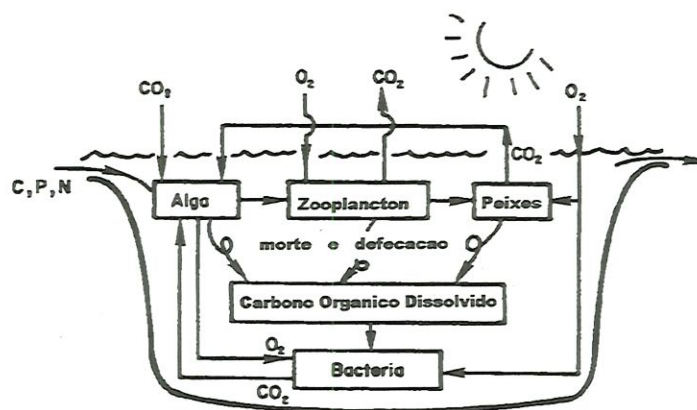


Figura adaptada de VESILING, 1994

FIGURA - 1. Representação esquemática, simplificada, dos processos bioquímicos que ocorrem num lago.

O Lençol Freático

Praticamente toda a água subterrânea provém da chuva, e ela colhe o dióxido de carbono atmosférico o qual, em combinação com a água, resulta em ácido carbônico (CEDERSTROM, 1964). Além disso a água adquire mais dióxido de carbono e carbono orgânico quando flui através do solo onde crescem as plantas. As raízes das plantas e o apodrecimento dos vegetais contribuem para acréscimo de gás carbônico na água. O movimento relativamente lento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe, íntimo e longo contato com os minerais que formam a crosta terrestre. Estes vão se dissolvendo na água em maior ou menor proporção. Segundo uma publicação da CETESB (1974) a maior parte das águas subterrâneas não contém matéria em suspensão e , praticamente, nenhuma bactéria, são límpidas e incolores. Essas características colocam as águas do lençol, em grande contrastes com as águas de um reservatório, por exemplo, que em geral são turvas e contém considerável teor de bactérias.

O Sedimento

O sedimento pode ser considerado como resultado da integração de todos os processos, físicos, químicos e biológicos, que ocorrem em um ecossistema aquático, influenciando o metabolismo dele todo. O sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos continentais, no que tange a ciclagem de matéria e fluxo de energia, como bem afirma ESTEVES (1988).

Podemos distinguir no sedimento duas camadas distintas :

(a) Camada recente ou biológica, na qual destacamos como suas características mais importantes: (1) a grande concentração de matéria orgânica (inclui-se aqui os compostos carbônicos), (2) o compartimento de maior densidade de organismos bentônicos e (3) a grande atividade microbiana. Nesta camada, também pode ser encontrada, certa porção de partículas carbonáceas, produtos resultantes da queima de combustíveis como: petróleo, carvão, gás natural e madeira, segundo nos relata os trabalhos de GRIFFIN & GOLDBERG (1979), GOLDBERG *et al.* (1981), WIK *et al.* (1986) e RENBERG *et al.* (1985). Em seus trabalhos, estes autores puderam distinguir de que fontes provinham as partículas, comparando as formas das partículas encontradas nas amostras de sedimento com as geradas em laboratório, analisando-as através de microscopia eletrônica. GRIFFIN & GOLDBERG (1979) analisando testemunhos de sedimento do lago Michigan em 1978, encontraram 9,0% de partículas carbonáceas provenientes da queima de madeira, 68% provenientes do carvão, 13% do petróleo, isto para um total de 1480 partículas analisadas. Em um trabalho mais recente, ROSE (1994) caracteriza as partículas carbonáceas em: partículas carbonáceas esferoidais e grânulos esféricos de cinza inorgânica (b) Camada permanente, situando-se logo abaixo da camada recente, e devido a suas principais características que são: possuir baixa concentração de matéria orgânica, ser constituída de uma textura mais rígida, além do fato de apresentar-se, geralmente, em anaerobiose, fazem com que poucos

organismos, além das bactérias, se desenvolvam nesta região do sedimento, como nos afirma ESTEVES (1988).

No trabalho de GRIFFIN & GOLDBERG (1979), já citado anteriormente, partículas carbonáceas provenientes do resultado da queima de madeira (carbono de madeira) se apresentaram em certa abundância também na camada do sedimento permanente. WIK *et al.* (1986), mostra a presença das partículas no sedimento permanente por meio de diagramas de concentração de partículas carbonáceas *versus* profundidade, feitos para quatro lagos da Suécia.

Interface Atmosfera/Lago - Os gases -

Os gases metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), produtos finais da mineralização biogênica, são os principais, depois do vapor d'água, em absorção das ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho; são os chamados gases de efeito estufa. Como um dos principais gases que provocam o efeito estufa, ressaltamos o CO_2 , uma vez que este tem tido sua concentração aumentada anualmente, na atmosfera, devido a ações antrópicas, das quais destacamos duas: a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural, etc.) e a destruição e queima das florestas. O gás metano é produzido por vários processos naturais, como a fermentação (processo de obtenção de energia no qual o hidrogênio passa, no final, para um aceptor orgânico, sendo que o oxigênio não intervém neste processo) em pântanos e também devido a ações antrópicas como: a queima da biomassa vegetal, os grandes arrozais, onde se processa a metanogênese através de

bactérias anaeróbias, e devido à intensa criação de gados, os quais apresentam em seus aparelhos digestivos a formação desse gás.

Ultimamente, trabalhos como de DUCHEMIN et al. (1995), têm sido realizados em lagos e em reservatórios de hidroelétricas, em diversas regiões, nos quais se determinam as emissões de gases como o metano e o dióxido de carbono. Segundo estes autores, dentro dos vinte anos passados, medidas de emissão de CH_4 e CO_2 , em lagos de zonas temperadas, indicam que eles poderiam ser importantes fontes desses gases atmosféricos. Para entendermos melhor esse fato, faremos uma breve explanação da formação e dinâmica desses gases.

A represa contém, em seu fundo, biomassa inundada que se decompõe emitindo principalmente CO_2 , CH_4 e N_2 devido à decomposição anaeróbia e na decomposição aeróbia apenas CO_2 e N_2 são emitidos. Além dos gases emitidos ocorrem, durante a decomposição, as formações de resíduos biologicamente inertes, que são a humina e os ácidos húmicos e fúlvicos, podendo estes últimos serem lixiviados e levados pela água. Estes compostos inertes são polímeros fenólicos e se originam, principalmente, da lignina presente no material lenhoso. Desta forma, parte do carbono detrital originalmente presente é emitido como gases, outra parte dele é levada pela água, como ácidos húmicos e fúlvicos, e o resíduo fenólico insolúvel e inerte, a humina, pode ser incorporado ao fundo da represa como sedimento, e neste, juntamente com a argila e a sílica se encaminham para o processo da fossilização justificando, assim, a concentração de carbono no sedimento permanente.

Além da biomassa inundada, no fundo da represa ocorre a deposição de sedimento recente, formado por detritos do plâncton. Para o processo de decomposição do sedimento, efetuado principalmente por bactérias, é necessário uma demanda de oxigênio bem superior à quantidade presente, estabelecendo-se, desta feita, o regime anóxico. Neste regime anóxico, ocorre o rearranjo das ligações químicas dentro do material orgânico gerando energia que as bactérias necessitam. Em um primeiro estágio resultam ácidos orgânicos que em seguida são decompostos sob a formação de CO_2 e CH_4 . Estes gases são gerados molecularmente e ficam inicialmente dissolvidos na água intersticial dentro do sedimento recente. No entanto no caso do gás metano e do nitrogênio gasoso, que são poucos solúveis, ocorre a segregação dos mesmos em bolhas. Estas, crescem em tamanho até não poderem mais ser retidas no interior do sedimento, momento quando o irrompem e sobem à superfície. Nem todo o metano gerado no sedimento se segrega em bolhas, parte dele difunde pela água em direção à superfície, porém em seu caminho pelas camadas superiores há concentração crescente de oxigênio. Este metano é utilizado por bactérias, presentes nessas camadas, que o combina com o oxigênio, produzindo CO_2 e, provavelmente outros compostos orgânicos. Dessa forma, podemos dizer que a camada oxigenada do reservatório é um sumidouro para o metano, podendo, até mesmo, chegar a absorver o metano contido na atmosfera, caso em que se estabelece um fluxo de metano no sentido ar-água.

Quanto ao gás carbônico, por ser mais solúvel, tende a permanecer em solução, embora uma pequena fração também difunda para dentro das bolhas formadas.

É importante ressaltar que o gás emitido devido ao processo de decomposição da biomassa inundada e dos detritos constitui apenas uma fração do total de gás emitido pela represa, pois há outra fonte de emissão que se dá pela decomposição da biomassa continuamente gerada pela fotossíntese .

Assim, o gás emitido pela represa provém da decomposição da matéria orgânica de duas origens. Uma da biomassa original inundada e a outra da biomassa formada durante a fotossíntese, sempre em curso na água da represa. A primeira, ao longo de sua decomposição, vai reduzindo o estoque de carbono proveniente da biomassa inundada e caminha para a inércia biológica, devendo diminuir sua parcela de emissão de gases ao longo do tempo. Já os gases emitidos em consequência do plâncton têm taxas de formação contínuas ao longo do tempo, pois a sua fonte é constantemente renovada dos processos fotossintéticos.

1.2 - Objetivos

Este projeto tem como objetivos principais:

- Quantificar e discriminar os diversos percursos do carbono no reservatório, em termos de entradas e saídas.
- Desenvolver e verificar um novo método de medida de taxa de sedimentação.

- Verificação de um novo método de coleta de gases, por meio de câmaras especiais.

2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O projeto foi desenvolvido na represa do Broa, também conhecida como Represa da Usina do Lobo (Figura 2).

A represa do Broa está localizada na região central do estado de São Paulo, entre os municípios de Itirapina e Brotas. Foi construída em 1936 tendo como finalidade, original, a produção de energia elétrica a partir do represamento do Ribeirão do Lobo, Ribeirão Itaqueri, Córrego das Perdizes, Córrego do Geraldo, Córrego do Carvão e Córrego da Estiva. A represa é circundada, principalmente, pela vegetação de cerrado, com vários de seus tipos: matas galerias, capoeira, brejos, campos, pastagens e culturas temporárias ou permanentes.

Sua extensão é relativamente pequena, sendo, também, um corpo de água de pouca profundidade (em média 3 metros), segundo MARINS, (1975)

Características do reservatório

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| • Altitude média | 705,0 m |
| • Latitude | 22 ^o 10' S |
| • Longitude | 47 ^o 54' W |
| • Comprimento Máximo | 7,5 km |
| • Profundidade Máxima | 12,0 m |



FIGURA – 2 . Localização dos pontos de coleta no reservatório do Broa e nos rios.

• Profundidade Média	3,0 m
• Perímetro	21,0 km
• Superfície	6,8 km ²
• Volume	22 x 10 ⁶ m ³
• Área da bacia hidrográfica	226,7 km ² ; MARINS (1975); MENEZES (1984)

A represa do Broa é caracterizada pela presença de duas regiões distintas: uma porção superior de pequena profundidade com uma densa vegetação de macro-hidrófitas, com aspectos que tendem a eutróficos, e uma porção inferior, de maior profundidade, com aspectos oligotróficos (TUNDISI et al.,1972), sendo assim, segundo TUNDISI (1977) podemos caracterizar a represa como um sistema mesoligotrófico . A represa é constituída pelos rios Perdizes, Lobo, Itaqueri, Geraldo, rios que fluem através de rochas da formação Serra Geral (basalto, arenito e intertrap), da formação Botucatu-Pirambóia e do grupo Bauru (Arenitos, Siltitos e Conglomerados), (MARINS, 1985) . Segundo CÓ (1979) o substrato predominante nos sedimentos da represa é a areia fina, seguido de siltite argiloso e a areia grossa.

A reduzida superfície da água e a baixa profundidade média da represa favorecem um intenso aquecimento da massa de água durante a maior parte do ano e por longos períodos diários (TUNDISI et al.,1972). Esse fenômeno de intenso aquecimento, possivelmente, contribuem para as formações de correntes de convecções na massa de ar sobre a represa, aliando-se aos ventos sobre a mesma. Os ventos estão

constantemente renovando a massa de ar sobre a represa o que facilita a troca gasosa, por difusão, na interface atmosfera/lago. Os ventos também contribuem para a circulação da massa de água da represa, o que promove a homogeneização do sistema além de provocar a parcial ressuspensão dos nutrientes e do carbono presente no sedimento.

A represa, repousa sobre um imenso lençol freático, e em nosso presente trabalho pudemos constatar que ele fornece uma quantidade de água considerável para dentro da represa. Em época de chuva, segundo MACARENKO (1998) à aproximadamente 14,5 cm acima do nível da represa o lençol estava aflorando na margem, escoando água para dentro da mesma. A vazão de água do lençol, por nós encontrada, é em média, 1.125 L/s, durante um ano, e no mesmo trabalho anterior, a autora encontrou um valor de aproximadamente 1.200 L/s, esse valor mostra que, além de nossas medidas serem bem próximas (menos de 10% de diferença), é importante relevarmos essa entrada adicional de água, uma interpretação possivelmente controversa.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Considerações gerais

Neste trabalho a represa foi considerada como uma “caixa preta” na qual entram os rios, água do lençol freático e gases na interface atmosférica, e saem, água pelo efluente, sedimento para o fundo e também gases para atmosfera (Figura 3). O conceito de caixa preta pode não ser totalmente satisfatório porque processos internos a represa podem estar relacionados com o exterior de maneira inextricável. Por exemplo, fluxo de gás direcionado a raiz de macrófitas. Apesar de possíveis insuficiências do método de caixa preta, insistimos no seu uso devido a limitações do tempo e por se tratar de um primeiro balanço nesta represa. Um outro fato que poderia ir de encontro ao conceito de caixa preta, seria o fato da biomassa residente na represa não ser constante em sua quantidade ao longo do período de um ano. No entanto, pudemos constatar essa constância de acordo com os argumentos que apresentamos a seguir. Baseado no trabalho de TUNDISI et al. (1989) nota-se que as espécies de zooplâncton estudadas (*Argyrodiaptomus furcatus*, *Thermocyclops minutus*, etc.) apresentam uma flutuação em suas biomassas tipicamente com períodos de algumas semanas, porém flutuando em torno de um valor médio com tendência constante no ano considerado no trabalho. Então, supondo que haja equilíbrio entre as

espécies, ao menos no prazo de um ano, conclui-se que a quantidade de carbono na biomassa também permaneça constante. Em outro trabalho, ROCHA et al. (1984), nos apresentam dados de biomassa de *Argyrodiaptomus furcatus* obtidos nos anos de 1975 e 1976, nos quais verificamos essa mesma flutuação em torno de um valor médio com tendência constante.

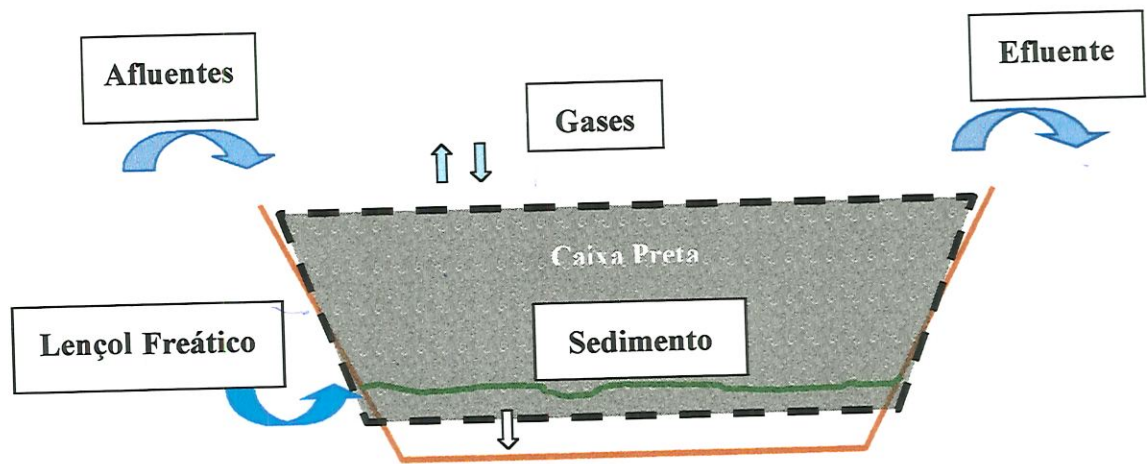


FIGURA – 3 Representação da Caixa Preta em corte do reservatório.

Para que o balanço (entradas e saídas) fosse efetuado, as coletas das amostras de sedimento, de ar e de gases emitidos em forma de bolhas foram realizadas em três sítios ao longo da represa, (em frente à desembocadura do *Córrego das Perdizes*, próximo à barragem e próximo ao Hobby Clube- (Figura. 2). As coletas de ar e gases foram realizadas na interface atmosfera/lago e, além dos três sítios já citados, foram coletados em meio as macrófitas. As coletas de água foram feitas nos afluentes, no efluente e no lençol freático (através de piezômetros).

A quantificação das entradas e saídas do carbono foi distinguida segundo os critérios descritos abaixo:

Entradas: Rios (*afluentes*), Lençol freático, Interface atmosfera/lago e Macrófitas.

Saídas: Efluente (*Jacaré Guaçú*), Sedimento permanente, Interface atmosfera/lago e Gases na forma de bolhas.

Expressamos o balanço através da equação à seguir:

$$C_A + C_L + C_G + C_M = C_E + C_S + C_G + C_B$$

Onde: C_A (Quantidade de carbono fornecida pelos rios afluentes)

C_L (Quantidade de carbono fornecida pelo lençol freático)

C_G (Quantidade de carbono, na forma de gás, fornecida pela atmosfera)

C_M (Quantidade de carbono fornecida pelas macrófitas)

C_E (Quantidade de carbono retirada através do rio efluente)

C_S (Quantidade de carbono retirada para o sedimento)

C_G (Quantidade de carbono, na forma de gás, emanada p/ a atmosfera)

C_B (Quantidade de carbono, na bolha, liberada p/ a atmosfera)

3.2 - Rios

Consideramos os afluentes como veículos de entrada de carbono na represa e o efluente como saída de carbono da represa.

a) Periodicidade das Coletas

As amostras de água, obtidas em cada sítio (apresentados em b) foram coletadas mensalmente. Procuramos com isso mapear as entradas e as saídas de carbono do reservatório num período de um ano (dezembro/96 – janeiro/98).

b) Justificativas dos locais de coleta

Estabeleceu-se seis sítios para coleta de água e medição de vazão. Quatro sítios nos afluentes primários da represa:

- Córrego do Geraldo;
- Ribeirão Itaqueri (antes da confluência com o Córrego da Água Branca);
- Ribeirão do Lobo;
- Córrego das Perdizes.

O quinto sítio de coleta é o *Córrego da Água Branca* que é afluente do Ribeirão Itaqueri, sendo que aquele recebe esgoto urbano da cidade de Itirapina.

Devido a dificuldade de acesso do rio Itaqueri à jusante da confluência, os dois rios foram amostrados separadamente à montante. Foi suposto que o curto trecho entre a confluência e a desembocadura não alterava significativamente a composição da água, de modo que a soma das cargas dos dois córregos no ponto de sua confluência era também a carga na desembocadura na represa. O sexto sítio de coleta, obviamente, foi estabelecido no *Rio Jacaré Guaçú* sendo este o efluente da represa.

As distâncias entre o ponto em que se efetuou a coleta e a área de desembocadura do rio na represa, foram variáveis de sítio para sítio de coleta devido a dificuldade de acesso através das estradas. Coletas em pontos muito próximos à represa não foram realizadas devido à dificuldade de acesso por meio de barcos, além do mais, quando as águas de um afluente desemboca na represa suas características originais são alteradas, muito rapidamente, pois se misturam. Assim não podiam se obter amostras confiáveis das águas dos rios em suas desembocaduras, já dentro da represa.

c) Procedimento de amostragem

As amostras de água foram coletadas em recipientes de polietileno junto as superfícies dos afluentes e do efluente. Ao chegar no laboratório a amostra de água era filtrada (sob vácuo) com filtros de fibra de vidro (Glass microfibre filters GF/C - 47mmØ circles) e imediatamente congeladas para posterior análise em aparelho (TOC-5000 Total Organic Carbon Analyser - SHIMADZU). Os procedimentos, acima citados, tanto de coleta como de armazenagem se basearam na rotina de laboratório do CRHEA.

d) Velocidade da correnteza e Cálculo da vazão

Escolhemos uma seção transversal do rio num trecho retilíneo de tal forma que nos possibilitasse estendermos uma trena entre as margens do rio para que pudéssemos efetuar a medida da velocidade de sua correnteza em intervalos de 50 cm em sua largura. Vale ressaltar que para o Ribeirão do Lobo os intervalos foram de 30 cm, devido a sua

menor largura. Através do medidor de velocidade da água (medidor de corrente Hidrocean micro-Kartan - *molinete*), onde a unidade de medida é apresentada em metros por segundo (m/s), foram feitas as medições das mesmas em cada seção. Para cada intervalo tomou-se as medidas em certas profundidades. Se a profundidade da seção fosse menor que 30cm, era feita apenas uma medida a 60% de profundidade, observada na régua do molinete. Caso a profundidade da seção excedesse a 30cm, eram realizadas duas medidas, a 30 e 70% de profundidade, varrendo se assim toda a largura do rio.

As vazões V dos rios foram determinadas através de um cálculo entre a profundidade medida do rio, a largura e a velocidade v do mesmo. Em outras palavras, o rio foi considerado como um feixe de tubos (Figura 4) e a vazão do rio foi obtida somando-se as vazões dos tubos:

$$V = \sum_i a_i v_i$$

onde: a_i é a área de uma secção parcial e v_i é a velocidade da correnteza medida nesta área.

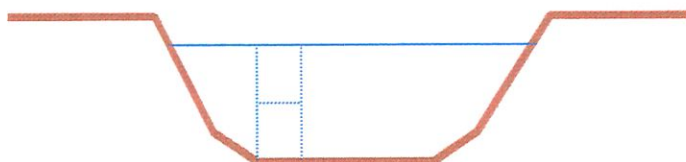


FIGURA – 4. Corte de um rio mostrando dois tubos de fluxo.

Gostaríamos de fazer uma observação, quanto aos valores das vazões dos rios correspondentes aos meses de novembro, dezembro e janeiro-98, pois estes foram obtidos matematicamente, por extrapolação dos dados obtidos em campo. Essas extrapolações foram necessárias porque as medições não puderam ser feitas devido a falhas no equipamento. Afortunadamente, podemos observar através das curvas do gráfico sobre vazão mensal dos rios (Figura 15), que o comportamento da curva de vazão para cada rio é em geral bastante semelhante. Esse tipo de análise nos auxiliou a chegarmos a valores satisfatórios usando o método da extrapolação. Para efetuarmos esses acertos matemáticos (equação da curva, extrapolação etc.) nos utilizamos de um software específico para tal.

e) Medidas de Concentração

Para quantificarmos as medidas da concentração de carbono nesses ambientes, foram analisadas amostras de água através de um aparelho, que separa o carbono total (CT) em orgânico (COT) e inorgânico (CI) fornecendo as suas concentrações. Esse aparelho, através do método espectrofotométrico, em analisador de carbono orgânico total, (TOC-5000 Total Organic Carbon Analyser - SHIMADZU) mede as concentrações por meio da absorção de certo comprimento de onda do infravermelho do gás carbônico produzido a partir da queima da amostra. Vale aqui, ressaltar, que algumas análises tiveram seus valores prejudicados devido a má calibração do aparelho, medições, as quais não tivemos acesso. As amostras analisadas de água foram filtradas, desta feita excluiu-se da análise o carbono contido nas partículas, o carbono

orgânico particulado- (COP). Na ausência de medições é justificado fazer uma estimativa: se a distribuição de carbono entre o material particulado e o dissolvido for a mesma que a do nitrogênio Kjeldahl medida por MACARENKO (1998), então a exclusão do material particulado (COP) teria eliminado 2/3 do carbono contido na água, resultando em sub-estimativa, que numericamente representa:

*Não excluindo o material particulado $C_A=585,06$; $C_L=521,61$ e $C_E=1132,80$, todos em unidades de toneladas por ano. Apresentando um resultado de balanço de 161,05 toneladas anuais de carbono excedente.

* Excluindo o material particulado: $C_A=186,06$; $C_L=162,22$ e $C_E=305,63$ todos em unidades de toneladas por ano. Apresentando um resultado de balanço de 178,47 toneladas anuais de carbono excedente, que é determinado subtraindo-se das entradas a saída. Segundo WETZEL (1990) sob o ponto de vista de um ecossistema aquático (lago) há maior quantidade de carbono orgânico dissolvido (COD) do que carbono orgânico particulado (COP), sendo que este estaria para um fator de 10%, enquanto que o COD para um fator de 90% da matéria detrital morta, assim o COP constituiria, aproximadamente, 1 % do carbono orgânico total na maioria dos ecossistemas aquáticos. No entanto tal estimativa se refere a lagos temperados, não sendo aplicável aos trópicos.

Embora a maior parte do carbono presente em sistemas de água doce ocorra como um equilíbrio dos produtos do ácido carbônico, uma menor quantidade ocorra em compostos orgânicos como carbono dissolvido e particulado detritico e uma pequena fração ocorra como

carbono de biota viva (WETZEL & RICH,1973), para nosso balanço nos atemos ao valor do carbono total (CT), onde todas as formas de carbono, a princípio estariam presentes, excluindo, devido ao método de análise utilizado o COP, no entanto este é estimado indiretamente.

f) Cálculo para a determinação da carga de carbono

A determinação da massa M , em kg.d^{-1} , de carbono contribuída pela água amostrada sob vazão V (L/s) é obtida à partir da seguinte equação:

$$M = V \times C \times 86400 \times 10^{-6}; \text{ na qual:}$$

C = concentração de carbono total (mg/L)

O fator 86400 equivale ao número de segundos em um dia e o fator 10^{-6} se refere a conversão da unidade de medida de mg para Kg. Esta equação nos fornece o valor da massa de carbono em kg de C ao dia, entretanto como a unidade pretendida é ao mês, logo esse resultado é multiplicado pelo número de dias de cada mês. Logo, com esta modificação a unidade de M passa a ser kg.mês^{-1} .

3.3 - Lençol Freático

O lençol freático foi considerado como um veículo que contribuiu com o aporte de carbono para a represa. Em recente trabalho MACARENKO (1998) notou que para um balanço de água realizado para um certo mês a saída pelo efluente era maior que a soma das entradas pelos afluentes. Em um trabalho de um ano de duração MIRANDA (1997) tentou quantificar o volume de água de chuva que,

escoando pela superfície, entraria no reservatório. Incluiu-se no estudo simulações de chuva, por aspersão. O resultado surpreendente foi que; (a) não ocorria escoamento superficial da água pluvial, sendo que toda ela se infiltrava no subsolo, sem escoar; (b) as simulações de chuva mostraram que a intensidade de chuva necessária para o escoamento excede, em muito, o regime pluvial local podendo-se concluir, de fato, que não ocorre escoamento superficial da água de chuva natural. Nesse trabalho Miranda verificou, também que a entrada pluvial, diretamente na represa, é, basicamente, anulada pela evaporação.

Em MACARENKO (1998) também foi realizado um experimento que comprovou o fato do lençol subterrâneo estar contribuindo, e muito, com a entrada de água na represa, aproximadamente uma vazão de 1200 L/s. Baseado nisso entendemos que seria relevante quantificarmos o carbono no lençol.

a) Periodicidade das Coletas

As coletas de amostra de água foram realizadas mensalmente. Tal como as realizadas nos rios, procuramos, com isso, considerar a entrada de carbono na represa durante um período de um ano (dezembro/96 – dezembro/97).

b) Justificativas dos locais de coleta

Piezômetros, instalados previamente devido à trabalho anterior, (MIRANDA, 1997), foram utilizados para coletas de amostras de água, que foram obtidas por meio de bomba apropriada. Estes piezômetros estavam instalados ao redor do reservatório.

As coletas foram realizadas em três pontos próximos (ver Figura 2) pois há uma certa uniformidade da concentração de carbono. Podemos constatar tal uniformidade através de dados levantados nos meses de janeiro/97 e outubro/97. Para o mês de janeiro/97 nos pontos situados na margem esquerda, a concentração de carbono encontrada é $6,4 \text{ mgCL}^{-1}$ e para os da margem direita $5,6 \text{ mgCL}^{-1}$. Tivemos o cuidado de conferir novamente a uniformidade, ou não, e para isso obtivemos as seguintes concentrações, para o mês de outubro: esquerda $2,0 \text{ mgCL}^{-1}$ e para a margem direita $2,5 \text{ mgCL}^{-1}$. Como se vê, a margem esquerda apresentou, em um momento, maior concentração que a direita e em outro momento menor concentração, sendo que em ambas ocasiões os valores estavam dentro de 15% de variação. Isto justifica considerar a concentração de carbono no lençol freático como sendo uniforme sobre a área da represa.

O trabalho de MIRANDA, 1997 também verificou certa uniformidade da concentração de fósforo o que já nos sugeria uma provável uniformidade para o carbono.

c) Procedimento de amostragem

As amostras de água do lençol freático foram coletadas em recipientes de polietileno junto aos piezômetros por meio de bomba apropriada. Ao chegar no laboratório a amostra de água foi filtrada (sob vácuo) com filtros de fibra de vidro e imediatamente congeladas para posterior análise em aparelho (TOC-5000 Total Organic Carbon Analyser - SHIMADZU). O método de coleta foi baseado em trabalho anterior (MIRANDA, 1997). O método de armazenagem, que foi o

mesmo adotado para as coletas de amostra de água dos rios, se baseou na rotina de laboratório, como comentado anteriormente.

d) Cálculo da vazão

A vazão do lençol freático foi obtida através da diferença entre a soma das vazões dos afluentes e a vazão do efluente.

$$V_L = V_E - \sum V_A$$

Onde: V_L (vazão do lençol freático)
 V_E (vazão do efluente)
 $\sum V_A$ (soma das vazões dos afluentes)

e) Medidas de Concentração

Para quantificarmos concentrações de carbono das amostras de água subterrânea foi utilizado o analisador TOC-5000 Total Organic Carbon Analyser - SHIMADZU), que quantifica, em separado, o carbono total (CT) em orgânico (COT) e inorgânico (CI) fornecendo as suas concentrações. Vale aqui ressaltar que sendo amostras de água que foram analisadas, tal como ocorrido para os rios, algumas análises tiveram seus valores prejudicados devido a má calibração do aparelho, medições, às quais também não tivemos acesso.

f) Cálculo para a determinação da carga de carbono

A determinação da massa M de carbono presente na amostra foi obtida à partir da seguinte equação tal como realizada para os rios, repetindo:

$$M = V \times C \times 86400 \times 10^{-6} ; \text{ na qual:}$$

V = vazão (L/s)

C = concentração de carbono total (mg/L)

O fator 86400 equivale ao número de segundos em um dia e o fator 10^{-6} se refere a conversão da unidade de medida de mg para Kg. Esta equação nos fornece o valor da massa de carbono em Kg de C ao dia, entretanto como ao mês foi a unidade pretendida, logo esse resultado foi multiplicado pelos fatores 30 ou 31 equivalentes ao número de dias de cada mês.

3.4 – Interface Atmosfera/lago

Neste compartimento da represa, a interface atmosfera lago, pudemos coletar o carbono em forma de gases como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) e efetuar medidas das concentrações de carbono através da cromatografia gasosa. Neste compartimento nos preocupamos em discriminar, a presença de carbono, tanto nos gases dissolvidos na água como nas bolhas que se formam, eventualmente, nas camadas superficiais do sedimento; vale aqui ressaltar que essas camadas estão inseridas em nossa caixa preta (Figura 3).

3.4.1- Gases Dissolvidos na Água da Represa - CO_2 e metano (CH_4)

a) Periodicidade das Coletas

Devido a problemas técnicos, como, o fato das câmaras de equilíbrio para medição da troca difusiva de gases dissolvidos não estarem devidamente prontas, dentro do período em que se realizou o balanço (Dez 96-Dez 97), as medições foram realizadas dentro do mês de julho em quatro períodos; 17:00 horas, 00:00 hora, 6:00 horas e 16:00 horas, completando, assim, um período de 24 horas. Esses períodos de coletas nos possibilitaram a obtenção de dados interessantes, que serão apresentados no capítulo 5 (Resultados e Discussões).

b) Justificativas dos locais de coleta

As câmaras foram colocadas em quatro pontos (ver Figura. 2). Os pontos de coleta localizaram-se em frente à desembocadura do *Córrego das Perdizes*, próximo á barragem, próximo ao Hobby Clube e entre as macrófitas. Pretendemos com esse procedimento verificar a existência, ou não, de uma uniformidade espacial no tocante a quantidade de carbono transportada através dos gases dissolvidos. Vale ressaltar que a região do alagado não foi considerada por se tratar de uma área muito pequena em relação a área da represa e também devido ao grau de dificuldade para se realizarmos as coletas das amostras.

c) Procedimento de amostragem

As medições de troca difusiva dos gases dissolvidos (CH_4 e CO_2) foram feitas através de câmaras de equilíbrio^(A), foi desenvolvida

^(A) Essa câmara tem a finalidade de obter amostras de gases num curto espaço de tempo \approx 12 minutos.

por MATVIENKO *et al.* (1998), que não permitem a entrada de gases em forma de bolhas devido a uma tampa que fica semi-aberta, porém recebem os gases dissolvidos (CH_4 e CO_2) que emanam da água (Figura 5).

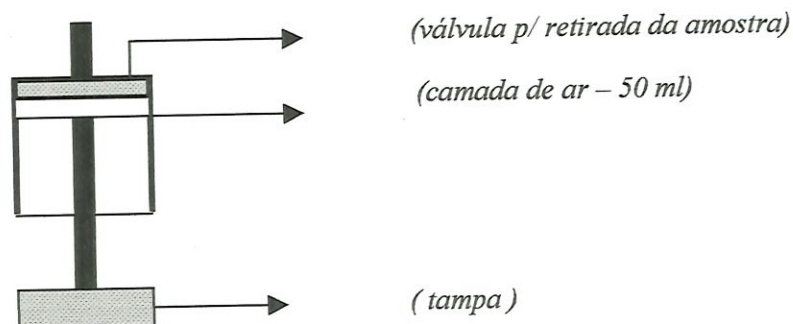


FIGURA – 5. Corte da câmara de equilíbrio.

Cada câmara ficou aproximadamente 20cm submersa abaixo da superfície da água. Através da válvula (Figura. 5), injetou-se, por meio de uma bomba de ar apropriada, 50ml de ar coletado à uma altura de aproximadamente 20cm da superfície da represa, o que formará uma camada de ar no interior da câmara com concentrações iniciais tanto de CO_2 como de metano. Cria-se, assim, no interior da câmara uma simulação do que se processa na interface atmosfera/lago, podendo-se verificar, pela variação da concentração inicial dos gases na câmara, quando há entrada e saída de gases na represa através da interface. Essa simulação é possível pelo fato da câmara estar submersa apenas 20 cm, o

que faz com que a pressão na camada de ar no interior da câmara se mantenha essencialmente igual a pressão atmosférica ($\Delta P = 1\%$).

A experiência de equilibração foi feita com três câmaras simultaneamente. A primeira foi equilibrada durante 3 minutos, a segunda durante 6 minutos e a terceira durante 12 minutos. Terminado este tempo o ar da câmara era transferido para gasômetro^(B) seco para análise posterior. Esse procedimento nos permite quantificar as taxas de trocas gasosas entre a atmosfera e a represa .

Quando ainda submersas, as câmaras foram fechadas e em seguida retiradas da água, para que fossem coletadas as amostras. Acoplou-se a câmara, abrindo-se a válvula, à um gasômetro, por meio de um tubo plástico o que possibilitou a transferência da camada de ar da câmara para este. Fechando-se hermeticamente o gasômetro, com rolha de borracha, temos a amostra armazenada, pronta para ser analisada por cromatografia gasosa.

d) Medida de Massa

Para quantificarmos a medida da concentração de carbono em cada câmara, as amostras de gases foram analisadas por cromatografia gasosa, que é um processo de separação de gases e de determinação de suas concentrações. Foi utilizado um Cromatógrafo para Gases Mod. U-13- com dois detetores um de condutividade térmica

^(B) Consiste em um tubo de ensaio com um sépto de silicone em sua base, que quando completado com água e submergido de forma inversa (boca para baixo) dentro de um recipiente cheio d'água também, pode-se armazenar gás dentro dele injetando-o através do sépto de silicone.

e outro de ionização de chama – Construmaq São Carlos Ltda. O cromatograma obtido nos possibilitou calcularmos a concentração de CO₂ ou metano, em partes por milhão, em volume (ppm), presente em cada amostra.

A partir da obtenção da taxa de troca gasosa T é possível encontrarmos o valor do fluxo de carbono, sob forma de gás, Q trocado entre o lago e a atmosfera.

A taxa de troca gasosa T (ppm.min⁻¹) pode ser entendida como a taxa de crescimento, ou decrescimento da concentração de gás, dependendo da variação de concentração de gás dentro da câmara, e ela é obtida segundo o procedimento analítico que descrevemos a seguir.

Obtenção da Taxa de Troca Gasosa (T)– Um tratamento analítico.

Podemos representar os dados experimentais obtidos por uma função $y(t)$ a qual descreve a evolução temporal de equilíbrio de troca de gases na interface água / ar, e na qual y é a concentração na câmara, e t o tempo. Partindo-se da hipótese de que a variação temporal da concentração (dy/dt) é proporcional à diferença entre a concentração C na água (expressa como pressão parcial) e a concentração y (em ppm) na câmara expressa esta proporcionalidade pela seguinte equação diferencial :

$$\frac{dy}{dt} = k(C - y)$$

Onde k é uma constante de proporcionalidade

Esta equação tem a seguinte solução geral:

$$y(t) = C + Ae^{-kt}$$

onde A é uma constante arbitrária de integração.

Para determinarmos os parâmetros incógnitos (C, A e k) usamos os dados experimentais e escrevemos três equações usando três pares experimentais de t e y obtidos com as câmaras. Faremos um exemplo numérico para ilustrarmos melhor.

$$t = 0 \quad ; \quad 736,95 = C + A$$

$$t = 3 \quad ; \quad 575,39 = C + Ae^{-k \cdot 3}$$

$$t = 6 \quad ; \quad 551,76 = C + Ae^{-k \cdot 6}$$

Resolvendo este sistema de três equações e três incógnitas obtemos, os valores de: $C = 547,72$; $A = 189,23$ e $k = 0,640$.

Com esses resultados a evolução temporal da concentração y dentro da câmara durante a equilibração pode ser representada da seguinte maneira:

$$y = 547,72 + 189,23e^{-0,640 \cdot t}$$

sendo que a medida de y é dada em ppm de CO₂ e t em minutos. Esta equação é a chave para se determinar a taxa de troca de CO₂ (T) entre a água e o ar. O procedimento nos fornece a concentração de CO₂ na água 547,72 ppm, expressa como pressão parcial.

Para compreendermos melhor o processo de equilibração, suponhamos que se tivéssemos introduzido, na câmara, uma amostra de ar com 547,72 ppm de concentração de CO₂ em vez do ar ambiente, o

equilíbrio teria existido e não teria havido variação da concentração de CO_2 no ar contido na câmara.

A taxa de troca gasosa que se deseja calcular é aquela que existiu antes que a crescente depleção, no ar dentro da câmara, se fizesse notar. Esta taxa, dy/dt , deve ser calculada no instante $t = 0$, a partir da equação:

$$y = C + Ae^{-kt}$$

$$\frac{dy}{dt} = -Ake^{-kt}$$

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = -Ak$$

substituindo os valores de nosso exemplo ($A = 189,23$ e $k = 0,640$) chegamos ao seguinte:

$$(dy/dt) = T = -121,26 \text{ ppm min}^{-1}$$

O sinal negativo indica que há decréscimo do gás na câmara implicando em sua absorção pela represa.

Comentando este resultado podemos afirmar que no primeiro contato entre a água e o ar contido na câmara a concentração de CO_2 na câmara decrescia a uma taxa de $121,26 \text{ ppm.min}^{-1}$. Esta é a taxa verdadeira sem o efeito de depleção que existe na câmara, ou seja, aquela que prevalece na interface atmosfera-água.

Pelo exemplo numérico pudemos observar que houve um decréscimo na concentração de CO_2 na camada de ar no interior da

câmara, entretanto, devemos observar que isso representa o fato de que a troca gasosa está se processando da atmosfera para a represa, ou seja, a represa está absorvendo CO₂.

Como já comentamos, conhecendo a taxa de troca de gases (T) para cada câmara podemos determinar o fluxo Q , e efetuando os devidos cálculos, em 3.4.1, chegamos ao valor de $Q = - 6.349,58$ (mg.m⁻².dia⁻¹). O sinal de negativo nos aponta o fato de que o fluxo de gás se dá no sentido da atmosfera para a água.

Esse fluxo é determinado, em mg m⁻² dia⁻¹, por meio da seguinte equação:

$$Q(\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}) = \frac{T(\text{ppmmin}^{-1}).10^{-6}(\text{ppm}^{-1}).50(\text{ml}).1440(\text{min.d}^{-1}).44(\text{mg.mmol}^{-1})}{22 \times 10^{-4}(\text{m}^2).24,71(\text{ml.mmol}^{-1})}$$

(Eq.3.4.1)

Onde: 50 ml é o volume de ar introduzido na câmara, 1440 min é referente ao período de um dia dado em minutos, 44 mg por mMol é referente a massa molecular do CO₂ e para o metano o valor assumido é de 16 mg por Mol, $22 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ é a area da câmara dimensionada para m², 24,71 ml mMol⁻¹ se refere ao volume molar ocupado pelo gás no dia da análise, ou seja, a partir de $pV = nRT$, calculou-se que 1 mMol de gás ocupava 24,71 ml de volume, mediante aos valores de T=283K (10°C), P=714mmHg e R=62,36 (mmHg.ml.K⁻¹).

Os ambientes em que estabelecemos os sítios de coleta não são distribuídos por igual para todo o reservatório, pois as macrófitas ocupam uma área correspondente a 10% enquanto que os demais sítios estão inseridos em ambientes que correspondem aos 90% restante de todo o reservatório. Por esse motivo, nos preocupamos em considerar as contribuições relativas ao percentual de cada área, multiplicando os valores de fluxo Q obtido no sítio das macrófitas pelo fator 0,10, e para os demais sítios pelo fator 0,90.

No processo de trocas gasosas entre a represa e a atmosfera, pudemos verificar, por meio dos dados levantados em campo, que em alguns sítios e em alguns períodos de coleta, ora a represa liberava gases, ora absorvia. Logo, tivemos que fazer uma média de números relativos para cada período de coleta, ou seja, foram somados os valores positivos juntamente com os valores negativos, e o resultado foi dividido pelo número quatro(4), correspondente a quantidade de sítios de coleta (ver equação 3.4.2, abaixo). Então mais uma vez fizemos outra média de números relativos, somando as médias encontradas para cada período, sendo a soma dividida, coincidentemente, também por quatro (4) pois foram quatro os períodos de coleta (ver equação 3.4.3).

$$M_Q = \frac{\sum_{\text{Sítio}} (Q_+) + \sum_{\text{Sítio}} (Q_-)}{4} \quad (\text{Eq. 3.4.2})$$

$$M_{Q_{\text{Total}}} = \frac{\sum_{\text{Períodos}} M_{Q_{\text{PERÍODO}}}}{4} \quad (\text{Eq. 3.4.3})$$

Esse valor ($M_{Q \text{ Total}}$) encontrado corresponde a massa de carbono, em miligrama, que é transportada entre a água e o ar, durante um dia, em cada metro quadrado da interface água/ar. Para extrapolarmos para um ano, multiplicamos por 365 dias. Entretanto para obtermos essa massa para a represa toda nós devemos multiplicar o resultado por $6,8 \times 10^6 \text{ m}^2$, que, como sabemos, corresponde a área de superfície da represa.

3.4.2- Gases liberados em forma de bolhas - CO_2 e metano (CH_4)

a) Periodicidade das coletas

Devido a problemas técnicos como falta de equipamento apropriado para coleta de gases, dentro do período em que esta deveria ter sido realizada, tivemos que nos utilizar de dados levantados anteriormente em trabalho do grupo de que fazemos parte. Esses dados se reportam a coletas realizadas dentro do período de outubro de 1994 até novembro de 1995.

b) Justificativas dos locais de coleta

Nos anos de 1994 e 1995) funis, apropriados (ver item c, abaixo) foram colocadas, tal como as câmaras, em quatro pontos (Figura. 2). Os pontos de coleta localizaram-se em frente à desembocadura do *Córrego das Perdizes*, próximo à barragem, próximo ao Hobby Clube e entre as macrófitas. Pretendeu-se com esse procedimento verificar a existência, ou não, de uma uniformidade espacial no tocante a

quantidade de carbono transportada através dos gases que emanam na forma de bolhas.

c) Procedimento de amostragem

As coletas das amostras de gás que emanam da represa em forma de bolhas (CH_4 e CO_2) foram feitas através de funis especiais (Figura. 6) que foram utilizados anteriormente em trabalho de MATIVIENKO E., 1993. Cada funil é confeccionado com uma lona apropriada sustentada por uma armação de aço zincado. A sua base possui um diâmetro de 70cm, o que lhe confere uma área da base de, aproximadamente, $0,38\text{m}^2$. Junto ao bico do funil foi acoplado uma garrafa de vidro, totalmente preenchida com água, que serviu para aprisionar as bolhas, que eventualmente, estariam subindo à superfície. O conjunto todo ficou submerso poucos centímetros abaixo da superfície e além de apoitado, foi sustentado por bóias que lhe garantiu estar na posição vertical, além de sinalizarem a sua localização.

Depois de um período de aproximadamente 24 horas, o volume de gás dentro da garrafa, que resultou do acúmulo das bolhas captadas, foi retirado com o conjunto ainda submerso, isso foi feito com o auxílio de um funil e de um gasômetro, tal qual àquele usado para as câmaras. A amostra deve ser analisada o mais breve possível para não se correr o risco de perdas de gás, por difusão, através da rolha de borracha que fecha o gasômetro, e também para que o CO_2 , por exemplo, não se dissolva na água presente no gasômetro.

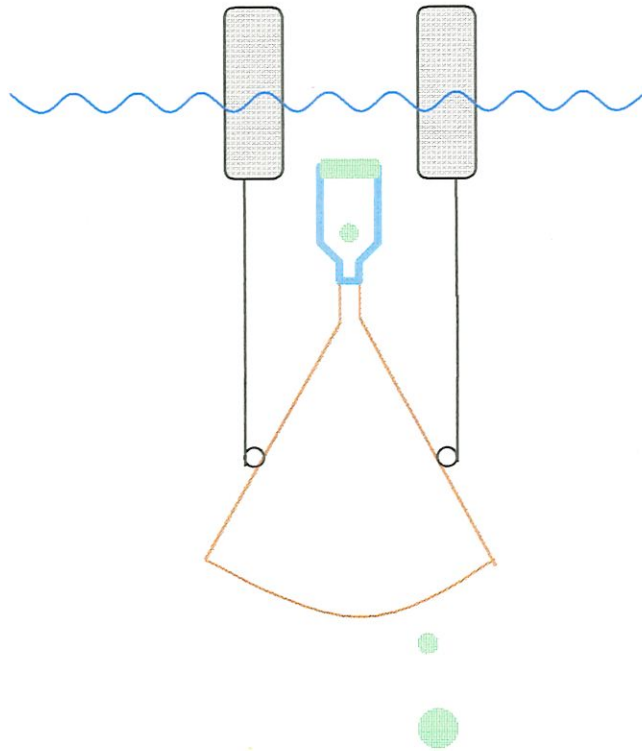


FIGURA – 6. Corte de funil para captura de bolhas

d) Medida de Massa

Para se quantificar a medida da concentração de carbono em cada amostra de gases obtida junto aos funis foram feitas análises por cromatografia gasosa. Para essas análises foi utilizado um Cromatógrafo para Gases (Mod. U-13) com detetor de condutividade térmica. O cromatograma obtido nos possibilitou calcularmos a concentração de CO₂ ou metano, em partes por milhão (ppm), presente em cada amostra.

A partir da concentração de CO₂ ou de metano dadas em ppm pode-se obter a massa de carbono liberada por bolhas em mg m⁻² dia⁻¹, que é o fluxo de carbono, efetuando-se o seguinte cálculo, para um

caso em que houve captura de 60 ml de bolhas contendo 67.5% de CH₄, determinado cromatograficamente:

$$Q(\text{mgm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}) = \frac{60(\text{ml}) \cdot 0,675(\text{mlCH}_4 \cdot \text{ml}_{\text{Amostra}}^{-1}) \cdot 16(\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}) \cdot 24(\text{h} \cdot \text{dia}^{-1})}{0,38(\text{m}^2) \cdot 24,71(\text{ml} \cdot \text{mmol}^{-1}) \cdot 21(\text{h})}$$

(Eq.3.4.4)

Onde, 60 ml é o volume V acumulado no recipiente de captura de bolhas, o fator 0,675 equivale a fração de metano na bolha (67,5%), 16 mg/mmol é o valor da massa molecular do metano (para o CO₂ é 44 mg/mmol), 0,38 m² corresponde a área do funil, 24,71 ml/mmol é o volume molar do CH₄ (ou do CO₂) quando no laboratório na ocasião da análise e 21 h corresponde ao tempo de acumulação das bolhas liberadas.

3.5 – Sedimento Permanente

O sedimento foi considerado como um compartimento que contribui com a saída de carbono da represa, uma vez que este estaria sendo retirado definitivamente da biosfera por meio do processo de fossilização. É importante ressaltarmos que nestes termos, o sedimento levado em consideração é o sedimento permanente, ou seja, aquele das camadas mais profundas (à partir de 6 cm, aproximadamente) onde se espera uma composição essencialmente uniforme com a profundidade. Portanto, foram consideradas como localizadas dentro da caixa preta, as camadas mais superficiais do sedimento ainda instável, nas quais encontram-se as águas intersticiais onde ocorrem processos da dinâmica



do carbono. Estes processos precisam ser considerados para este trabalho. A água e a camada intersticial (sedimento instável) fazem parte da nossa caixa preta (Figura 3).

As amostras foram utilizadas para análises, não apenas da quantidade de carbono presente no sedimento, mas também, da quantidade de sílica (SiO_2) pois a usaremos como o traçador na determinação da taxa de sedimentação anual do carbono (ver capítulo 4).

a) Periodicidade das Coletas

As coletas dos testemunhos foram realizadas em três meses: abril/97, setembro/97 e janeiro/98. Uma vez que nosso intuito era o de quantificar o carbono apenas no sedimento permanente, sendo também conhecido de outra fonte (MACARENKO, 1998) que a espessura de camada fóssil anual é de cerca de 0,5 cm e que por esta razão as camadas mais profundas deveriam mostrar uma composição essencialmente constante, independente do mês que se faça a amostragem. Não vimos necessidade de realizarmos maior quantidade de amostragem.

b) Justificativas dos locais de coleta

As coletas dos testemunhos foram realizadas em três pontos (Figura. 2). Os pontos de coleta localizaram-se em frente à desembocadura do Córrego das Perdizes, próximo á barragem e próximo ao Hobby Clube. Pretendeu-se com essa escolha do local das coletas verificar a uniformidade, ou não, da sedimentação. Pudemos comprovar a uniformidade da fossilização pois, para o mês de janeiro/98 os dados

de proporção de carbono no sedimento permanente apresentam uma uniformidade entre os pontos do Córrego das Perdizes e do Hobby Clube (10,09 % e 12,06 %) mesmo para o ponto localizado próximo a barragem os dados acusam um valor de 13,56% o que é bastante aceitável.

c) Procedimento de amostragem

A coleta de sedimento foi feita através de um coletor de sedimento de onde se obtém o testemunho que é fatiado em seis camadas com espessura de 2cm cada. Essas fatias nos possibilitam distinguir as camadas, do fundo do reservatório, entre as mais recentes e as mais antigas.

Cada uma dessas fatias foram, então, armazenadas em potes plásticos com tampa e, ao chegarem ao laboratório, secadas em estufa à 105 °C, durante 24 horas.

Para analisar a quantidade de sílica uma parte do sedimento foi previamente calcinada à 950 °C durante 2 horas. Já para a análise da quantidade de carbono presente, o restante das amostras de sedimento foi triturado, para facilitar a extração de partes orgânicas (pedaços de ramos, gramíneas, etc.) e depois de ser masserado as amostras foram guardadas em sacos plásticos bem vedados, para não permitir a entrada de ar.

d) Medida de Concentração

Para quantificarmos a medida da concentração de carbono no sedimento permanente, 54 amostras de sedimento foram analisadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba-SP,

num analisador de elementos EA1110 com configuração CHN. O método analítico usado segue os seguintes passos: primeiro a amostra é submetida a uma combustão controlada, imediatamente seguida por oxidação catalítica. Os gases produzidos durante este primeiro passo são separados por cromatografia gasosa e então conduzidos direto a um detetor de condutividade térmica, no qual cada gás da combustão gera um sinal elétrico, proporcional a quantidade de gás que chega ao detetor. Esse sinal, convenientemente processado nos fornece a composição percentual dos elementos^(C).

O método utilizado para a obtenção da concentração de sílica é o método gravimétrico recomendado em JAKSON (1958). Esse método consiste em submeter o sedimento, já calcinado (à 950 °C), à solução ácida. O sedimento é tratado, dentro de cadinhos de teflon, com solução de ácido fluorídrico concentrado (HF), causando a volatilização da sílica (SiO₂).



O método é chamado gravimétrico pois, as massas residuais são pesadas em balança analítica, e por diferença determina-se a quantidade de sílica presente.

Os procedimentos que se seguem foram realizados tanto para se determinar a percentagem de carbono em sedimento quanto a percentagem de sílica em sedimento.

^(C) Instruction Manual EA1110 Elemental Analyzer. Rev. W06 0596 mV Thermo Quest Italia Sp.A.

Calculou-se a média entre a percentagem de carbono (ou sílica) em cada camada de sedimento à partir de 6 cm p/ baixo, pois estamos interessado no sedimento permanente, onde espera-se que a razão entre as percentagens de SiO₂ e C apresentem-se essencialmente constante, nas camadas consideradas - através da TABELA 9 isso pode ser verificado. Essa média é feita para cada mês (abril, setembro e janeiro), em seguida calculou-se a média dos valores médios percentuais obtidos para cada mês:

$$MC\% = C\%_A + C\%_S + C\%_J / 3 \quad \text{ou} \quad MSiO_2\% = SiO_2\%_A + SiO_2\%_S + SiO_2\%_J / 3,$$

Encontrou-se, assim, o valor percentual de carbono (% C) presente no sedimento permanente, bem como o valor percentual de sílica (%SiO₂) presente no sedimento permanente. Esses dados serão aproveitados no capítulo 4, item 4.2.3.

3.6 – Macrófitas

Esse item se destaca por dizer respeito não a medidas feitas, mas sim a medidas obtidas da literatura (MENEZES 1984).

De fato o fornecimento de carbono para o sistema por meio das macrófitas, consiste na liberação de compostos orgânicos, compostos estes sintetizados a partir do CO₂, retirado pelas mesmas diretamente do ar. O fluxo de tal carbono, não é de fácil avaliação, sendo assim, obtivemos os dados da literatura.

Esse tipo de planta aquática atrai especial atenção no formalismo da caixa preta, pois, possui parte aérea, acima da caixa preta, onde ocorre entrada de carbono. E se a planta for do tipo enraizada

(como *N. Indica* e *P. Cordata*) possui também parte subterrânea, abaixo da caixa preta, onde ocorre saída de carbono.

A área ocupada pelas macrófitas é de aproximadamente 15% de toda área do reservatório sendo assim, os erros por ventura cometidos não se propagam integralmente. Pudemos estimar que as macrófitas contribuem com 38,64% das entradas de carbono no sistema.

a) Cálculos para determinação dos fluxos de carbono

Para obtermos o valor da quantidade de carbono que entra no reservatório (caixa preta), por intermédio das macrófitas utilizamos dados de trabalho anterior, desenvolvido por MENEZES (1984). Neste trabalho obtivemos o valor da biomassa em cada parte da planta, isso para as macrófitas que possuem raiz no sedimento, como a *N. Indica* e *P. Cordata* e também este trabalho nos forneceu um valor da produtividade primária realizada por estes organismos ($367,64 \text{ gCm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), incluindo toda espécie de macrófitas.

Em nosso trabalho julgamos ser suficiente e relevante avaliarmos a planta como dividida em parte aérea e parte subterrânea, pois em se tratando de uma caixa preta, essa espécie de macrófita estaria atravessando a caixa, como se fazendo um furo. Para que esse furo fosse fechado, descontamos o carbono que estaria saindo para o sedimento (compartimento de saída da caixa preta) através da parte subterrânea da planta. Esse desconto foi feito da seguinte maneira:

i) Em primeiro lugar, calculou-se qual a contribuição de cada planta na produtividade total ($367,64 \text{ gCm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), uma vez, que cada espécie ocupa

uma determinada área no reservatório. Para isso, multiplicamos a produtividade total pelo valor percentual da área ocupada pela planta.

ii) Para se saber quanto de carbono tem em cada parte da planta, somamos a biomassa de cada parte da planta, separando-a em aérea aquática e subterrânea (ver Anexo A, dados obtidos em trabalho de MENEZES, 1984), e em seguida determinamos o percentual da parte subterrânea, isso para cada mês, ao longo de um ano. Utilizamos diretamente os dados de biomassa das partes da planta pois nosso interesse se limitava na sua quantidade percentual em cada parte.

iii) Desses valores percentuais para cada mês foi feito uma média aritmética, obtendo-se, assim, em média, a percentagem de carbono que sai para o sedimento.

iiii) Para que fosse descontado o carbono, que sai para o sedimento, da produtividade total, precisamos transformar a percentagem apresentada no item (iii) para $\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$, e para isso basta multiplicá-la pelo valor da contribuição de cada planta na produtividade total (calculada no item (i)). A seguir subtraímos da contribuição de cada planta na produtividade total, o valor encontrado do carbono que sai para o sedimento em $\text{g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$. Um exemplo numérico está apresentado no Anexo B para ilustrar os procedimentos de cálculos descritos. Esta maneira de cálculos pressupõe que as macrófitas durante seu ciclo de vida não desprendem partes suas para a água, ou seja, que toda produção primária destinada à parte aérea (e aquática) ficam presas na planta de modo que em teste da distribuição de carbono entre talo e raiz não são omitidas folhas ou ramos que se desprenderam prematuramente. Sabemos porém que folhas

caducam continuamente, havendo assim uma sub-estimativa. Porém o erro não se propaga integralmente pois as macrófitas enraizadas, segundo este cálculo, contribuem com apenas 17% ($8,29 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ em $53,05 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$) do carbono devido as macrófitas.

Para as demais macrófitas, as quais não possuem raízes no sedimento, o cálculo foi feito multiplicando-se a produtividade total pelo valor percentual da área ocupada pela planta.

b) Quantidade de carbono que entra no reservatório devido as macrófitas

Para a *N. Indica*, que ocupa uma área de 4,1% da área do reservatório a quantidade de carbono foi de $8,29 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$.

Para a *P. Cordata*, que ocupa uma área de 0,5% da área do reservatório a quantidade de carbono foi de $0,64 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$.

Para as demais macrófitas (não enraizadas) que ocupam uma área de 11,8% da área do reservatório a quantidade de carbono foi de $44,12 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$.

Somando-se todas as contribuições obtemos o valor de $53,05 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$.

4 – MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DO CARBONO USANDO A SÍLICA COMO TRAÇADOR

4.1 - Considerações gerais

Métodos anteriores para a determinação da taxa de fossilização têm se utilizado do chumbo 210 (^{210}Pb) como traçador. Neste método é realizada uma preparação química de ensaio destrutivo, seguido por um crescimento incubativo do neto isótopo emissor alfa, polônio-210, descrito em APPLEBY (1986). Outro método bastante utilizado, para o mesmo fim, é a utilização d nível de sedimento marcado pelo ^{137}Cs , isótopo radioativo de origem antrópica . A atividade do ^{137}Cs é determinada pela contagem da atividade gama de 10 g de sedimento seco durante um tempo mínimo de 24 horas. A contagem da atividade gama pode ser feita por um detetor de Ge(Li) com uma eficiência de 15% referido em CAHILL (1986). Este cézio radioativo teve sua origem nas explosões de bombas atômicas na atmosfera no ano de 1963 e se incorporou ao sedimento, dentro de uma camada fina, marcando nele aquela data.

Propomos nesse trabalho a utilização da sílica como traçador. Para tal analisamos amostra de sedimento recente e também de

sedimento permanente, já citado anteriormente (cap. 3-5). Consideramos como sedimento recente aquele que está localizado nas camadas superiores do sedimento e ainda sujeito a transformações.

Em nosso estudo, o sedimento recente não está sendo usado como algum contribuinte direto no balanço do carbono, ou seja, como um compartimento a mais a ser contabilizado. Entretanto nos foi pertinente analisá-lo pois queríamos determinar a quantidade de sílica presente nesse compartimento.

4.2 - Usando a Sílica como traçador

4.2.1 - Dinâmica da Sílica na Represa

Segundo ESTEVES (1988) a sílica (SiO_2) presente no lago é proveniente, principalmente, do intemperismo de minerais compostos de silicato, que são mais freqüentes em rochas sedimentares do que magmáticas. Ela se apresenta dissolvida na água na forma de silicato ($\approx 5 \text{ mg.L}^{-1}$) sendo usada pelas diatomáceas para confecção de suas carapaças. A sílica é de grande importância para as diatomáceas, configurando o nutriente essencial para elas, como afirma HUTCHINSON (1957). Neste processo o silício (Si), originalmente sob a forma de íon silicato, passa para a forma não iônica que é a sílica. Devido a esse fato fica excedente um contra íon positivo (+), por exemplo; Ca^{2+} ou Na^+ que elevam a alcalinidade da água. A sílica (SiO_2) poderia ser novamente dissolvida (passando para silicato) pois é solúvel em alcali. Porém, em ambientes tropicais tal dissolução não acontece,

pois existem ácidos húmicos na água que formam complexos não iônicos, sequestrando aqueles íons alcalinos terrosos (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Em consequência disso o pH permanece em torno de 7 (sete) e a sílica, uma vez assimilada pelas algas, não volta a circular como íon, mas precipita. Portanto o silício se encontra na forma não iônica, ou seja, sílica (SiO_2) o que nos possibilita sua quantificação pelo método gravimétrico.

4.2.2 – Argumentação do método

Em ambientes aquáticos tropicais, onde se constatar que o pH da água se encontra em torno do valor sete ou menos, caracterizando um meio ácido, podemos nos utilizar da sílica como traçador na determinação da taxa de fossilização, pois temos a garantia de que ela, quando presente na água, não é novamente dissolvida, retornando ao ciclo biogeoquímico, mas sim precipita ao fundo do lago compondo o sedimento.

No dia 15 e 16 de julho de 1997 foram medidos, no reservatório do Broa, 18 valores de pH no fundo da represa, na interface água-sedimento, resultando em pH média de 5,91 com desvio padrão 0,52. Estes valores confirmam a hipótese da acidez das profundidades da represa, validando a insolubilidade assumida para a sílica. Em outra ocasião, em trabalho anterior, (MENEZE, 1984), já havia confirmado essa acidez. No mesmo sentido estão as medidas do pH efetuados durante as coletas de gases realizadas pelo nosso grupo em 1994 e 1995.

4.2.3 – Explicação do método analítico

Relacionamos o valor da concentração de sílica presente no sedimento permanente (%SiO₂) com a taxa sedimentação da sílica (TsSiO₂). O valor da concentração de sílica presente no sedimento, obtemos através dos procedimentos já descritos no capítulo 3.5 no item *d*. O valor da concentração da sílica que sedimenta (sedimento recente) também é obtido por meio dos procedimentos já descritos no capítulo 3.5 no item *d* (o método gravimétrico). Entretanto para coletar essas amostras foram utilizadas *armadilhas de sedimento* (descritas, em detalhes, em 4.2.4 no item *c*). Relacionamos, também, o valor da concentração de carbono presente no sedimento permanente (%C) com a taxa de sedimentação do carbono (TsC). O valor da concentração, em percentagem, de carbono presente no sedimento permanente, obtemos através dos procedimentos já descritos no capítulo 3.5 no item *d*. O valor da concentração de carbono que sedimenta (taxa de sedimentação) é obtido por meio da premissa de que a razão das taxas de sedimentação entre o carbono permanente e a sílica é igual a razão das suas concentrações, percentuais, presentes no sedimento. Podemos esclarecer, essa premissa, através da equação 4.1:

$$\boxed{\text{TsC} / \text{TsSiO}_2 = \%C / \%SiO_2} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Portanto, através da armadilha pode-se saber quantos quilogramas de SiO₂ sedimentam por m², por ano e através da equação anterior determinamos quantos quilogramas de carbono sedimentam por m², por ano. Dentro do sedimento estável este dado permite estabelecer a

espessura anual de camada de sedimento.

4.3 – Materiais e Métodos

a) Periodicidade das Coletas

As armadilhas para as coletas foram colocadas quase simultaneamente as coletas de testemunhos de sedimento. As coletas foram então realizadas nos três meses: abril/97, setembro/97 e janeiro/98, à aproximadamente uma hora depois de coletar os testemunhos de sedimento uma vez que este procedimento provoca um revolvimento do sedimento de fundo do lago que poderia precipitar para dentro da armadilha “contaminando”, assim, a amostra.

b) Justificativas dos locais de coleta

Os locais de colocação das armadilhas para sedimentação (Figura 2) foram bem próximos aos das coletas de testemunho de sedimento. Os locais de colocação das armadilhas para sedimentação, portanto, também foram: em frente à desembocadura do *Córrego das Perdizes*, próximo à barragem e próximo ao Hobby Clube.

c) Procedimento de amostragem

Para a obtenção da amostra de sedimento recente, utilizou-se de armadilha para sedimentação, já utilizada em trabalho recente (CHALAR, 1997), que consiste em um tubo de acrílico, fechado em uma das extremidades, que é submergido e preso a uma pôita apropriada, a um metro de distância do fundo. Na instalação, antes de ser submergida

a armadilha é preenchida com água deionizada, (ver Figura 7) o que nos garante uma ausência inicial de sedimento.



FIGURA - 7 : Fotografia demonstrando o procedimento inicial para coleta de sedimento recente por meio de armadilha de sedimentação.

Pelo fato da armadilha ser equilibrada por bóias, ela fica com a extremidade aberta para cima, o que possibilita a captura das partículas que vão sedimentando no fundo do lago. A armadilha fica submersa durante um período de 24 horas, sendo que ao ser retirada do lago todo o seu conteúdo (água deionizada + sedimento) é transferido para um frasco de plástico atentando-se para não deixar sedimento na parede do tubo (ver Figura 8) .

No laboratório o conteúdo do frasco é filtrado em filtro de papel (Whatman). O filtro de fibra de vidro poderia contaminar a amostra com sílica. Vários filtros são necessários para filtrar o sedimento que juntamente com este são calcinados em mufla à 950 °C por 2 horas, para

depois serem submetidos ao processo do método gravimétrico, já mencionados anteriormente (ver cap. 3.5 item *d*).

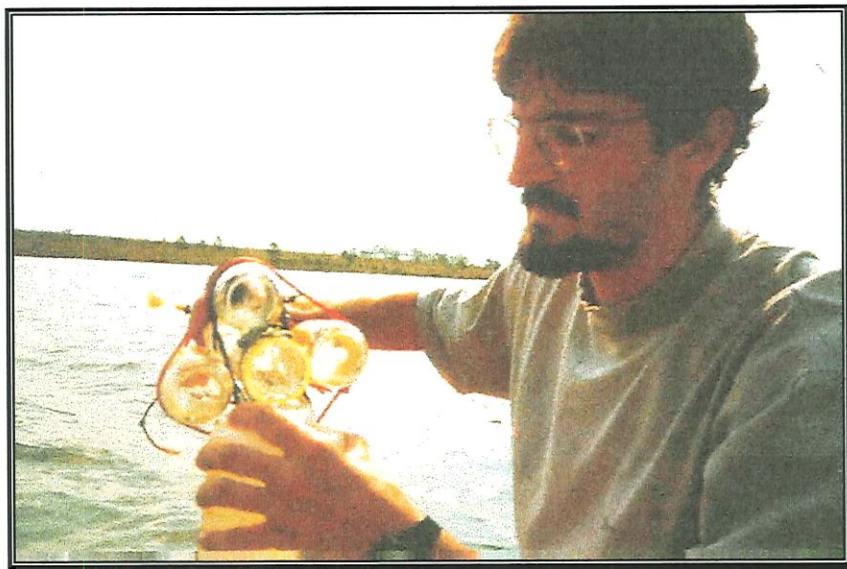


FIGURA – 8 : Fotografia demonstrando o procedimento de coleta de sedimento numa armadilha de sedimentação.

d) Medida de Concentração

Para se quantificar a sílica na amostra de sedimento, capturada pela armadilha de sedimentação, o método utilizado foi o mesmo que para o sedimento de fundo de lago, ou seja, o método gravimétrico recomendado em (JAKSON, 1958).

Foi efetuado o seguinte cálculo para se obter o valor da taxa de sedimentação da sílica em $\text{kg m}^{-2} \text{ano}^{-1}$:

$$TsM_{SiO_2} = \frac{MArm_{SiO_2} (kg)}{20,43 \times 10^4 (m^2) \cdot (ano)} \times 365$$

(Eq. 4.2)

onde : $M_{Arm_{SiO_2}}$ (massa de sílica na armadilha). O termo $20,43 \times 10^{-4}$ equivale a área interna da abertura da armadilha. Extrapolamos a taxa diária para anual multiplicando o resultado pelo fator 365. Este cálculo (Equação 4.2) é efetuado sobre a amostra de cada armadilha. Das massas obtidas nas armadilhas nos três pontos de coleta, realizada dentro do mês, é feita uma média da massa de sílica sedimentada. Para obter-se o valor da massa de sílica sedimentada anualmente, utilizou-se da expressão abaixo:

$$MSiO_2_{ANUAL} = [(M_1 + M_2 + M_3) / 3] \quad (Eq. 4.3)$$

na qual, M_1 , M_2 e M_3 equivalem, respectivamente, as médias das massas de sílica sedimentada nos meses de abril, julho e setembro. Logo, temos nosso resultado de massa de sílica sedimentada, expresso em kg por m^2 por ano. Finalmente, para extrapolarmos para a área da represa, multiplicamos por $6,8 \times 10^6 m^2$ (área de superfície da represa).

Retomando a equação 4.1, para determinarmos TsC (taxa de sedimentação de carbono), é preciso conhecer C% (percentagem de carbono no sedimento) e $SiO_2\%$ (percentagem de sílica no sedimento), a maneira como estes foram determinados já apresentamos no Capítulo 3.5 item *d*.

4.4 – Resultados e Discussão

A sedimentação da sílica na reservatório do Broa é de $0,72 kg \cdot m^{-2} \cdot ano^{-1}$. A sedimentação do carbono na reservatório do Broa é de $0,17 kg m^{-2} \cdot ano^{-1}$ (TABELA 11) e extrapolando-se para a área da represa

(6,8 km²) obtemos um valor de 1,173x10⁶ kg de carbono sedimentado na represa no período de um ano, que também pode ser apresentado como 1.173 toneladas. Podemos observar na TABELA 16 que o carbono fossilizado representa 76,94 % da saída anual de carbono do reservatório. Isso nos mostra, ser esta a principal saída de carbono do reservatório. Devemos ainda levar em consideração a expressiva quantia de 1.173 toneladas de carbono sendo “escondida” anualmente por uma represa de pequeno porte como esta, pelo fato de ser uma quantidade expressiva que está sendo retirada da circulação global do carbono. Este fato também contribui para diminuir a produção de gases estufa como CO₂ e metano.

Em um trabalho, bastante expressivo, RITCHIE (1989), quantificou o carbono em sedimento de 58 reservatórios ao longo dos Estados Unidos dentre os quais haviam reservatórios de dimensões de 10 à 50 hectares de extensão nos quais foram obtidos valores em de 685 g m⁻² ano⁻¹ de carbono. Em nosso trabalho obtemos o valor de 170 g.m⁻² ano⁻¹.

Segundo, WETZEL (1975) o montante de lagos, de água doce, e reservatórios representa, aproximadamente, 0,4 % da superfície da Terra, e com o aumento de empreendimentos de reservatórios ao redor do mundo, fica evidente, que o carbono acumulado nos sedimentos dos reservatórios podem ser significantes sumidouros de carbono, que, segundo RITCHIE (1989) essas quantidades de carbono deveriam ser contabilizadas quando balanços globais de carbono são realizados.

5 – RESULTADOS e DISCUSSÃO

5.1 – Balanço do Carbono

O balanço do carbono para o reservatório do Broa apresentou valor de entrada $933,53 \text{ t.C.ano}^{-1}$ ($376,12 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) e valor de saída de $1.524,01 \text{ t.C.ano}^{-1}$ ($614,42 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) encerrando, assim, com um balanço de $-591,47 \text{ t.C.ano}^{-1}$ ($-238,30 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

Através da TABELA 16, podemos observar que a maior quantidade de entrada de carbono no reservatório foi através das macrófitas, com $53,05 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($145,34 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando 38,64% de toda entrada de carbono, seguido pelos gases que difundem na interface atmosfera/água, com $33,01 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($90,45 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando 24,05% de toda entrada de carbono, seguido, dos afluentes, $27,36 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($74,96 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (19,93%) e do lençol freático, que forneceu para o reservatório $23,86 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($65,36 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (17,38%).

A maior saída de carbono do reservatório foi através do sedimento, com $172,56 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($472,76 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando 77% de toda saída de carbono. RITCHIE (1989) encontrou para valor de saída de carbono para o sedimento uma faixa que variou de 26 à $3700 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para 58 reservatórios estudados, ao longo dos EUA. Outra saída, relativamente expressiva, foi a do efluente $44,95 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($123,14 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando

20,04%, seguida pelos gases que saem através da interface atmosfera/água, por meio de bolhas e por meio de difusão. Os gases em forma de bolha (CO_2 e CH_4) tiveram uma saída mais expressiva, $5,84 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($16,01 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (2,61%), comparada com os gases que saem por difusão $0,92 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($2,51 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (0,41%).

Teoricamente, o valor para o balanço deveria ser zero, por se tratar de uma caixa preta e imutável. No entanto, os números mostram que o desbalanço atinge um valor de 39%, claramente apontando para estimativas inadequadas dos dados. Se insistimos, apesar disto, a apresentar o conjunto de nossos dados sob forma de balanço, o fazemos para verificações de consistência internas e verificações de consistência na comparação com outros modelos e trabalhos, comparações estas onde o erro de 39% não tem grande consequência, como podemos exemplificar a seguir. Se for calculado o número de vezes que o carbono circula, ou seja, uma estimativa da intensidade de circulação interna de carbono obtêm-se o valor de 1,6 vezes, já com uma correção de 39%, se acharia que ele circula 1,2 vezes.

As dificuldades e erros fornecem subsídios para o aperfeiçoar os métodos em futuros trabalhos e também põe em perspectiva as suposições nas quais o trabalho se baseia, por exemplo:

- pequena frequência de amostragem representaria adequadamente o universo estudado?
- a imutabilidade temporal da caixa preta – *Argumento fraco pois foram estudados apenas dois organismos.*
- a confiabilidade no método da sílica – *Esse é um método novo e ainda não foi testado.*

- a aplicabilidade de dados de outros anos – *Supusemos que se há evolução ela seria lenta , de ano para ano, e que num espaço de 4 anos não seria perceptível ao nível de precisão deste trabalho.*
- a extrapolação para suprir falhas de amostragem - *Obviamente dados coletados descreveriam melhor a realidade de estudo.*

Consideramos os 39% um erro grande, e isto suscita a pergunta: — Qual é o erro aceitável? Listando alguns erros conhecidos que entram na composição do erro final, temos:

- 10% na cromatografia gasosa.
- 100% na repetibilidade do volume de bolhas capturadas
- 10% na estimativa da emanção de gases (câmaras de equilíbrio) e variação mensal da vazão dos rios (400% p/ Rio Itaqueri).

Esses valores são percebidos no trabalho cotidiano do grupo e afetam o erro final numa proporção de difícil quantificação. Talvez um erro final de 20% seria atingível com amostragens muito mais frequentes.

Uma alternativa à apresentação sob forma de balanço, teria sido a mera listagem das medidas. Nós optamos pelo balanço, mesmo não totalmente satisfatório, pela oportunidade dos confrontos, verificações e demarcações de limites.

Abrindo temporariamente a caixa preta, pode-se fazer uma verificação da auto consistência entre o carbono inorgânico que entra no sistema, o carbono orgânico que sai do sistema e o processo interno da fotossíntese. A fotossíntese contribui sob a forma de produção primária efetuada pelo plâncton .Independentemente há ingresso de C devido a fotossíntese das macrófitas. Se as macrófitas também utilizarem o CO₂ dissolvido na água além do absorvido no ar, haveria um decréscimo de entrada de carbono em relação ao calculado neste trabalho. Aqui

consideramos que as macrófitas o absorvem exclusivamente do ar e emitem para a água carbono já na forma orgânica. Deste modo a produção primária do plâncton é responsável pela transformação do carbono inorgânico em carbono orgânico, dentro do sistema. Aqui pode ser feito um confronto. Essa produção primária, numericamente, não pode ser inferior a soma do carbono gasoso e do carbono inorgânico dissolvido que entram no sistema. Esta soma é $118,38 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (ver Anexo C). A produção primária medida por CALIJURI (1985) foi em média de $232 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, o mesmo parâmetro medido por TUNDISI (1977), chegou ao valor médio de $146,2 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Ambos valores são consistentes com os $118,38 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, indicando que o mesmo carbono inorgânico é utilizado mais de uma vez na fotossíntese, ocorrendo sequências como estas: fotossíntese-decomposição (com liberação de CO_2) - nova fotossíntese (utilizando o CO_2 liberado).

É interessante estimar quantas vezes o carbono é submetido a esta circulação interna. Assim, fazendo-se uma relação entre a média dos dois valores encontrados pelos dois pesquisadores, anteriormente citados, ($189 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) com os $118,38 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ que entram no sistema, acha-se que o carbono é utilizado 1,6 vezes antes de sair da caixa preta.

5.2 - Rios

Os rios (afluentes) contribuem, em média, com fornecimento de 186,06 toneladas de carbono para o reservatório, durante um período de 12 meses. A entrada mensal de carbono, chega a um valor médio de 15,50 toneladas. Na determinação desse valor médio, pode-se observar na TABELA-2, que ocorre um valor máximo de

fornecimento para o mês de janeiro/97 de 28,39 toneladas, e um valor mínimo, que ocorre no mês de maio de 6,38 toneladas. Podemos observar na Figura 18 que no mês de maio todos os rios apresentam uma diminuição no valor da carga de carbono que estes fornecem ao reservatório. Isso pode ser observado pela TABELA -1, onde as concentrações de carbono total, para os rios, no mês de maio apresentam valores baixos comparados aos outros meses. A Figura 9 nos mostra a concentração média de carbono, durante um ano, em cada afluente e no efluente, e como era de se esperar, o afluente que apresentou maior concentração de carbono foi o Córrego da Água Branca com 5,51 mg/l, uma vez que este recebe o esgoto de Itirapina, porém o rio Itaqueri também apresentou um valor próximo ao do Córrego da Água Branca com 4,92 mg/l. O afluente que apresentou menor concentração foi o Corrego do Geraldo com 3,21 mg/l, os demais afluentes tiveram suas concentrações em torno de 4,50 mg/l. O efluente apresentou uma concentração média anual de 3,52 mg/l.

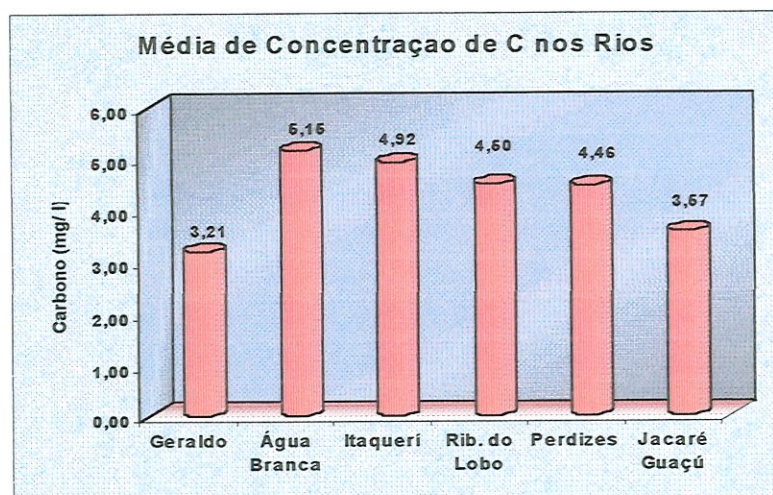


FIGURA – 9. Média anual de concentração de carbono em cada rio

TABELA - 1: Concentração de Carbono nos Rios e Massa de Carbono. Total (Mensal).

Dez/96

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	4,12	3,04	1,09	386	4260,55
Água Branca	6,56	3,98	2,58	478	8402,45
Itaquerí	4,27	2,40	1,87	222	2538,37
Rib. do Lobo	3,68	2,00	1,68	78	768,18
Perdizes	6,84	5,01	1,83	48	879,37
Jacaré Gua. (Efuate)	4,41	3,54	0,87	2097	24741,14

M ENTRADA(kgC/mês)

16.848,91

Jan/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	3,36	1,07	2,29	400,5	3604,27
Água Branca	5,46	2,20	3,26	404,1	5909,58
Itaquerí	7,74	1,70	6,04	595,2	12342,17
Rib. do Lobo	6,30	2,24	4,06	352,6	5952,58
Perdizes	4,13	0,91	3,21	52,3	577,83
Jacaré Gua. (Efuate)	4,00	0,57	3,43	4378	46857,24

M TOTAL(kgC/mês)

28386,43

Abr/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	5,01	1,55	3,46	600,0	7791,55
Água Branca	4,39	1,89	2,50	375,6	4271,96

Itaquerí	3,40	1,33	2,07	257,6	2270,84
Rib. do Lobo	3,27	1,67	1,60	150,2	1274,24
Perdizes	3,09	1,23	1,86	150,0	1202,56
Jacaré Gua. (Efuate)	3,13	0,69	2,44	3250,0	26358,70
M ENTRADA(kgC/mês)					
16811,15					

Mai/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	2,94	0,85	2,10	275	2168,43
Água Branca	2,74	1,14	1,60	310	2273,37
Itaquerí	2,16	1,12	1,04	133	769,45
Rib. do Lobo	2,03	1,11	0,92	87	473,27
Perdizes	2,06	0,92	1,44	126	695,88
Jacaré Gua. (Efuate)	2,05	0,64	1,41	1488	8150,26
M ENTRADA(kgC/mês)					
6380,40					

Jun/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	2,56	1,02	1,55	371,00	2464,66
Água Branca	4,05	2,20	1,85	405,00	4246,28
Itaquerí	2,80	1,55	1,25	227,00	1645,12
Rib. do Lobo	3,27	2,00	1,27	176,00	1493,12
Perdizes	2,99	1,50	1,49	129,00	999,09
Jacaré Gua. (Efuate)	1,16	0,86	2,31	3216,0	9694,62
M ENTRADA(kgC/mês)					
10848,27					

Nov/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	3,05	1,00	2,05	240,00	1897,34
Água Branca	6,49	2,45	4,04	343,00	5771,75
Itaquerí	7,64	2,06	5,59	212,30	3880,62
Ribeirão do Lobo	5,61	1,83	3,78	68,40	746,51
Perdizes	6,25	2,27	3,99	49,20	542,28
Jacaré Gua. (Effuente)	5,09	0,10	4,12	2350,00	20033,09

M ENTRADA(kgC/mês)

13.666,72

Dez/97

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	2,23	0,76	1,46	263,00	1570,85
Água Branca	5,89	2,16	3,74	398,00	6286,22
Itaquerí	7,71	2,06	5,65	187,70	3880,62
Ribeirão do Lobo	5,47	1,89	3,57	51,00	746,51
Perdizes	5,47	1,71	3,75	37,00	542,28
Jacaré Gua. (Effuente)	4,27	0,77	3,50	1750,00	20033,09

M ENTRADA(kgC/mês)

13026,48

Jan/98

Sítio	C.T.(mg/l)	C.I.(mg/l)	C.O.T.(mg/l)	V (L/s)	M (KgC/mês)
Geraldo	2,41	0,681	1,729	405,00	2614,25
Água Branca	5,581	1,554	4,027	370,00	5530,82
Itaquerí	3,644	1,211	2,433	399,00	3894,28

Ribeirão do Lobo	6,36	2,5	3,859	247,00	4206,89
Perdizes	4,83	1,715	3,11	97,80	1263,90
Jacaré Gua. (Efluente)	4,43	0,757	3,673	3035,00	36011,22

M ENTRADA(kgC/mês)
17510,13

TABELA - 2: Massa de Carbono nos Rios Afluentes - Entrada -

Mês	MC (kg)			
DEZ/96	16848,91			
JAN	28386,43			
ABR	1771,53	Média MC-mensal (Kg)	Desvio Padrão	Média MC (kg.ano⁻¹)
MAI	6380,40	15.504,86	6.433,26	186.058,31
JUN	10848,27			
NOV	13666,72		MC(tC/ano)	MC (g.m⁻².ano⁻¹)
DEZ	13026,48		186,06	27,36
JAN/98	17510,13			



FIGURA 10 - Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego do Geraldo, mostrando carga essencialmente constante se a contribuição “anomala” do mês de abril não for levada em conta; para esta, porém, não achamos explicação.

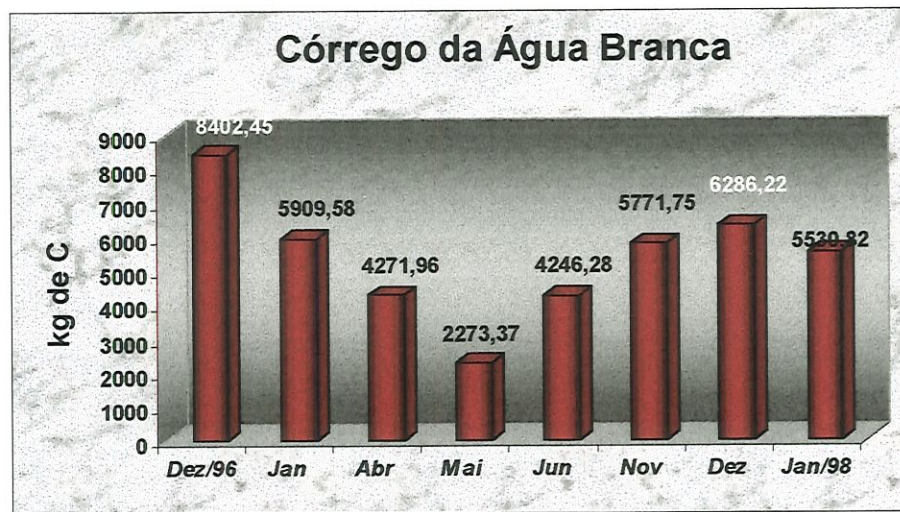


FIGURA – 11. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego da Água Branca. Podemos notar a tendência a acompanhar o padrão da chuva.

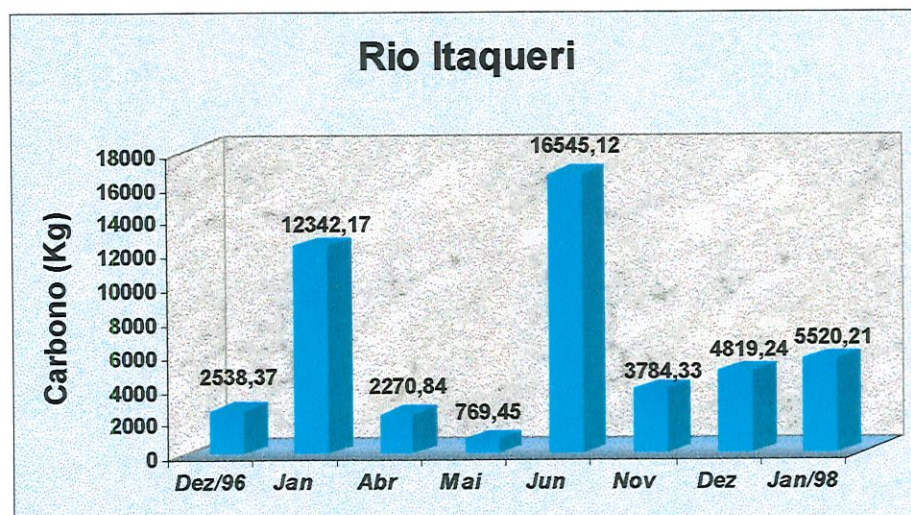


FIGURA – 12. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo rio Itaqueri.

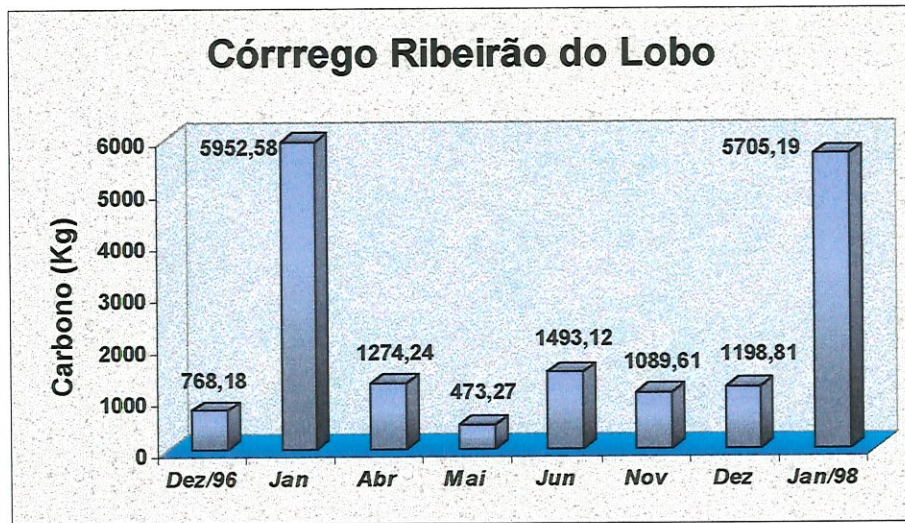


FIGURA – 13. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego Ribeirão do Lobo.

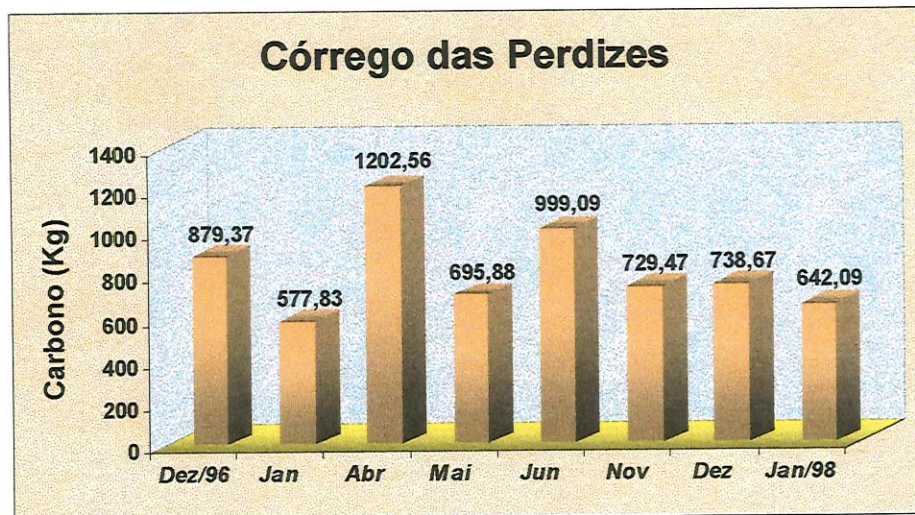


FIGURA – 14. Carga mensal de carbono fornecida à represa pelo Córrego das Perdizes.

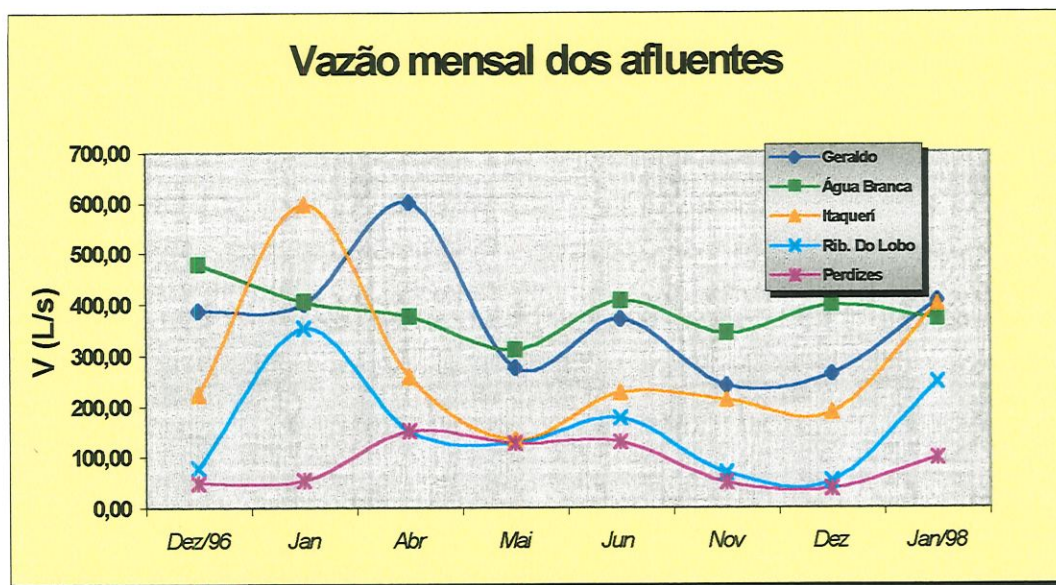


FIGURA – 15. Comparação mensal das vazões dos afluentes.

Como já mencionado anteriormente, os afluentes contribuíram com 19,93% da entrada de carbono para o reservatório, sendo que o afluente que mais contribuiu foi o Córrego da Água Branca com 64,03 Toneladas de carbono (Figura 16) 36% (Figura 17) de toda carga de carbono fornecida pelos afluentes, sendo isso já esperado uma vez que este córrego recebe esgoto da cidade de Itirapina. O Córrego das Perdizes foi o que menos contribuiu, 10,44 toneladas de carbono (Figura 16) 6%, (Figura 17) e isso provavelmente se deu devido à baixa concentração de carbono total em suas águas (TABELA 1), além de sua pequena vazão como podemos constatar na Figura 15. MACARENKO (1998) obteve características análogas para as medidas de nitrogênio total.

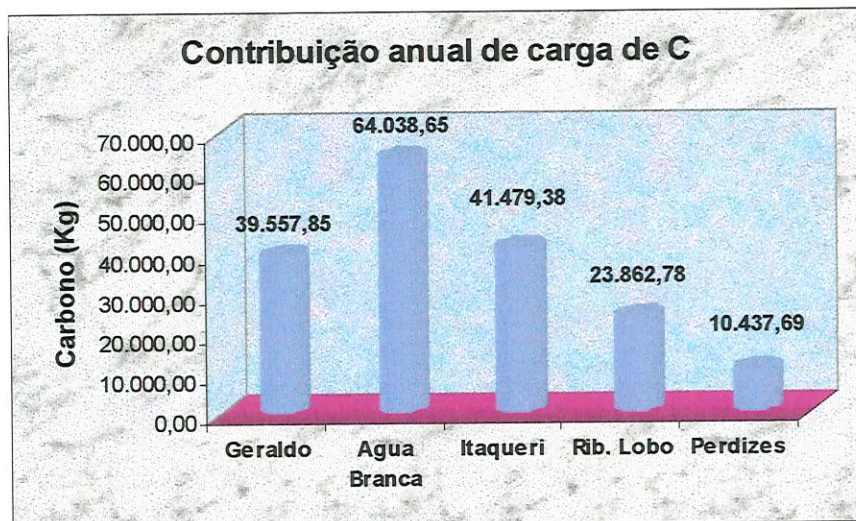


FIGURA – 16. Contribuição anual da carga de carbono, em kg, para cada rio. Podemos notar a predominância da contribuição do Córrego Água Branca, que aliás coincide com a predominância de sua vazão (Fig. 15)

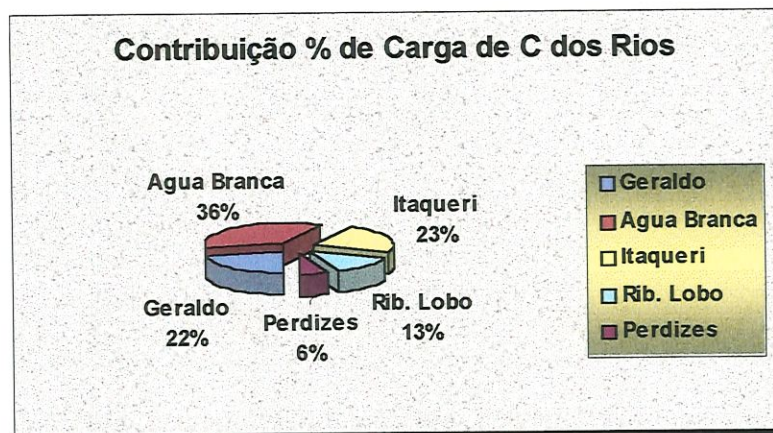


FIGURA – 17. Contribuição percentual de carga de carbono fornecida pelos rios durante um ano.

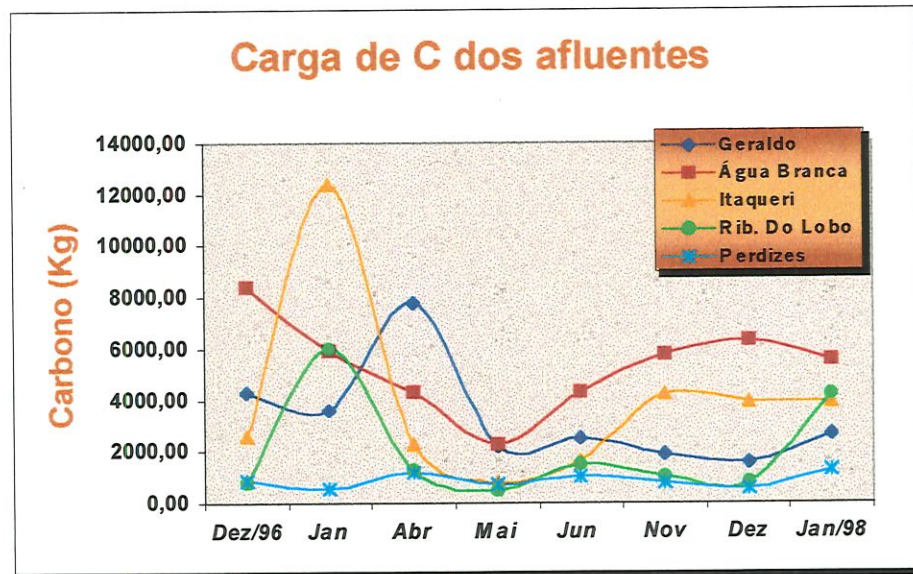


FIGURA – 18. Comparação mensal da carga de carbono dos afluentes.

O rio Jacaré Guaçú, o único efluente do reservatório, nos aponta a soma de 305,63 toneladas de carbono que são exportados da represa, através dele, durante um período de doze meses, como pode-se observar na TABELA -3. O valor médio mensal é de 25,47 toneladas tendo um máximo de carga registrado no mês de janeiro (46,86 toneladas) e um mínimo no mês de maio (8,15 toneladas). Podemos observar esses extremos na Figura 19. A Figura 20 nos mostra a vazão do efluente, onde podemos observar que o menor valor de vazão do efluente ocorreu, tal como para os afluentes, no mês de maio com 1488 L/s e o maior valor ocorreu para o mês de janeiro-97 com 4378 L/s.

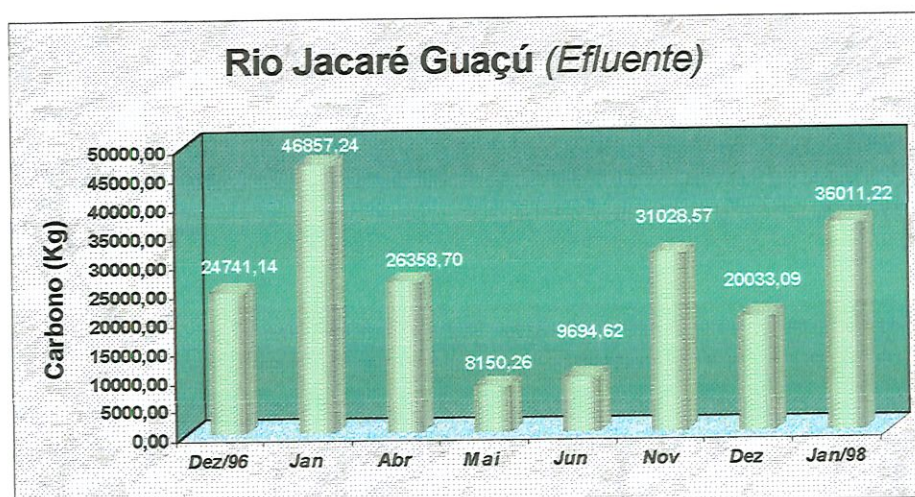


FIGURA – 19. Gráfico da carga de carbono mensal durante o período de Dez/96 à Jan/98.

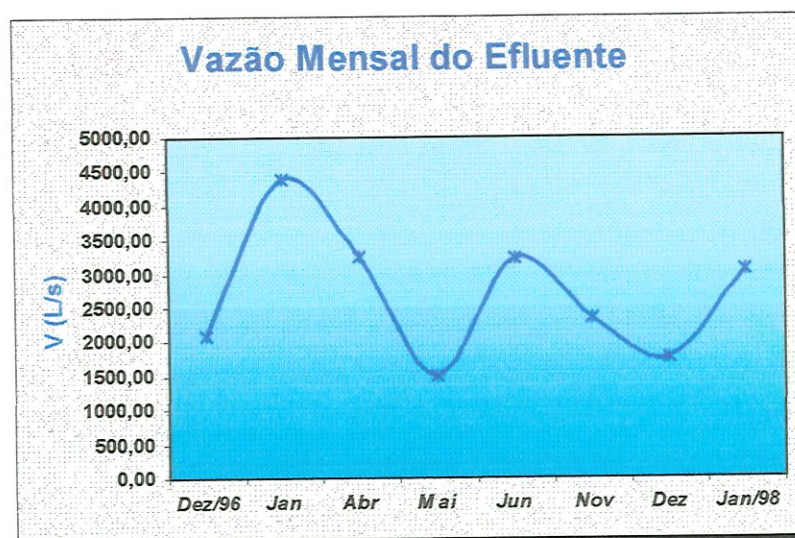


FIGURA – 20. Vazão mensal do efluente.

TABELA - 3: Massa de Carbono no Rio Efluente - Saída –

Mês	MC (kg)			
DEZ/96	24741,14			
JAN	46857,24			
ABR	27737,32			
MAI	8150,26			
		Média MC-mensal (Kg)	Desvio Padrão	Média MC (kg.ano⁻¹)
NOV	31028,57	25.469,18	12.991,64	305.630,19
DEZ	20033,09			
JAN/98	36011,22			
			MC (t C.ano⁻¹)	MC(g.m⁻².ano⁻¹)
			305,63	44,95

5.3 - Lençol freático

TABELA - 4: Concentração de Carbono no Lençol Freático ; Carga de carbono mensal e Vazão do lençol.

Dez/96			
Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
JB	0,5	0,535	1,035
JB/Bal	0,768	0,801	1,569
			MÉDIA
			1,30

M=V.C.86400.0,000001.31

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
885	3.086,24

Jan/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
JB	4,903	1,481	6,38
JB/Bal	3,546	1,314	4,86
B1	4,477	1,105	5,58
B2	5,427	2,447	7,87
D1	4,598	1,213	5,81
			MÉDIA
			6,10

$$M=V.C.86400.0,000001.31$$

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
2574	42.069,80

Fev/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B2	1,074	1,308	2,382
D1	5,028	1,871	6,899
			MÉDIA
			4,64

$$M=V.C.86400.0,000001.28$$

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
467.67	5.250,17

Abr/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	0,49	1,449	1,939
B2	2,959	1,876	4,835
D1	1,606	0,832	2,438
			MÉDIA
			3,07

$$M=V.C.86400.0,000001.30$$

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
1.716,6	13.662,71

Mai/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	5,726	2,753	8,479
B2	4,336	2,503	6,839
D1	3,374	6,047	9,421
			MÉDIA
			8,25

$$M=V.C.86400.0,000001.31$$

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
557	12.046,15

Jun/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	3,501	2,3	5,801
B2	4,148	1,204	5,352
D1	5,58	1302	6,882
			MÉDIA
			6,01

M=V.C.86400.0,000001.30

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
1908	29.111,52

Set/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	0,448	-	-
B2	0,322	2,273	2,595
D1	3,345	0,37	2,967
			MÉDIA
			2,78

M=V.C.86400.0,000001.30

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
450	3.176,18

Out/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	0,575	0,778	1,353
B2	1,463	0,922	2,385
D1	2,832	0,902	3,734
Pear 1	0,79	2,237	1,447
Pear 2	1,891	0,582	2,473
			MÉDIA
			2,28

M=V.C.86400.0,000001.31

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
396	2.366,23

Dez/97

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	0,285	0,78	1,065
B2	0,24	0,792	1,032
D1	0,293	1,075	1,368
			MÉDIA
			1,16

M=V.C.86400.0,000001.31

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
813,30	2.463,57

Jan/98

Piezômetros	Carb. Inorg (mg/l)	Carb. Org. Total (mg/l)	Carb. Total (mg/l)
B1	3,68	1,325	5,005
B2	0,942	0,942	1,884
D1	1,744	1,693	3,437
			MÉDIA
			3,44

M=V.C.86400.0,000001.31

Vazão (L/s)	MC (Kg/mês)
1.516,20	13.686,72

TABELA - 5: Massa de Carbono no Lençol Freático - *Entrada* –

Mês	MC (kg)			
DEZ/96	3086,24			
JAN	42069,80			
ABR	13662,71			
MAI	12046,00			
JUN	29111,52			
		MédiaMC-mensal	Desvio	Média MC
		(Kg)	Padrão	(kg.ano⁻¹)
SET	3176,18	13.518,77	13.797,27	162.225,29
OUT	2366,23			
DEZ	2463,57			
JAN/98	13686,72			
			MC (t C/ano)	MC (g.m⁻².ano⁻¹)
			162,22	23,86

TABELA - 6: Balanço anual de massa de carbono – *Lençol e Rios*

LENÇOL	AFLUENTES	EFLUENTE	ENTRADA	SAÍDA	BALANÇO
kg.a ⁻¹	kg.a ⁻¹	kg.a ⁻¹	kg.a ⁻¹	kg.a ⁻¹	(kg/ano)
162.225,29	186.058,31	305.630,19	348.283,60	-305.360,19	42.653,42
					(t/ano)
					42,65

5.4 – Sedimento

Como já foi dito anteriormente o sedimento representa setenta e sete por cento (77%) do carbono que sai da represa (caixa preta) o que corresponde a um valor 1.773,39 toneladas de carbono por ano.

Analisando-se a Tabela 7, verifica-se que há uma pequena variação espacial, quanto à percentagem de carbono no sedimento

analisado em cada sítio durante o ano. Pois o sítio P₁ (próximo à barragem- Iate Clube) é o que apresenta maior valor , em torno de 15%, seguido, do sítio P₃ (próximo ao Hobby Clube), em torno de 12%, e para o sítio P₂ (próximo ao Córrego das Perdizes) a percentagem de carbono presente no sedimento fica em torno de 10%. Essa variação, embora pequena, se apresentou, nitidamente, em todos os meses de coleta. Gostaríamos de comentar que para o resultado do mês de abril para o sítio P₁, provavelmente, tenha ocorrido manifestação da não homogeneidade do sedimento, como inclusão na amostra de pequeno pedaço de galho, por exemplo, o que, possivelmente, acarretou uma quantidade excessiva de carbono na análise.

TABELA - 7: Concentração (%) de Carbono no Sedimento Permanente.

Mês de Abril / 97

P₁ (Próximo à barragem - Iate Clube)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono	
1	0 - 2	6,65	15,18	
2	2 4	6,77	24,15	
3	4 6	4,82	30,28	
4	6 8	5,16	38,97	
5	8 10	7,45	31,69	MÉDIA
6	10 12	5,37	33,42	34,69 %



P2 (Próximo ao Corrego de Perdizes)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono	
7	0 - 2	4,41	29,24	
8	2 4	4,88	10,24	
9	4 6	7,06	9,85	
10	6 8	5,84	9,89	
11	8 10	5,12	10,28	MÉDIA
12	10 12	6,34	10,30	10,16 %

P3 (Próximo ao Hobby Clube)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono	
13	0 - 2	5,53	15,41	
14	2 4	5,38	8,9	
15	4 6	5,33	13,01	
16	6 8	5,17	11,22	
17	8 10	6,31	11,62	MÉDIA
18	10 12	5,01	10,33	11,06 %

Valor médio percentual de C no sedimento da represa para o mês ABR-97:
18,64%

Mês de Setembro / 97

P1 (Próximo à barragem - late Club)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono
1	0 - 2	5,75	11,59
2	2 4	5,14	11,76
3	4 6	5,76	13,95
4	6 8	8,00	16,36

5	8	10	6,14	13,61	MÉDIA
6	10	12	9,07	14,23	14,73 %

P2 (Próximo ao Córrego das Perdizes)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono
7	0 - 2	4,74	11,11
8	2 4	4,54	10,54
9	4 6	6,40	10,65
10	6 8	4,68	10,43
11	8 10	7,01	10,14
12	10 12	3,87	10,95
MÉDIA			
10,51 %			

P3 (Próximo ao Hobby Clube)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono
13	0 - 2	3,77	14,33
14	2 4	5,14	13,96
15	4 6	4,36	13,17
16	6 8	6,30	12,33
17	8 10	7,78	10,92
18	10 12	5,25	11,6
MÉDIA			
11,62 %			

Valor médio percentual de C no sedimento da represa para o mês SET-97: 12,29 %

Mês de Janeiro / 98

P1 (Próximo à barragem - late Clube)

Amostra	Fatia (cm)	massa analisada (mg)	% Carbono
1	0 - 2	4,99	11,38
2	2 4	8,95	11,86
3	4 6	5,84	11,49
4	6 8	8,56	12,23

5	8	10	7,25	15,32	MÉDIA
6	10	12	5,03	19,08	15,54 %

P2 (Próximo ao Córrego das Perdizes)**Amostra Fatia (cm) massa analisada (mg) % Carbono**

7	0	-	2	5,61	10,39	
8	2	4		6,12	10,23	
9	4	6		6,36	10,09	
10	6	8		6,52	9,8	
11	8	10		5,67	10,19	MÉDIA
12	10	12		7,86	9,88	9,96 %

P3 (Próximo ao Hobby Clube)**Amostra Fatia (cm) massa analisada (mg) % Carbono**

13	0	-	2	4,08	13,98	
14	2	4		6,54	12,35	
15	4	6		4,53	12,96	
16	6	8		5,00	11,54	
17	8	10		5,27	11,84	MÉDIA
18	10	12		5,53	12,96	12,12 %

Valor médio percentual de C no sedimento da represa para o mês Jan-98: **12,54 %**

Valor médio percentual de carbono para o sedimento da represa: **14,49%**

TABELA-8: Concentração (%) de Sílica no Sedimento Permanente**Mês de Abril / 97****OBS:** A massa analisada foi em média 50mg**P1 (Próximo à barragem - late Clube)**

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
1	0 2	55,66	28,00	
2	2 4	66,87	33,70	
3	4 6	81,22	41,10	
4	6 8	66,66	33,60	
5	8 10	93,44	47,00	
6	10 12	84,72	42,70	
				Média % (Profundidade > 6 cm)
				81,61%

P2 (Próximo ao Corrego de Perdizes)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
7	0 2	57,14	28,80	
8	2 4	60,67	30,70	
9	4 6	107,38	53,80	
10	6 8	41,70	21,10	
11	8 10	57,14	28,80	
12	10 12	48,61	24,50	
				Média % (Profundidade > 6 cm)
				49,15 %

P3 (Próximo ao Hobby Clube)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica
13	0 2	64,61	32,50
14	2 4	66,33	33,30
15	4 6	67,67	33,90
16	6 8	67,8	34,10

17	8 10	62,07	31,10	Média % (Profundidade.> 6 cm)
18	10 12	75,3	37,80	68,39%

Média de massa de SiO₂, em percentagem, ao mês : **66,38 %**

Mês de Setembro / 97

OBS: A massa analisada foi em média 50mg

P₁ (Próximo à barragem - Iate Club)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
1	0 2	68,53	34,40	
2	2 4	59,88	30,00	
3	4 6	87,4	43,70	
4	6 8	71,45	35,80	
5	8 10	63,4	31,70	Média % (Profundidade.> 6 cm)
6	10 12	86,43	43,30	73,76%

P₂ (Próximo ao Córrego das Perdizes)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
7	0 2	67,93	34,10	
8	2 4	62,67	31,40	
9	4 6	62	31,00	
10	6 8	50,8	25,50	
11	8 10	45,51	22,80	Média % (Profundidade.> 6 cm)
12	10 12	50,1	25,10	48,30 %

P₃ (Próximo ao Hobby Clube)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica
13	0 2	69,86	35,00
14	2 4	61	30,50
15	4 6	63,4	31,70
16	6 8	55,58	27,90

17	8 10	49,6	24,80	Média % (Profundidade > 6 cm)
18	10 12	56,2	28,10	

Média de massa de SiO₂, em percentagem, ao mês : **58,79 %**

Mês de Janeiro / 98

OBS: A massa analisada foi em média 50mg

P1 (Próximo à barragem - late Clube)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
1	0 2	59	29,50	
2	2 4	63,2	31,60	
3	4 6	58,6	29,30	
4	6 8	41,4	20,70	
5	8 10	44,2	22,10	
6	10 12	22,4	11,20	Média % (Profundidade > 6 cm) 36,00 %

P2 (Próximo ao Córrego das Perdizes)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica	
7	0 2	70,2	35,10	
8	2 4	59,6	29,80	
9	4 6	53,2	26,60	
10	6 8	68,4	34,20	
11	8 10	67,6	33,80	
12	10 12	69,4	34,70	Média % (Profundidade > 6 cm) 68,47 %

P3 (Próximo ao Hobby Clube)

Amostra	Fatia (cm)	% Sílica	mg de Sílica
13	0 2	57	28,50
14	2 4	64,6	32,30
15	4 6	56,6	28,30

16	6 8	66,6	33,30	
17	8 10	62	31,00	Média %
18	10 12	63,8	31,90	(Profundidade > 6 cm)
				64,13 %

Média de massa de SiO_2 , em percentagem, ao mês : **56,20 %**

Valor médio da percentagem de SiO_2 no sedimento permanente($\text{SiO}_2\%$):
60,46%

As Figuras 21 e 22 e a TABELA 9, nos mostram que podemos tratar o sedimento como permanente a partir dos primeiros 2cm. Algumas flutuações que se observam são devido, provavelmente, a não homogeneidade das fatias do sedimento. Um comentário sobre a origem da não homogeneidade do sedimento foi que logo após o fechamento da barragem existia uma floresta inundada e que o sedimento ia se formando em torno dos troncos das árvores enquanto estes se decompunham lentamente, tipicamente sobre períodos de dezenas de anos, ou eram arrancados do solo inundado pela correnteza. É de se esperar, então, que o lugar donde uma árvore tenha sido removida tenha sido preenchido com matéria rica em sílica, já em lugar de acúmulo não perturbado deveria haver dominância de carbono. Em resumo, devido à acidentes variáveis que atingiram o sedimento este apresenta certa variabilidade local, e em função de sua profundidade.

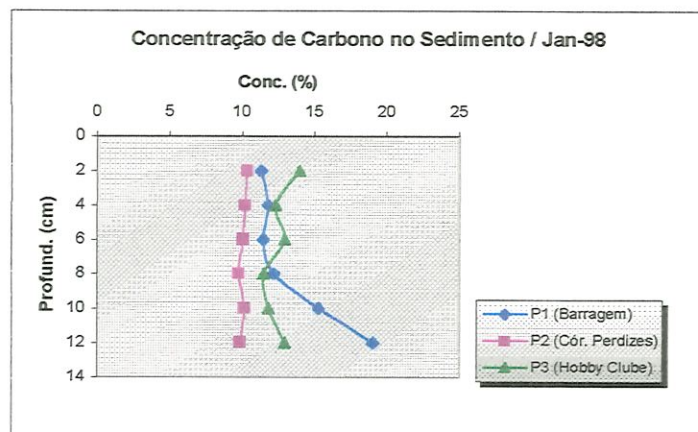
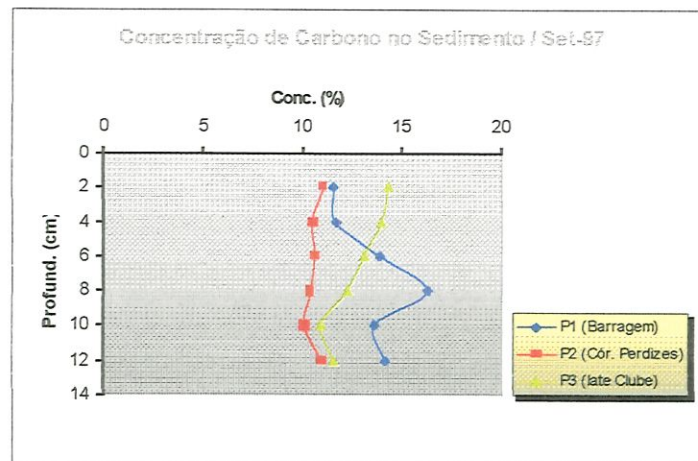
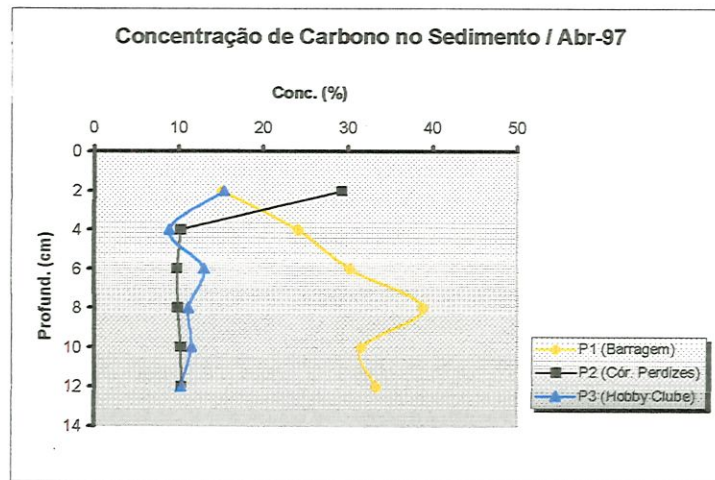


FIGURA - 21. Concentração de carbono em sedimento contra profundidade (Abril, Setembro e Janeiro-98)

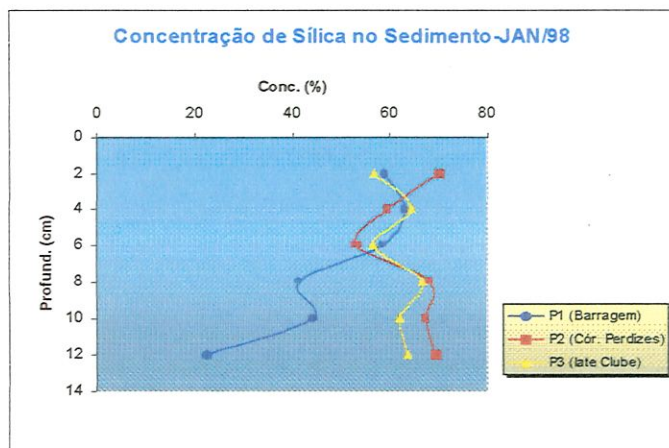
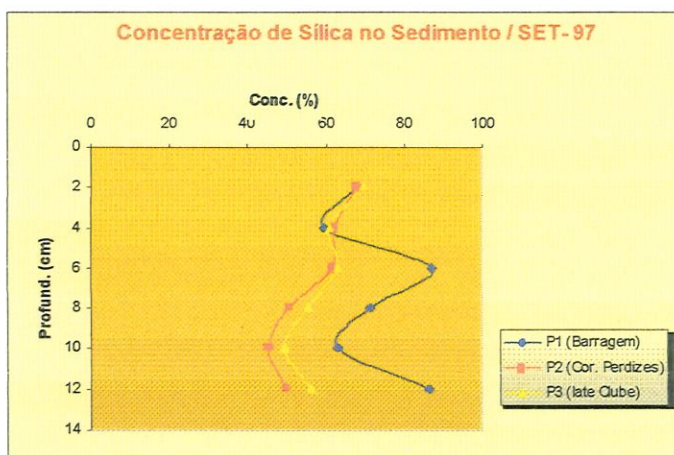
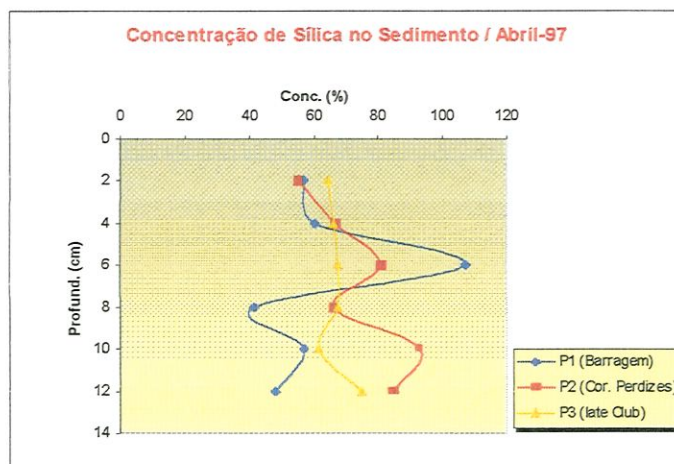


FIGURA - 22. Concentração de sílica em sedimento contra profundidade (Abril, Setembro e Janeiro-98)

TABELA - 9: Razão das Concentrações (%) entre Carbono e Sílica no Sedimento Permanente.

*OBS. A coloração azul na coluna C% / SiO₂%, indica as camadas que compreendem o sedimento permanente

ABRIL

P₁ (Próximo à barragem - late Clube)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	15,18	55,66	0,27
2 4	24,15	66,87	0,36
4 6	30,28	81,22	0,37
6 8	38,97	66,66	0,58
8 10	31,69	93,44	0,34
10 12	33,42	84,72	0,39

P₂ (Próximo ao Córrego das Perdizes)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	29,24	57,14	0,51
2 4	10,24	60,67	0,17
4 6	9,85	107,38	0,09
6 8	9,89	41,70	0,24
8 10	10,28	57,14	0,18
10 12	10,30	48,61	0,21

P₃ (Próximo ao Hobby Clube)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	15,41	64,61	0,24
2 4	8,9	66,33	0,13
4 6	13,01	67,67	0,19
6 8	11,22	67,8	0,17
8 10	11,62	62,07	0,19
10 12	10,33	75,3	0,14

SETEMBRO***P1 (Próximo à barragem - late Clube)***

Camada (cm)	C%	SiO2%	C% / SiO2%
0 - 2	11,59	68,53	0,17
2 4	11,76	59,88	0,20
4 6	13,95	87,4	0,16
6 8	16,36	71,45	0,23
8 10	13,61	63,4	0,21
10 12	14,23	86,43	0,16

P2 (Próximo ao Corrego de Perdizes)

Camada (cm)	C%	SiO2%	C% / SiO2%
0 - 2	11,11	67,93	0,16
2 4	10,54	62,67	0,17
4 6	10,65	62	0,17
6 8	10,43	50,8	0,21
8 10	10,14	45,51	0,22
10 12	10,95	50,1	0,22

P3 (Próximo ao Hobby Clube)

Camada (cm)	C%	SiO2%	C% / SiO2%
0 - 2	14,33	67,93	0,21
2 4	13,96	62,67	0,22
4 6	13,17	62	0,21
6 8	12,33	50,8	0,24
8 10	10,92	45,51	0,24
10 12	11,6	50,1	0,23

JANEIRO-98

P1 (Próxímo à barragem - late Clube)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	11,38	59	0,19
2 - 4	11,86	63,2	0,19
4 - 6	11,49	58,6	0,20
6 - 8	12,23	41,4	0,30
8 - 10	15,32	44,2	0,35
10 - 12	19,08	22,4	0,85

P2 (Próxímo ao Córrego de Perdizes)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	10,39	70,2	0,15
2 - 4	10,23	59,6	0,17
4 - 6	10,09	53,2	0,19
6 - 8	9,8	68,4	0,14
8 - 10	10,19	67,6	0,15
10 - 12	9,88	69,4	0,14

P3 (Próxímo ao Hobby Clube)

Camada (cm)	C%	SiO ₂ %	C% / SiO ₂ %
0 - 2	13,98	57	0,25
2 - 4	12,35	64,6	0,19
4 - 6	12,96	56,6	0,23
6 - 8	11,54	66,6	0,17
8 - 10	11,84	62	0,19
10 - 12	12,96	63,8	0,20

TABELA - 10: Taxa de Sedimentação da Sílica - (Armadilha de Sedimento)

ABRIL					
Local de Coleta	Sed. Colet. (mg)	Sílica (mg)		Sílica (g/m ² /dia)	Sílica (g/m ² /ano)
		(na armadilha)	Sílica (%)		
Barragem	19,2	8,4	68,29	2,06	751,10
Cór. Perdizes	31,4	14,8	47,13	3,63	1323,27
Hobby Clube	21,9	10,7	48,86	2,62	956,76
<i>*A amostragem para este mês foi realizada em um período de 48 horas</i>					Média
					1010,41
JUNHO					
Local de Coleta	Sed. Colet. (mg)	Sílica		Sílica (g/m ² /dia)	Sílica (g/m ² /ano)
		(na armadilha) (mg)	Sílica (%)		
Barragem	5,7	5,5	96,49	2,69	983,59
Cór. Perdizes	1	-	-	-	-
Hobby Clube	5,7	3,1	54,38	1,52	554,39
Média					768,99
SETEMBRO					
Local de Coleta	Sed. Colet. (mg)	Sílica		Sílica (g/m ² /dia)	Sílica (g/m ² /ano)
		(na armadilha) (mg)	Sílica (%)		
Barragem	1,5	0	0	-	-
Cór. Perdizes	2,9	2,7	93	1,32	482,85
Hobby Clube	2,5	1,7	68	0,89	304,02
Média					393,43

Taxa de Sedimentação de Sílica (TsSiO₂) : **724,28g.m⁻².ano⁻¹**

Taxa de Sedimentação de Sílica (TsSiO₂) : **0,724 kg.m⁻².ano⁻¹**

Taxa de Sedimentação de Sílica (TsSiO₂), para a represa toda (6,8 km²) : **4.896.000 kg.ano⁻¹**

4.896 toneladas.ano⁻¹

TABELA - 11: Concentração de C e SiO₂ no Sedimento Permanente e suas Taxas de Sedimentação.

OBS. Valor médio percentual de carbono para o ano (C%) : **14,49 %** (Tabela. 7)

C%	SiO ₂ %	TsSiO ₂ (kg.m ⁻² .ano ⁻¹)	TsC (g.m ⁻² .ano ⁻¹)	TsC (mg.m ⁻² .ano ⁻¹)	TsC p/ represa (ton/ano)
14,49	60,46	0,72	172,56	472,76	1173,39

A taxa de sedimentação de carbono TsC foi calculada a partir da equação:

$$TsC = \frac{C\% \cdot TsSiO_2}{SiO_2\%}$$

5.5 - Interface atmosfera/água

DUCHEMIN & LUCOTTE (1995), determinaram, durante dois anos, a taxa de emissão de gases (não fizeram distinção entre gases emitidos na forma de bolhas ou gases emitidos por difusão), em reservatórios do Canadá, e encontraram os valores de 5 à 10 mg.m⁻².d⁻¹, para o CH₄ e 500 à 1100 mg.m⁻².d⁻¹ para o CO₂. Em nosso trabalho, podemos verificar pela TABELA 12 valores da taxa de emissão para o gás metano dentro de uma faixa de 0,48 à 12,12mg.m⁻².d⁻¹ e para o gás CO₂ dentro de uma extensa faixa de 169,33 à 4638,66 mg.Cm⁻².d⁻¹. No entanto em nosso trabalho pudemos verificar que o reservatório tem absorvido gás CO₂ e metano. A taxa de absorção do gás CO₂ está dentro de um faixa de 25,07 à 7066,51 mg.Cm⁻².d⁻¹. A taxa de absorção do gás

metano não foi expressiva, por outro lado, a entrada de carbono para a represa, na forma de CO_2 , foi de $224,50 \text{ tCa}^{-1}$ ($90,45 \text{ mg.Cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (valor obtido na TABELA 13) que representa 24,05% do total das entradas (TABELA 16).

TABELA - 12: Concentrações; parâmetros k , A e C da equação de equilíbrio ($y = C + A.\exp^{-kt}$), para o gás carbononico e metano; a taxa de troca dy/dt calculada no instante inicial; e o fluxo Q de carbono em mg m^2 por dia.

CO₂

Macrófitas

17:00h

Tempo	ppm				
0	528,59				
3	457,83	($\Delta y/\Delta t$)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)		
6	383,84			-23,59	-1.374,73
12	535,48				

00:00h

Tempo	ppm										
0	654,02										
3	681,09	k	A	C	(dy/dt)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)					
6	614,96						0,119	76,65	577,37	-9,10	-530,36
12	595,81										

06:00h

Tempo	ppm
0	594,09
3	825,90
6	794,58
12	819,47

k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
0,348	-228,91	823,00	79,60	4.638,66

16:00h

Tempo	ppm
0	651,78
3	566,45
6	604,24
12	467,35

(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
-28,45	-1.657,70

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

268,97

Hobby

17:00h

Tempo	ppm
0	605,62
3	548,95
6	588,18
12	474,86

(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
-18,89	-1.100,67

00:00h

Tempo	ppm
0	733,56
3	667,32
6	540,87
12	655,22

(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
-22,08	-1.286,72

06:00h

Tempo	ppm		
0	589,21		
3	650,06	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	588,30	20,28	1.182,00
12	622,59		

16:00h

Tempo	ppm					
0	736,95					
3	575,39	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	551,76	0,641	189,23	547,72	-121,26	-7.066,51
12	499,98					

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

-3.151,30

Perdizes

17:00h

Tempo	ppm		
0	583,82		
3	657,75	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	262,15	-53,61	-3.124,33
12	508,12		

00:00h

Tempo	ppm		
0	610,66		
3	650,06	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	630,96	13,13	765,35
12	715,61		

06:00h

Tempo	ppm		
0	589,21		
3	650,06	$(\Delta y/\Delta t)$	$Q \text{ (mg.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{)}$
6	588,30		
12	622,59		

16:00h

Tempo	ppm					
0	531,41					
3	570,23	k	A	C	(dy/dt)	$Q \text{ (mg.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{)}$
6	594,78					
12	552,65					

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

852,82

Barragem

17:00h

Tempo	ppm					
0	619,72					
3	516,38	k	A	C	(dy/dt)	$Q \text{ (mg.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{)}$
6	480,02					
12	525,15					

00:00h

Tempo	ppm		
0	660,61		
3	669,33	$(\Delta y/\Delta t)$	$Q \text{ (mg.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{)}$
6	684,19		
12	646,56		

06:00h

Tempo	ppm					
0	684,24					
3	726,91	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	728,17	1,174	-43,97	728,21	51,60	3.007,30
12	742,80					

16:00h

Tempo	ppm					
0	570,52					
3	591,97	(Δy/Δt)				Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	567,94	-0,43				-25,07
12	502,10					

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

-20,94

METANO

Macrófitas

17:00h

Tempo	ppm					
0	1,28					
3	2,07	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	2,67	0,096	-3,18	4,46	0,30	6,43
12	3,57					

00:00h

Tempo	ppm					
0	1,47					
3	2,01	(Δy/Δt)				Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	2,70	0,18				3,77
12	2,56					

6:00h

Tempo	ppm					
0	1,45					
3	2,91	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	3,96	0,110	-5,18	6,63	0,57	12,12
12	5,25					

16:00h

Tempo	ppm		
0	1,57		
3	1,79	(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	2,04	0,07	1,51
12	2,95		

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

5,96

Hobby

17:00h

Tempo	ppm		
0	1,26		
3	1,59	(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,71	0,11	2,32
12	1,91		

00:00h

Tempo	ppm		
0	1,21		
3	1,34	(Δy/Δt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,64	0,045	0,95
12	2,11		

6:00h

Tempo	ppm		
0	1,08		
3	1,57	($\Delta y/\Delta t$)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
6	1,54	0,16	3,44
12	1,24		

16:00h

Tempo	ppm		
0	1,19		
3	1,34	($\Delta y/\Delta t$)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
6	1,53	0,05	1,09
12	1,77		

MÉDIA ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

1,95

Perdizes

17:00h

Tempo	ppm		
0	1,03		
3	1,21	($\Delta y/\Delta t$)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
6	1,43	0,06	1,26
12	1,47		

00:00h

Tempo	ppm	k	A	C	(dy/dt)	Q ($\text{mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
0	1,17					
3	1,45					
6	1,39	1,401	-0,28	1,45	0,40	8,40
12	1,45					

6:00h

Tempo	ppm		
0	1,01		
3	1,57	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,54	0,19	3,93
12	1,24		

16:00h

Tempo	ppm		
0	1,15		
3	1,15	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,33	0,03	0,65
12	1,33		

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

3,43

Barragem

17:00h

Tempo	ppm					
0	2,38					
3	1,90	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,58	0,129	1,49	0,89	-0,19	-4,07
12	1,67					

00:00h

Tempo	ppm		
0	1,12		
3	1,19	($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
6	1,36	0,02	0,48
12	1,43		

6:00h						
Tempo	ppm				($\Delta y/\Delta t$)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
0	1,05					
3	1,18					
6	1,46				0,04	0,89
12	1,61					

16:00h						
Tempo	ppm	k	A	C	(dy/dt)	Q (mg.m ⁻² .d ⁻¹)
0	1,41					
3	1,38					
6	1,37	0,371	0,048	1,36	-0,018	-0,37
12	1,25					

MÉDIA (mg.m⁻².d⁻¹)

-0,77

TABELA -13: Taxa de carbono transportado através de gases, coletados nos ambientes: macrófitas (10% da represa), perdizes e barragem (90% da represa), durante 24 horas.

PI/ CO2

17:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuida	
macrófita	-1.374,73	-137,47	
hobby	-1.100,67	-990,60	
perdizes	-3124,33	-2811,90	
barragem	-3235,34	-2911,81	
			Soma das parcelas
			-2.375,58

00:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuída	
macrófita	-530,36	-53,04	
hobby	-1.286,72	-1.158,05	
perdizes	765,35	688,82	Soma das parcelas
barragem	169,33	152,40	-158,65

06:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuída	
macrófita	4638,66	463,87	
hobby	1182,00	1063,80	
perdizes	1.200,07	1.080,06	Soma das parcelas
barragem	3007,30	2706,57	2.080,68

16:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuída	
macrófita	-1.657,70	-165,77	
hobby	-7066,51	-6359,86	
perdizes	940,30	846,27	Soma das parcelas
barragem	-25,07	-22,56	-2.011,16

Carbono que entra na represa em forma de Gás CO₂ em mg.m⁻².d⁻¹
90,45

Carbono que entra na represa em forma de Gás CO₂ em g.m⁻².a⁻¹
33,01

Carbono que entra na represa em forma de Gás CO₂ em kg. a⁻¹ para a represa toda (6,8 Km²)
224.496,90

224,50 Toneladas/ano

Metano**17:00**

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuida	
macrófita	6,43	0,64	
hobby	2,32	2,09	
perdizes	1,26	1,13	Média
barragem	-4,07	-3,66	0,50

00:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuida	
macrófita	3,77	0,38	
hobby	0,95	0,86	
perdizes	8,40	7,56	Média
barragem	0,48	0,43	3,32

06:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuida	
macrófita	12,12	1,21	
hobby	3,44	3,10	
perdizes	3,93	3,54	Média
barragem	0,89	0,80	3,69

16:00

Sítio	Taxa (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	Parcela Contribuida	
macrófita	1,51	0,15	
hobby	1,09	0,98	
perdizes	0,65	0,58	Média
barragem	-0,37	-0,34	0,56

Carbono que sai da represa em forma de Gás CH₄ em mg.m⁻².d⁻¹**2,51**

Carbono que sai da represa em forma de Gás CH₄ em g.m⁻².a⁻¹
0,92

Carbono que sai da represa em forma de Gás CH₄ em kg. a⁻¹ para a
 represa toda (6,8 Km²)
6.242,22

6,24 Toneladas/ano

TABELA – 14: Balanço da troca gasosa na interface água/ar da represa, em toneladas por ano.

Entrada	Saída	Balanço
224.50	6,24	218,26

TABELA –15: Carga de carbono transportado através de bolhas, coletadas nos ambientes: Macrófitas (10% da represa), Perdizes e Barragem (90% da represa) – Dados de 94/95.

P/CH₄

Data	Barragem	Perdizes	(x 90%)	Macrófitas	(x 10%)	MÉDIA	mg C.m ⁻² .d ⁻¹
05/Out	27,20	20,20	21,33	34,50	3,45	24,78	18,59
24/Nov	60,80	0	27,36	4,30	0,43	27,79	20,84
13/Dez	67,50	38,20	47,57	184,00	18,40	65,97	49,47
19/Jan	54,20	28,04	37,01	208,70	20,87	57,88	43,41
20/Fev	10,22	0,88	5,00	200,80	20,08	25,08	18,81
20/Mar	0,00	8,66	3,90	20,60	2,06	5,96	4,47
26/Abr	6,00	4,09	4,54	20,40	2,04	6,58	4,94
06/Jun	0,88	3,90	2,15	49,40	4,94	7,09	5,32
27/Jun	0,17	0,02	0,08	0	0,00	0,08	0,06
13/Jul	10,70	0,70	5,13	7,34	0,73	5,86	4,40
16/Ago	0	0,59	0,27	0,73	0,07	0,34	0,25

14/Set	17,50	16,30	15,21	73,00	7,30	22,51	16,88
19/Out	0	0,05	0,02	1,56	0,16	0,18	0,13
23/Nov	8,00	26,40	15,48	264,00	26,40	41,88	31,41

MÉDIA

15,64

Desv. Pad.

16,18

Quantidade C que sai da represa, na forma de bolha (gás CH₄), em mg.m⁻².d⁻¹

15,64

Quantidade de C que sai da represa, na forma de bolha (gás CH₄), em g.m⁻².a⁻¹

5,70

Quantidade de C que sai da represa, na forma de bolha (gás CH₄), em kg. a⁻¹, para a represa toda (6,8Km²):

38.821,74**38,82 Toneladas/ano****P/CO₂**

Data	Barragem	Perdizes	(x 90%)	Macrófitas	(x 10%)	P+B+M	mg C.m ⁻² .d ⁻¹
05/Out	0	0	0	0	0	0	0
24/Nov	0	0	0	0	0	0	0
13/Dez	0	0	0	2,70	0,27	0,27	0,07
19/Jan	4,60	5,11	8,74	31,00	3,10	11,84	3,23
20/Fev	0,19	0,10	0,26	0,21	0,02	0,28	0,08
20/Mar	0	0,17	0,15	2,36	0,24	0,39	0,11
26/Abr	0,04	0,00	0,04	0,12	0,01	0,05	0,01
06/Jun	0,01	0,08	0,08	3,40	0,34	0,42	0,11
27/Jun	0	0	0	0	0	0	0
13/Jul	0	0	0	0	0	0	0
16/Ago	0,06	0,08	0,13	0,04	0,004	0,13	0,04
14/Set	0,09	0,06	0,13	1,90	0,19	0,32	0,09

19/Out	0	0,13	0,12	0,09	0,01	0,13	0,03
23/Nov	0,48	1,50	1,78	33,30	3,33	5,11	1,39

MÉDIA

0,37

Desv. Pad.

0,90

Quantidade de C que sai da represa, na forma de bolha (gás CO₂), em mg.m⁻².d⁻¹

0,37

Quantidade de C que sai da represa, na forma de bolha (gás CO₂), em g.m⁻².a⁻¹

0,13

Quantidade de C que sai da represa, na forma de bolha (gás CO₂), em kg. a⁻¹, para a represa toda (6,8Km²):

915,38**0,92 Toneladas/ano**

Quantidade de carbono que sai da represa na forma de bolha durante um ano

39,74 Toneladas

TABELA - 16: Balanço do carbono para a represa no período de um ano.

<i>Unid. de medida</i>	Afluentes	Efluente	Lençol	Sedimento	Gases (Entrada)	Gases (Saída)	Bolhas	Macrófitas
Ton.ano ⁻¹	186,06	305,63	162,23	1.173,39	224,50	6,24	39,74	360,74
g.m ⁻² .a ⁻¹	27,36	44,95	23,86	172,56	33,01	0,92	5,84	53,05
mg.m ⁻² .d ⁻¹	74,96	123,14	65,36	472,76	90,45	2,51	16,01	145,34
%	19,93	20,04	17,38	76,94	24,05	0,41	2,61	38,64

<i>Unid. de medida</i>	Entrada	Saída	BALANÇO
Ton.ano ⁻¹	933,53	1.525,00	-591,47
g.m ⁻² .a ⁻¹	137,28	224,26	-86,98
mg.m ⁻² .d ⁻¹	376,12	614,42	-238,30

6 - COMENTÁRIOS e CONCLUSÕES

◆ No sistema em estudo, se todas as entradas e saídas tivessem sido quantificadas sem erro, e se a hipótese da constância do conteúdo da caixa preta fosse verdadeira o balanço teria sido nulo. Ao se constatar um balanço negativo, calculado como entradas menos saídas, o valor sendo -591 t.ano^{-1} (ou $-238 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) conclui-se que há um erro neste balanço sendo que, ou ocorreu insuficiência na estimativa de entrada ou ocorreu excesso na quantidade atribuída à saída. Uma explicação é que as estimativas das diversas parcelas englobavam erros que não se cancelaram, mas que, pelo contrário, se manifestaram no resultado final. Se assumirmos um cancelamento de erros para deixar resíduo menor que 39% e se procurarmos um desvio sistemático, então a taxa de sedimentação determinada se destaca como alvo para exame. Sendo um resultado de um método ainda não comprovado, e por isto aberto a crítica, é possível que a ressuspensão do sedimento seja parcela importante e que se ela não for quantificada, como não foi, resultaria uma superestimativa na taxa de sedimentação da sílica e sua consequente superestimativa da taxa de fossilização do carbono. Sob outro enfoque se o defeito do balanço de $-238 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ for inteiramente atribuído à ressuspensão então a ressuspensão seria da ordem de 50% da sedimentação total, ou seja, apenas 50% da sílica contida na armadilha seria da primeira sedimentação, sendo que o restante já teria sedimentado

uma vez, no entanto, devido a ressuspensão, estaria sendo recapturado pela armadilha de sedimentação.

- ◆ A maior quantidade de entrada de carbono para o reservatório provém das macrófitas com $53,05 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($145,34 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando 38,64% de toda entrada de carbono. Enquanto a menor quantidade de entrada de carbono para o reservatório provém do lençol freático $23,86 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($65,36 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) 17,38%.
- ◆ A maior quantidade de saída de carbono do reservatório foi através do sedimento com $172,56 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($472,76 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) representando 77% de toda saída de carbono. Enquanto que a menor saída de carbono do reservatório foi pelos gases que saem por difusão, através da interface atmosfera/água com $0,92 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ($2,51 \text{ mg.C.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) 0,41%.
- ◆ Dentro desta seção gostaríamos ainda de levantar algumas observações que pudemos concluir ao longo de nosso trabalho e que deveriam ser acatadas na realização de futuros balanços.
 - Em primeiro lugar, escolher para cada compartimento, o qual se é relevante quantificar, qual a estatística mais conveniente para tratamento dos dados, sendo que esta se incumbirá de solicitar a quantidade de amostra, a ser coletada, necessária para obter-se resultados confiáveis.
 - Avaliar em todos os compartimentos, qual é a viabilidade de serem efetuadas as coletas periodicamente, sendo que os períodos devem ser considerados de acordo com a variação temporal que ocorre em cada compartimento (por exemplo a variação da vazão de um rio) caso não

haja essa viabilidade, os dados serão muito prejudicados e não descreverão a realidade.

- As análises das amostras devem ser efetuadas imediatamente após suas coletas, pois, além de garantir a não influência de efeitos externos (como perda de carbono inorgânico em amostras de água, etc) esta postura garante a possibilidade de novas coletas dentro do mesmo período caso ocorra algum problema, como contaminação por exemplo.

- Verificar se todos os equipamentos, tanto para coletas como para análise estão disponíveis durante o período em que se pretende efetuar o balanço. Pois, se alguns dos dados num dado período for impossibilitado de ser obtido, em se tratando de balanço, com certeza este ficará muito prejudicado, não descrevendo a realidade (imagine um balanço anual doméstico onde um dos meses não é computado!).

- Sobre as unidades de medida de concentração de gases cabe o seguinte comentário: na presente dissertação usamos partes por milhão em volume (ppm), porque esta unidade de medida representa a molaridade muito conveniente aos cálculos quantitativos para gases. No entanto a recomendação da ABNT é de não usar ppm, mas sim, mg.L^{-1} . Acreditamos tratar-se de um lapso por parte dessa associação que provavelmente o corrigirá no futuro.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 14ed. Washington, 1989.

APPLEBY, P.G. *et al.* ^{210}Pb dating by low background gamma counting. In: LÖFFLER, H. *Developments in Hydrobiology 37 : Paleolimnology IV*, Boston, Dr W. Junk Publishers, 1987.

CAHILL R.A.; STEELE J.D. ^{137}Cs as a tracer of recent sedimentary processes in Lake Michigan. In: LÖFFLER, H. *Developments in Hydrobiology 37: Paleolimnology IV*, Boston, Dr W. Junk Publishers, 1987.

CALIJURI, M.C – *Curvas de luz - Fotossíntese e fatores ecológicos em ecossistema artificial e não estratificado – Represa do Broa (Lobo) - São Carlos – SP*. São Carlos, UFSCar. 280p Dissertação de Mestrado, 1985.

CEDERSTROM, D.J. *Água subterrânea - uma introdução*. Centro de Pub. Técnicas da Aliança – USAID, Rio de Janeiro, 1964.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

(CETESB). *Água subterrânea e poços tubulares*. Cetesb, São Paulo, 1974. Cap. 3, p.37-54.

CHALAR, M.G. *Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos (Reservatório do Broa e Barra Bonita)* U.S.P. Tese de Doutorado, 1997.

CÓ, L.M. *Distribuição de Oligochaeta na repesa do Lobo (Estado de São Paulo, Brasil)*. São Carlos, UFSCar, Dissertação de Mestrado, 1979.

DUCHEMIN, E. *et al.* *Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of boreal region*. *Global Biogeochemical Cycles*, v.9 n.4 p529-540, 1995.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência/Finep, 1988.

GASH, J.N.C. ; NOBRE, C.A. ; ROBERTS, J.M. and VICTÓRIA R.L., Editors *Amazonian Deforestation and Climate*. Ed. John Wiley & Sons São Paulo, 1996.

GRIFFIN, J. J. & GOLDBERG, E. D. *Morphologies and origin of elemental carbon in the environmental*. *Science* 206:563-565, 1979.

GOLDBERG, E.D. *et al.* *Impact of fossil fuel combustion on the sediments of Lake Michigan*. *Envir. Sci. Technol.* 15: 466-471, 1981.

GOLTERMAN, H.L.; CHYNO, R. S.; OHNSTAD, M.A.N. *Methods for*

physical and chemical analysis of fresh waters. (IBP,8), Blackweel Scientific. 213p, 1978.

HARE, F.K.ed. *Carbon dioxide and Environment.* MARINI, G.B. In: *Chemical Events in the Atmosphere and their Impact on the Environment*, New York, Elsevier Science Publishres, p. 429 – 434, 1986.

HUTCHINSON, G.E. *A treatease on limnology: chemistry of lakes.* New York, John Viley, 1975. Cap.10, Cap. 14.

JAKSON, M.L. – *Soil chemical analysis* - Prentice Hall Inc, 1958.

MACARENKO, F. V.– *Estimativa da fixação de nitrogênio na Represa do Lobo através de um balanço de nitrogênio*, USP –Disertação de Mestrado, 1998.

MARINS, M.A - *Ecologia da alga Melosira Itálica (Ehr) Kuttz: Represa do Lobo, Estado de São Paulo – Brasil.* U.S.P. Tese de Doutorado, 1975.

MATVIENKO, B. *et al.* Congresso Sil 98 em Dublin-IR.1998

MATVIENKO, E. & TUNDISI, J.G. *Gas release by a man-made tropical lake*; In *Annals of International Simposium : Perspectives fr Environmental Geochemistry in Tropical Countries*, Niterói-Brazil; 1993.

MENEZES, C.F.S. *Biomassa e Produção Primária de Três Espécies de Macrófitas Aquáticas da Represa do Lobo (Broa), SP.* U.S.P. Dissertação de Mestrado, 1984.

MIRANDA, S. *Entradas não fluviais de nitrogênio e fósforo na represa do ribeirão do Lobo.* U.S.P São Carlos, Tese de Doutorado, 1997.

RENNBERG, I. & WIK, M. *Carbonaceous particles in lake sediments-pollutants from fossil fuel combustion.* *Ambio* 14: 161-163, 1985.

RITCHIE, J.C. *Carbon content of sediments of small reservoirs.* *Water Resources Bulletin.* 25: 301-308, 1989.

ROCHA, O. & TUNDISI, T.M. *Biomass and production of *Argyrodiaptomus furcatus*, a tropical calanoid copepod in Broa reservoir, southern Brazil.* *Hydrobiologia* 113: 307-311, 1984

ROSE, N. *Characterization of carbonaceous particles from lake sediments.* *Hydrobiologia* 274:127-132, 1994.

SONDERGAARD, M. & JENSEN, L.M. *Phytoplankton* In: Carbon dynamics in eutrophic, temperate lakes. Riemann, B. & Sondergaard, M. Eds. Elsevier NY, Cap 3.p.27-126.

TRINDADE, M. - *Nutrientes em sedimentos da Represa do Lobo (Brotas – Itirapina, SP.)* São Carlos, UFSCar. (219p.) Dissertação de mestrado, 1980.

TUNDISI, J.G. *Produção primária, "Standing-stock", fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustres artificial (Represa do Broa) São Carlos.* Ribeirão Preto, USP. Tese de Livre Docência, 1977.

TUNDISI, J.G.; *et al.* *Estudos ecológicos na represa do Broa II (Progress Report).* São Carlos, UFSCar, 1972.

TUNDISI, T.M.; RIETZLER A. C. & TUNDISI, J. G. *Biomass (dry weight and carbon content) of plankton crustacea from Broa reservoir (São Carlos, SP.- Brasil) and its fluctuation across one year.* *Hydrobiologia.* 179: 229-236, 1989.

VESELING, P.A. *et al.* *Environmental Engeneering.* 3ed. Boston. 1994

WETZEL, R.G. *Limnology.* W.B. Saunders College Publishing. Philadelphia, PA, 1983.

WETZEL, R.G. *Detritus, macrophytes and nutrient cycling in lakes.* *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia "Dott Marco De Marchi" - BERNARDI, R.; GIUSSANI, G. E BARBANTI, L. Eds. - Pallanza v. 47 p. 232-249. 1990.*

WETZEL, R. G. & RICH,P.H. *Carbon in freshwater systems.* In: WOODWELL, G. M. & PECAN, E. V. (Eds.) **Carbon and the biosphere.** Proc. 24 th. Brookhaven Symposium in Biology. U. S. Atomic Energy Commission Symposium. Ser. CONF - 720510. Nat. Technical Inform. Service, Springfiels, Virginia, p. 241 – 262, 1973.

WIK, M.; RENBERG, I.; DARLEY, J. *Sedimentary records of carbonaceous particles from fossil fuel combustion*. In: LÖFFLER, H. *Developments in Hydrobiology 37: Paleolimnology IV*, Boston, Dr W. Junk Publishers, 1987

OBRAS CONSULTADAS:

CLARK R. L. *Pollen as a chronometer and sediment tracer, Burrinjuck Reservoir, Australia*. In: LÖFFLER, H. *Developments in Hidrobiologia 37: Paleolimnology IV*, Boston, Dr W. Junk Publishers, 1987

HELENE, M.E.M. *et al. Poluentes Atmosféricos*. Editora Scipione- São Paulo, 1994.

MORI, S. *Diatom succession in a core from Lake Biwa*. In: HORIE, S. *Paleolimnology of Lake Biwa and The Japanese Pleistocene*, Springfield, s.ed., 1974.

NUSSENZVEIG, H.M. *Curso de Física Básica-vol. 2*; Edgar Blücher Ed. -SãoPaulo, 1981.

STTUM, W. & MORGAN, J. J. *Aquatic Chemistry*. John Wiley & Sons Inc., New York-NY, Chap.4, Chap. 8, 1981.

ANEXO - A

P/ N. Indica		4,1% da área da represa.													
	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Limbo	40,8	42,5	33,4	23,3	28,2	18,7	28,4	12	12,4	24,7	24,1	22	20,2	23,6	12,1
Peciolo	145,7	179,8	136,7	97,6	118,5	137,4	145,6	14,9	10,2	10,7	18,5	39,9	50,3	60,4	79
Flor	12,5	19,3	3,9	0,7	1,8	0,1	0,6	0,1	0,1	0,4	0,3	2,7	2,3	1,8	4,4
Rizoma	41,2	11,6	20,4	27,9	21,1	17,5	35,1	25,8	25,8	26,1	47,3	24,3	12,1	10,6	23,6
Raíz	82,1	40,7	98,5	40,9	36,5	30	102,5	46,2	75,1	89,5	115,1	45,7	16,1	24,2	21,4
Aérea	199	241,6	174	121,6	148,5	156,2	174,6	27	22,7	35,8	42,9	64,6	72,8	85,8	95,5
Subter.	123,3	52,3	118,9	68,8	57,6	47,5	137,6	72	100,9	115,6	162,4	70	28,2	34,8	45
Soma	322,3	293,9	292,9	190,4	206,1	203,7	312,2	99	123,6	151,4	205,3	134,6	101	120,6	140,5
%Subter.	38,26	17,8	40,59	36,13	27,95	23,32	44,07	72,73	81,63	76,35	79,1	52,01	27,92	28,86	32,03
Média %	45,25														
$367,64 \times 0,041 =$		15,07 g/m ² .ano													
$15,07 \times 0,45 =$		6,78 então: $15,07 - 6,78 =$ 8,29 g/m².ano													
P/P.Cordata		0,5% da área da represa													
	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Limbo	165	104,8	128,1	106,7	85,2	81,9	89	7,3	34,7	54,9	47,1	62,7	53,6	92,3	81
Peciolo	401,4	206	430,1	202	207,5	192,5	171,3	37,7	83,8	88	89,9	125,7	157	242,2	221,4
Flor	6,6	6,4	16,5	0,5	1				1	1,6	4,4	24,4	2,2	7,2	2,8
Rizoma	286,6	342	414,3	218,4	138,7	162,4	173	138,7	102,7	201,7	128,8	196,5	125,2	100	97,8
Raíz	495,8	841,6	832,6	545,8	580,1	198,2	461,8	631,2	160,5	138,1	98,5	185,7	155,2	166,8	196,4
Aérea	573	317,2	574,7	309,2	293,7	274,4	260,3	45	119,5	144,5	141,4	212,8	212,8	341,7	305,2
Subter.	782,4	1183,6	1246,9	764,2	718,8	360,6	634,8	769,9	263,2	339,8	227,3	382,2	280,4	266,8	294,2
Soma	1355,4	1500,8	1821,6	1073,4	1012,5	635	895,1	814,9	382,7	484,3	368,7	595	493,2	608,5	599,4
%Subter.	57,72	78,86	68,45	71,19	70,99	56,79	70,92	94,48	68,77	70,16	61,65	64,24	56,85	43,85	49,08
Média %	65,60														
$367,64 \times 0,005 =$		1,84 g/m ² .ano													
$1,84 \times 0,65 =$		1,19 então: $1,84 - 1,19 =$ 0,64 g/m².ano													
P/ as Demais Macrófitas		11,8% da área da represa													
$367,64 \times 0,12 =$		44,12 g/m².ano													
Somando todas as entradas de C devido as macrófitas obtemos:		53,05 g/m².ano													
Dados obtidos de MENEZES, 1984															

ANEXO - B

p/ **N. Indica** - (4,1% da área do reservatório)

i) $367,64 \times 0,041 = 15,07 \text{ gCm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ contribuição da planta na produtividade total

ii e iii) valores tomados para os meses apresentados no Apêndice A, a partir de Fev, Mar e Abr consecutivamente:

Aérea=199 unidades de biomassa ; Subterrânea=123,3 unidades de biomassa
Total=322,3 ; %Subt.=38,26%

Aérea=242 unidades de biomassa ; Subterrânea= 52,3 unidades de biomassa
Total=293,9 ; %Subt.=17,8%

Aérea=199 unidades de biomassa ; Subterrânea=118,9 unidades de biomassa
Total=292,9 ; %Subt.=40,59%

Aérea = . . . (dados restantes apresentados no Apêndice A)

Média %Subt. = $38,26 + 17,8 + 40,59 + \dots + 32,03 / 15 = 45,25\%$

iiii) $(15,07 \times 0,45) = 6,78 \text{ gCm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ carbono que sai para o sedimento

então $15,07 - 6,78 = 8,29 \text{ gCm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ carbono que entram no reservatório devido a macrófita *N. Indica*.



ANEXO - C**% Médio de C.I.Aflu.****41,15****% Médio de C.I.Eflu.****32,29****0,41 x 74,96 mg/m².d****30,73****0,32 x 123,14 mg/m².d****39,40****30,73 - 39,40****-8,67****36,60-8,67****27,93**

Obs : O valor de 36,60 mgC/m².d, equivale ao fluxo de C devido ao lençol freático.

C.gasoso+Cdissolv.(90,45+27,93)**118,38 mgC/m².d**

Obs : O valor de 90,45 mgC/m².d, equivale ao fluxo de C devido a entrada de gases.