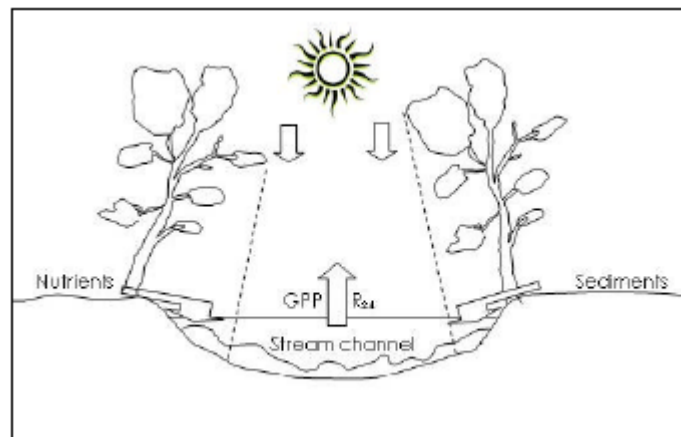


Capítulo 03

Impacto do nitrogênio e do fósforo em lagos e córregos



Capítulo 03-Impacto do nitrogênio e fósforo em lagos e córregos

3.1 Introdução

Vamos expor sucintamente o impacto do fósforo e do nitrogênio em lagos e rios. As cargas de fósforo e nitrogênio, por exemplo, podem ser estimadas em um lago, pois são levadas pelo escoamento superficial das chuvas e das águas subterrâneas.

Apresentaremos ainda o **método Simples de Schueler** que é muito usado em poluição difusa devido a sua simplicidade.

3.2 Impacto do nitrogênio

É o problema III do Azevedo Neto conforme Tabela (5.1) do Capítulo 5 que consiste em determinar a população máxima cujos efluentes podem despejar no curso de água.

O impacto do nitrogênio numa determinada área é muito importante. Na Baía de Buttermilk em Massachusetts, Estados Unidos com área de 212ha foi determinado por uma comissão em 1990, que a taxa de nitrogênio anual não poderia passar de 52.490kg/ano, pois adotada a taxa máxima de 0,24mg/L de nitrogênio para que fosse diminuída a quantidade de algas na região.

$$\text{Volume de água de recarga} = 218.709.000\text{m}^3/\text{ano}$$

$$0,24\text{mg}/\text{m}^3 \times 218.709.000\text{m}^3/\text{ano} / 1000 = \mathbf{52.490\text{kg}}$$

Para estimativa assumimos que o efluente tratado de esgotos sanitários tenha 40mg/L de nitrogênio e que a cota per capita seja de 208 litros/dia x habitante. Na prática o nitrogênio varia de 25mg/L a 45mg/L.

Sistemas mecanizados de tratamento de esgoto sanitário conforme EPA, 2002 poderão obter concentrações baixas de nitrogênio de 10mg/L a 25mg/L.

Qualquer construção que seja feita na região os efluentes não poderão ultrapassar a carga anual de nitrogênio de 52.490kg/ano.

Na Tabela (3.1) está uma aplicação prática do assunto:

Tabela 3.1- Cargas de nitrogênio na Baía de Buttermilk, Massachusetts

Ordem	Fonte do nitrogênio	Unidade	Padrão Mass.	Quantidade	(kg/ano) Col 4 x col 5	(%)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
1	Tanque séptico e vala de infiltração 40mg/L	kg N/pessoa x ano 208 litros/dia x hab 40 x 208 x 365/1.000.000	3,02 kg/pessoa/ano	8708 hab	26.298	70,68
2	Fertilizante no gramado	kg N/ha x ano	46,00kg/ha	128 ha	5.888	15,82
3	Atmosfera 0,3mg/L	kg N/ha x ano	3,41 kg/ha	212 ha	723	1,94
4	Runoff no pavimento 2,0mg/L	kg N/ha x ano	21,00kg/ha	40ha	840	2,26
5	Runoff no telhado 0,75mg/L	kg N/ha x ano	7,50 kg/ha	40ha	300	0,81
6	Fertilizante em árvores pequenas	kg N/ha x ano	790kg/ha	4ha	3.160	8,49
				Total (kg N/ano)=	37.209	100,00

Fonte: USEPA, 2002

Coluna 1: ordem

Coluna 2: fonte do nitrogênio: tanque séptico e vala de infiltração, gramado, chuvas, runoff no pavimento e runoff no telhado e fertilizantes de pequenas árvores.

Coluna 3: unidade. Geralmente kg de nitrogênio /ha x ano.

Para os tanques sépticos e vala de infiltração consideramos 208 litros/habitante x dia e considerando que cada pessoa contribuirá com 40mg/L de nitrogênio teremos:

$$40\text{mg}/\text{L} \times 208 \text{ L}/\text{dia} \times \text{pessoa} \times 365 \text{ dias} / 1000.000 = 3,04$$

Coluna 4: Padrão em kg/ha usado em Massachusetts.

Coluna 5: é a quantidade de pessoas, ou seja, 8708hab ou o número de hectares estimados.

Coluna 6: é a multiplicação da coluna 4 pela coluna 5 fornecendo o total de nitrogênio em kg por ano.

Coluna 7: é a porcentagem de contribuição de cada fonte, observando-se que os tanques sépticos com vala de infiltração contribui com 70,68%do nitrogênio anual. A segunda parcela é dos fertilizantes usados nos gramados.

Uma das dificuldades para se avaliar o impacto do nitrogênio é determinar com precisão a recarga anual de água subterrânea.

Geralmente não se admite mais de 10mg/L de nitrato devido a doença azul de bebês que é a methemoglobinemia. É a redução da habilidade do sangue de carregar oxigênio e causa problemas na gravidez.

3.3 Balanço de massa

O balanço de massa do nitrogênio ou de outro poluente fornecem a concentração do poluente na água subterrânea e na água superficial conforme Usepa, 2002.

O balanço de massa é o quociente entre a carga anual em gramas e o volume anual de recarga em metros cúbicos.

Carga do poluente mg/L= carga anual em gramas/ volume anual de recarga metros cúbicos

Para a Tabela (3.1) temos:

$$\text{Carga do poluente} = 37.209\text{kg} \times 1000\text{g} / 218.709.000\text{m}^3 = 0,17\text{mg/L} < 0,24\text{mg/L OK}$$

Na prática o volume de recarga não é um dado fácil de se achar.

3.4 Impacto do fósforo

A Tabela (3.2) fornece a quantidade de fósforo por kg/haxano e por ano de vários tipos de áreas, como áreas urbanas, florestas, precipitações e áreas rurais.

Existe a influência do tipo de solo e das declividades. Assim partículas mais finas e terrenos com maiores declividades terão maior aporte de fósforo.

Tabela 3.2-Estimativas de exportação de fósforo de acordo com varios tipos de áreas

Fonte de fósforo	Fósforo		
	kg/haxano		
	Alto	Médio	Baixo
Área urbana	5,0	0,8 a 3,0	0,5
Área rural ou agrícola	3,0	0,4 a 1,7	0,1
Florestas	0,5	0,1 a 0,3	0,0
Precipitações	0,6	0,2 a 0,5	0,2

3.5 Impacto do nitrogênio e do fósforo

Marsh, 1997 apresenta para estimativa da carga de nitrogênio e fósforo para os Estados Unidos a seguinte Tabela (3.3).

Tabela 3.3- Carga anual média de nitrogênio e fósforo

Uso do solo ou cobertura	Nitrogênio (kg/ha/ano)	Fósforo (kg/ha/ano)
Florestas	4,40	0,085
Quasi floresta	4,50	0,175
Quasi área urbana	7,88	0,300
Quasi área agrícola	6,31	0,280
Area agrícola	9,82	0,310
Area mista	5,52	0,185
Campo de Golf	15,00	0,410

Fonte: Marsh, 1997

A média de 5,1kg/ha x ano de nitrogênio total foi achada por Lewis, et al, 1999 em várias florestas praticamente intocadas, como a da rio Amazonas e do rio Negro. Do nitrogênio total 50% é nitrogênio orgânico e os outros 50% é inorgânico. Do nitrogênio inorgânico 20% é amônia e 80% é nitrato.

Isto mostra que a Tabela (3.3) no que se refere a floresta pode ser aplicada para o Brasil.

Marsh, 1997 define os usos ou cobertura dos solos:

- Área de floresta quando tem mais de 75% da área coberta com florestas
- Área quasi uma floresta: quando a área coberta por floresta estiver entre 50% a 75%
- Área agrícola quando mais de 75% da area é usada na agricultura

- Área quasi urbana: quando a área tem desenvolvimento mais de 40% ocupado por residências, comércio, indústria e institucional.
- Área mista: quando tem por exemplo, 25% de área urbana, 30% de área agrícola e 45% de área de florestas.

Tendo-se as áreas podemos estimar as cargas de nitrogênio e fósforo que irão cair em um rio ou um lago. Não esquecendo que serve somente para uma estimativa.

Marsh, 1997 recomenda para os Estados Unidos 0,28kg de fósforo/ano por casa e 10,66 kg/de nitrogênio por casa por ano (lembramos que estas cargas são maiores que as brasileiras).

Lembramos que as cargas presentes nas precipitações já estão inclusas.

Marsh, 1997 apresenta ainda a Tabela (3.4) onde estão os níveis representativos de fósforo e nitrogênio em vários corpos de água dos Estados Unidos.

Tabela 3.4- Níveis representativos de fósforo e nitrogênio em corpos de água nos Estados Unidos

Água	Fósforo total PT (mg/L)	Nitrogênio total NT (mg/L)
Água da chuva	0,01 a 0,03	0,1 a 2,0
Água nos lagos com problemas de algas	<0,025	<0,35
Água dos lagos com problemas sérios de algas	>0,10	>0,80
Águas pluviais urbanas	1,0 e 2,0	2,0 a 10
Escoamento superficial na agricultura	0,05 a 1,1	5,0 a 70
Efluente de plantas de tratamento secundário de esgotos sanitários	5 a 10	>20

Fonte: Marsh, 1997

Exemplo 3.1

Seja um loteamento com 283ha com 166ha de lotes residenciais, 19ha de gramados e 98ha de campo de golfe. Calcular a carga média anual de nitrogênio e fósforo no lago.

Os cálculos estão na Tabela (3.5)

Tabela 3.5- Cálculo da carga anual média de nitrogênio e fósforo

Áreas	(ha)	Nitrogênio	
		(kg/ha/ano)	(kg)
Lotes residenciais	166	5,52	915
Campo de Golfe	98	15,00	1.475
Paisagismo	19	4,40	85
			2.475
Portanto, teremos no lago 2475kg de nitrogênio por ano			
Áreas	(ha)	Fósforo	
		(kg/km ² /ano)	(kg)
Lotes residenciais	166	0,85	31
Campo de Golfe	98	0,41	40
Paisagismo	19	0,085	2
			73
Portanto, teremos no lago 83kg de fósforo por ano			

Na Tabela (3.6) estão os poluentes típicos em áreas urbanas elaborados por Burton&Pitt, 2002 notando-se que as maiores quantidades são para áreas comerciais, estradas de rodagem, estacionamento de veículos, Shopping Center, indústrias, residências de alta densidade, média e baixa e área de parques.

Tabela 3.6- Poluentes típicos e áreas urbanas conforme Burton& Pitt,2002 em kg/ha x ano

		Comercial	Estradas	Estacionamento	Shopping Center	Indústria	Área residencial com densidades			Áreas de Parques
							Alta	Média	Baixa	
1	Sólidos Totais	2363	1913	1463	810	754	754	506	73	ND
2	TSS	1125	990	450	495	563	473	281	11	3
3	Cl	473	529	338	41	28	61	34	10	ND
4	TP	1,7	1,0	0,8	0,6	1,5	1,1	0,3	0,0	0,04
5	TKN	7,5	8,9	5,7	3,5	3,9	4,7	2,8	0,3	ND
6	NH₃	2,1	1,7	2,3	0,6	0,2	0,9	0,6	0,0	ND
7	NO₃ + NO₂	3,5	4,7	3,3	0,6	1,5	2,3	1,6	0,1	ND
8	DBO₅	70	ND	53	ND	ND	30	15	1	ND
9	COD	473	ND	304	ND	225	191	56	8	ND
10	Pb	3,04	5,06	0,90	1,24	0,23	0,90	0,11	0,00	0
11	Zn	2,36	2,36	0,90	0,68	0,45	0,79	0,11	0,00	ND
12	Cr	0,17	0,10	ND	0,05	0,68	ND	0,00	0,00	ND
13	Cd	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	ND
14	As	0,02	0,02	ND	0,02	0,00	ND	0,00	0,00	ND

Fonte: New techniques for urban river rehabilitation, october 2004, EKT-CT-2002-00082 LNEC João Rocha

3.6 Método Simples de Schueler

Schueler em 1987 apresentou um método empírico denominado "Método Simples" para estimar o transporte de poluição difusa **urbana** em uma determinada área.

O método foi obtido através de exaustivos estudos na área do Distrito de Washington nos Estados Unidos chamado *National Urban Runoff Program (NURP)* bem como com dados da EPA, conforme AKAN, (1993).

AKAN, (1993) salienta que os estudos valem para áreas menores que 256ha e que é usado cargas anuais.

A **equação de Schueler** é similar ao método racional e nas unidades SI adaptada neste livro:

$$L=0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

Sendo:

L= carga do poluente anual (kg/ano)

P= precipitação média anual (mm)

P_j= fração da chuva que produz *runoff*. P_j =0,9 (normalmente adotado)

R_v= *runoff* volumétrico obtido por análise de regressão linear.

R_v= 0,05 + 0,009 x AI

AI= área impermeável (%).

A= área (ha)

C= concentração média da carga do poluente nas águas pluviais da (mg/L)

Valor de P_j

O valor de P_j usualmente é 0,90 para precipitação média anual, mas pode atingir valor P_j =0,5 e para eventos de uma simples precipitação P_j =1,0.

Valores de C

Conforme as pesquisas feitas por Schueler, (1987) e citadas por AKAN, (1993) e McCUEN, (1998) os valores médios da carga de poluição C em mg/L é fornecida pelas Tabelas (3.7) e (3.9)

Tabela 3.7 - Valores de "C" usados pelo Método Simples de Schueler, 1987 em mg/L.

Poluente	NURP	Baltimore	Washington DC	NURP National Study	Virginia	FHWA
	Área suburbana	Áreas velhas	Área comercial	média	Florestas	Rodovias americanas
Fósforo total	0,26	1,08		0,46	0,15	
Nitrogênio Total	2,00	13,6	2,17	3,31	0,78	
COD	35,6	163,0		90,8	>40,0	124,0
BOD₅dias	5,1		36,0	11,9		
Zinco	0,037	0,397	0,250	0,176		0,380

Fonte: AKAN, (1993) e McCUEN, (1998).

Na Tabela (3.8) estão os valores de concentração média adotado na Malásia.

Tabela 3.8- Valores médios de concentração adotados na MALÁSIA em mg/L

Poluente	Vegetação nativa/ floresta	Área rural	Área industrial	Área urbana	Área em construção
Sedimentos	85	500	50 - 200	50- 200	4000
Sólidos totais em suspensão (TSS)	6	30	60	85	
Nitrogênio total (NT)	0,2	0,8	1,0	1,2	
Fósforo total (PT)	0,03	0,09	0,12	0,13	
Amônia	0,01- 0,03	0,01- 0,26		0,01-9,8	
Coliformes fecais	260-4000	700 - 3000		4000- 20000	
Cobre				0,03 – 0,09	
Chumbo				0,2 – 0,5	

Fonte: MALÁSIA, (2000)

Na Tabela (3.9) temos valores médios de poluentes fornecidos por Tucci, (2001).

Tabela 3.9- Valores médios de parâmetros de qualidade de águas pluviais em mg/L para algumas cidades.

Poluente	Durham Colson, 1974	Cincinatti Weibel et al., 1964	Tulsa AVCO, 1970	Porto Alegre	APWA APWA, 1969	
					mínimo	máximo
DBO		19	111,8	31,8	1	700
Sólidos totais	1440		545	1523	450	14600
pH						
Coliformes NPM/100ml	23.000		8.000	$1,5 \times 10^7$	55	$11,2 \times 10^7$
Ferro	12			30,3		
Chumbo	0,46			0,19		
Amônia		0,4		1,0		

Fonte: TUCCI, (2001).

Exemplo 3.2

Exemplo de AKAN, (1993).

Trata-se de área com 12ha, chuva média anual de 965mm sendo $P_j = 0,90$. Área antes do desenvolvimento com 2% de área impermeável passou a 45% com a construção de uma vila de casas. Calcular o aumento anual de fósforo total.

Para a situação de *pré-desenvolvimento*:

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 2 = 0,07$$

Adotando $C=0,15\text{mg/L}$ para fósforo total em florestas, na Tabela (3.8) na coluna de Virginia.

A carga anual será calculada usando:

$$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$$P = 965\text{mm}$$

$$P_j = 0,9 \text{ adotado}$$

$$R_v = 0,07$$

$$C = 0,15\text{mg/L Fósforo total/ Floresta}$$

$$A = 12\text{ha}$$

$$R_v = 0,07$$

$$L = 0,01 \times 965\text{mm} \times 0,9 \times 0,07 \times 0,15\text{mg/L} \times 12\text{ha}$$

$$L = 1,09 \text{ kg/ano}$$

Para a situação de *pós-desenvolvimento*.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 45 = 0,46$$

$$P = 965\text{mm}$$

$$P_j = 0,9 \text{ adotado}$$

$$R_v = 0,07$$

$$C = 0,26\text{mg/L Fósforo total/ área suburbana}$$

$$A = 12\text{ha}$$

$$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$$L = 0,01 \times 965\text{mm} \times 0,9 \times 0,46 \times 0,26\text{mg/L} \times 12\text{ha}$$

$$L = 12,46 \text{ kg/ano}$$

Portanto, com o desenvolvimento a quantidade total de fósforo aumentará de 1,09kg/ano para 12,46 kg/ano com a construção de um bairro residencial proposto.

Exemplo 3.3

Calcular o aumento de sedimentos de área urbana com 46,75ha, chuva anual média de 1540mm e $P_j = 0,90$. Supomos que no pré-desenvolvimento havia 2% de área impermeável e com o desenvolvimento passou para 70%.

Pré-desenvolvimento

$$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$$

$$P = 1540\text{mm}$$

$$P_j = 0,9 \text{ adotado}$$

$$C = 85\text{mg/L sedimentos/ Floresta/ Malásia}$$

A=46,75ha

$R_v = 0,05 + 0,009 \times 2 = 0,07$

$L = 0,01 \times 1540\text{mm} \times 0,9 \times 0,07 \times 85\text{mg/L} \times 46,75\text{ha}$

$L = 3.855 \text{ kg de sedimentos/ano}$

Pós-desenvolvimento

$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$

P=1540mm

$P_j = 0,9$ adotado

C=200mg/L sedimentos / Urbana/ Malásia, Tabela (3.9)

A=46,75ha

$R_v = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68$

$L = 0,01 \times 1540\text{mm} \times 0,9 \times 0,68 \times 200\text{mg/L} \times 46,75\text{ha}$

$L = 88.122\text{kg de sedimentos/ano}$

Ou $88.122\text{kg}/46,75\text{ha} = 1885 \text{ kg/ha x ano de sedimentos}$

Com o pós-desenvolvimento o sedimento aumentará de 3.855kg/ano para 88.122kg/ano.

Exemplo 3.4

Seja uma área de 97ha conforme Tabela (3.10) cujas águas de chuvas caem em um lago. Calcular a carga anual de fósforo total usando o Método Simples de Shueller.

Tabela 3.10- Média ponderada da carga poluente e da área impermeável AI

Uso da terra	Área (ha)	AI	Concentração Média (mg/L)
Agricultura	64	2%	0,09
Floresta	12	2%	0,15
Urbana (pavimentada)	21	72%	0,46
Total=	97	17,15%	0,18

Conforme Tabela (3.10) a média ponderada da carga poluente $C = 0,18\text{mg/L}$ e da área impermeável $AI = 17,15\%$.

$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 17,15 = 0,20$

P= 1070mm precipitação média anual

$P_j = 0,90$

A=97ha

C= 0,18 mg/L de PT

$L = 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A$

$L = 0,01 \times 1070 \times 0,90 \times 0,20 \times 0,18 \times 97 = 34 \text{ kg/ano de PT}$

Portanto, chegará ao lago 34kg/ano de fósforo total.

3.7 Análise simplificada de eutrofização de um lago.

A base de nos estudos é EPA 440/4-84-019 de agosto de 1983 *Technical Guidance Manual for Performing Waste Load Allocations. Book IV- Lakes*. O assunto também está muito bem explicado na página 404 do livro de Thomann e Muller, 1987.

Existem modelos complexos para análise de eutrofização de um lago. O modelo que usaremos apóia-se no balanço de massas do nutriente e baseia-se nas seguintes simplificações conforme Thomann e Muller, 1987:

- O lago encontra-se totalmente misturado
- Que o lago está em condições de equilíbrio representando a média anual sazonal
- Que o fósforo é limitado
- Que o fósforo é usado como medida do índice do estado trófico

Thomann e Muller, 1987 comentam que apesar das simplificações feitas o método funciona muito bem. A primeira simplificação é de que o lago encontra-se misturado, isto é, que não está estratificado ignorando a intensificação do fitoplâncton no epilimínio do lago, isto é, na parte superior.

A segunda simplificação é que o lago encontra-se em estado de equilíbrio esquecendo o comportamento dinâmico do lago ao longo de um ano.

A terceira simplificação indica que somente um nutriente deve ser considerado e normalmente em lagos é o nutriente fósforo.

A quarta simplificação indica que o nutriente vai ser usado como medida de status do índice trófico é o fósforo.

A equação geral do **balanço de massa** para qualquer substância num lago completamente misturado é:

$$\begin{aligned}V \cdot dp/ dt &= \Sigma Qi \cdot pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\V \cdot dp/ dt &= W - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\Ks &= vs/H\end{aligned}$$

Sendo:

V= volume do lago (m³)

Ks= taxa de sedimentação do nutriente (m/ano)

Q= vazão que sai do lago (m³/s)

p= concentração do nutriente no lago (mg/L)

$\Sigma Qi \cdot pi = W$ = soma de todas as taxas de massas do nutrientes que caem no lago de todos os lugares (g/ano). O valor de pi é a concentração de cada origem (g/ano).

vs= velocidade de sedimentação na coluna de água (m/ano). Normalmente é adotado vs=10m/ano (0,0274m/dia) ou podem ser adotados outros valores como 12,4m/ano ou 16m/ano conforme Thomann e Muller, 1987.

Assumindo um estado de equilíbrio (*steady state*), então dp/dt=0 e denominando $W = \Sigma Qi \cdot pi$, teremos:

$$\begin{aligned}V \cdot dp/ dt &= \Sigma Qi \cdot pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\0 &= \Sigma Qi \cdot pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p \\0 &= W - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p = W - p(Ks \cdot V + Q) = 0 \\ \text{Donde: } p &= W / (Ks \cdot V + Q) \\ \text{Ou } p &= W / (Q + vs \cdot V)\end{aligned}$$

Introduzindo a profundidade média Z teremos:

$$H = V/As$$

$$As = V/H$$

Façamos a introdução do **tempo de detenção hidráulica** (ano) que é o valor td:

$$td = V / Q$$

Sendo:

H= profundidade média do lago (m)

V= volume do reservatório (m³)

As= área da superfície do reservatório (m²)

td= tempo de detenção hidráulica (ano)

$$p = W / (K_s \times V + Q)$$

Dividindo o segundo membro por As no numerado e denominador teremos:

$$p = W/As / (K_s \times V / As + Q/As)$$

$$p = W' / (Q + v_s \times As)$$

$$p = W/As / [(K_s \times H + (Q/V) \times H)]$$

Denominando $W' = W/As$

$$p = W' / [(K_s \times H + (Q/V) \times H)]$$

Taxa de saída da água $q = Q/As$

$$p = W' / (q + v_s)$$

$$p = W' / [H (\rho + K_s)]$$

$$\rho = Q/V = 1 / td$$

p= concentração do poluente no lago (mg/L)

Este modelo simplificado é devido a Vollenweider e trata dos **nutrientes como fósforo, nitrogênio e outros**.

Entretanto o **fósforo foi considerado o nutriente mais importante** devido as seguintes razões:

- Existem tecnologias para remoção do fósforo nos esgotos tratados
- Existe fósforo de uma maneira significativa nos esgotos domésticos.
- O controle do fósforo parece que fornece os melhores meios de controlar o crescimento de águas azuis-verdes pela fixação do nitrogênio.
- De modo geral o fósforo é o fator limitante.

Nota:

Devido a dificuldade em se achar o valor da velocidade de sedimentação v_s ou o valor de K_s , pode ser feita uma estimativa usando a equação de Vollenweider, 1975 para o valor de K_s .

$$\ln(K_s) = \ln(5,5) - 0,85 \times \ln(H) \quad (\text{com } R^2=0,79)$$

Na Tabela (3.11) estão os valores de K_s calculados conforme

Tabela 3.11- Valores de K_s conforme equação de Vollenweider, 1975

Prof. H(m)	K_s	$v_s = K_s \times H$
1	5,50	5,50
2	3,05	6,10
3	2,16	6,48
4	1,69	6,77
5	1,40	7,00
6	1,20	7,20
7	1,05	7,36

Existe ainda uma equação mais simplificada:

$$K_s = 10/H$$

Na Tabela (3.12) estão alguns valores de K_s calculado por $K_s=10/H$

Tabela 3.12- Valores de Ks simplificado Ks=10/H

Prof. H(m)	Ks
1	10,00
2	5,00
3	3,33
4	2,50
5	2,00
6	1,67
7	1,43

Procedimento de cálculos

Os procedimentos são através dos seguintes passos:

Primeiro passo: estimar o volume do lago, área da superfície e profundidade média.

É obtido através de batimetria ou de previsões feitas em planta aerofotogramétricas.

Segundo passo: estimar a média anual de vazão da água.

Geralmente pode ser obtido pelo runoff anual através de estações de medições que medem o volume de água que passa pelo lago. Não tendo ela pode ser estimado anualmente pelo runoff.

Para lagos muito grande deve ser levado em conta a precipitação sobre o mesmo e a evaporação.

Terceiro passo: Estimar a média da carga anual de fósforo de todas as fontes.

Isto inclui todas as fontes rurais, tributários e atmosférico. A estimativa geralmente é feita com tabelas como a de Marsch, 1977 ou outra.

Quarto passo: Achar a taxa de sedimentação de fósforo.

Geralmente pode ser calculado ou se não temos dados estimar em $K_s = 12,4\text{m/ano}$.

Quinto passo: Selecionar os objetivos do fósforo ou clorofila-a.

Exemplo 3.5

Calcular a quantidade de fósforo num lago em um loteamento em Campos do Jordão, Estado de São Paulo que tem:

Precipitação média anual = 1783mm/ano

Evapotranspiração=684mm/ano

Área da bacia= 122ha

Área impermeável= AI=16%

Coefficiente volumétrico R_v

$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 16 = 0,19$

Volume runoff= $(122 \times 10000\text{m}^2) \times (1783 \times 0,19/1000) = 413.299\text{m}^3$

Vazão correspondente ao runoff= $413.299\text{m}^3 / (365 \text{ dias} \times 86.400\text{s}) = 0,0131\text{m}^3/\text{s}$

Volume do reservatório= 90.000m^3

Área da superfície do lago= 17.500m^2

Volume precipitado e evaporado na área do lago= $((1783-684)/ 1000) \times 17.500\text{m}^2 = 19.233\text{m}^3/\text{ano}$

Vazão correspondente ao precipitado = $19.233\text{m}^3 / (365 \text{ dias} \times 86.400\text{s}) = 0,00061\text{m}^3/\text{s}$

Como se pode ver a vazão correspondente ao precipitado na superfície da lagoa é pequena e pode ser desprezada. Portanto, a vazão de saída é $Q = 0,0131\text{m}^3/\text{s}$

$H = 5,1\text{m}$ profundidade média da lagoa

$v_s = 12,4\text{m/ano}$

$K_s = v_s / H = 12,4 / 5,1 = 2,47$

Cálculo de W'

Conforme Tabela (3.6) o fósforo total para uma área de densidade média é 0,3 kg/ha x ano e para densidade baixa é 0,0. Tomemos, portanto, a média 0,15 kg/ha x ano de fósforo total.

Área= 122ha

$W = 122\text{ha} \times 0,15 \text{ kg/ha} \times \text{ano} = 18,3 \text{ kg de fósforo total por ano} = 18300 \text{ g por ano}$

$W' = W / A_s = 18.300\text{g} / 17500\text{m}^2 = 1,046 \text{ g/m}^2 \text{ ano}$

$td = V / Q = 90.000\text{m}^3 / (0,0131 \times 86400 \times 365) = 0,218 \text{ ano}$

Adotando vs=12,6m/ano

Descarga: $q = Q / A_s = H / td = 5,1 / 0,218 = 23,39$

$p = W' / (q + v_s)$

$p = 1,046 / (23,39 + 12,6) = 1,046 / 35,99 = 0,029\text{g/m}^3 = 0,029 \text{ mg/L} = 29\mu\text{g/L}$

Portanto, o lago terá a concentração média de **0,029mg/L** e verificando a Tabela (3.18) o lago ficará mesotrófico.

Caso queiramos tirar água do lago para abastecimento podemos verificar a Resolução Conama 357/05 que para ambientes lênticos o valor do fósforo total é **0,03mg/L** conforme Tabela (3.12).

Nota: como o valor da velocidade vs adotado foi de 12,4m/ano poderia ser adotado outros valores como 10m/ano ou 16m/ano. Os resultados deverão ser verificados e estarão dentro de uma faixa.

Exemplo 3.6 Carga de fósforo em um lago

Trata-se do Lago Urieville, Maryland onde usaremos os ensinamentos de Huber, 1993 in Maidment. Vamos explicar juntamente com um exemplo para melhor compreensão.

$p =$ concentração de fósforo no lago (mg/L)

$W =$ carga total da área da bacia (g) /área da superfície líquida do lago (m^2)

$A_s = 136.379\text{m}^2$ (área da superfície do lago)

$P =$ carga total de fósforo da bacia= 231,844kg=231.844g

$W = P / A_s = 231.844 / 136.379 = 1,7\text{g/m}^2 \text{ x ano}$

$W = 1,7 \text{ g/m}^2 \text{ x ano} =$ taxa de carga de fósforo ($\text{g/m}^2 \text{ x ano}$).

$td =$ tempo de residência (ano) = Volume do lago (V) / Vazão de saída Q_{out} (m^3/s)

$td = V / Q_{out}$

$H = 1,87\text{m} =$ profundidade média do lago (m)

$ks =$ perda de fósforo de primeira ordem (/ano)

$$p = W / [H(1/td + ks)] = W / (q + v_s)$$

$q = Q / A = H / td$

Sendo:

$Q =$ vazão de saída (m^3/s)

$A =$ área da superfície do lago (m^2)

$v_s =$ velocidade do particulado do fósforo. Nota: geralmente difícil de se obter.

$$q = H / td$$

$$ks = 10/H$$

Cálculos:

$ks = 10/H = 10/1,87 = 5,35/\text{ano}$

$td = 0,0145\text{ano}$ (dado do problema)

$q = H / td = 1,87\text{m} / 0,0145\text{ano} = 128,96\text{m/ano}$

$p = W / [H(1/td + ks)]$

$p = 1,7\text{g/m}^2 \text{ x ano} / [1,87\text{m}(1/0,0145 + 5,35)] = 1,7/138,97 = 0,0122 \text{ mg/L} = 12,2 \mu\text{g/L de P}$

O fósforo produzirá algas e podemos estimar a clorofila-a através da equação elaborada por Lamparelli, 2004:

Para rios e lagos temos:

Clorofila-a = 0,081 x (PT)^{1,24}

$PT = 12,2\mu\text{g/L de P}$

Clorofila-a = $0,081 \times (12,2)^{1,24} = 1,8 \mu\text{g/L}$ de Cl-a

Portanto, a concentração de 12,2g/L de P no lago resultou na estimativa de clorofila-a de 1,8 $\mu\text{g/L}$ de Cl-a.

3.8 Resolução Conama 357/2005

Para os estudos de impacto de fósforo e nitrogênio deverá ser consultada a Resolução Conama nº 357/05.

Para corpos de água da Classe 2 temos a Tabela (3.13).

Tabela 3.13- Alguns parâmetros das águas doces Classe 2 segundo Conama 357/05

Águas doces Classe 2	Limites
DBO _{5,20}	< 5mg/L
OD (oxigênio dissolvido)	> 5mg/L
Clorofila-a	< 30 $\mu\text{g/L}$
PT (fósforo total)	<0,030 mg/L para ambientes lênticos
	<0,050mg/L para ambientes intermediários com tempo de residência entre 2dias e 40dias)

3.9 Estado trófico

A Tabela (3.14) de classificação de Carlson modificada por Toledo, 1990 mostra que o estado trófico é função da transparência, fósforo total e clorofila-a. Devido a isto se pode ver a importância do fósforo para o enquadramento do estado trófico.

Tabela 3.14-Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo o sistema de classificação de Carlson modificado por Toledo, 1990.

Critério	Estado trófico	Transparência (m)	Fósforo total (mg/L)	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)
$IET \leq 24$	Ultraoligotrófico	$\geq 7,8$	$\leq 0,006$	$\leq 0,51$
$24 < IET \leq 44$	Oligotrófico	7,7 a 2,0	0,007 a 0,026	0,52 a 3,81
$44 < IET \leq 54$	Mesotrófico	1,9 a 1,0	0,027 a 0,052	3,82 a 10,34
$54 < IET \leq 74$	Eutrófico	0,9 a 0,3	0,053 a 0,211	10,35 a 76,06
$IET > 74$	Hipereutrófico	<0,3	>0,211	>76,06

Fonte: Lamparelli, 2004

Exemplo 3.7

Vamos mostrar um exemplo de Thomann e Muller, 1987 adaptado às unidades SI que é bem elucidativo. Na Figura (3.1) temos uma lago e queremos saber qual a quantidade de fósforo do mesmo tendo em vista que recebe o fósforo de varias origens.

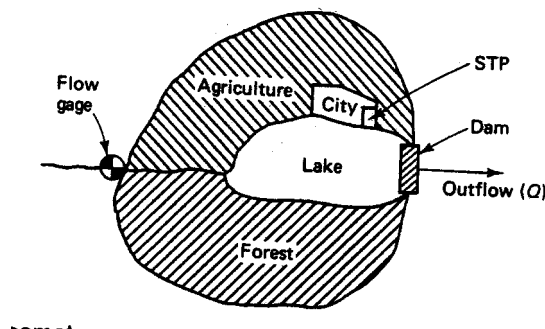


Figura 3.1- Esquema

Fonte: Thomann e Muller, 1987

Lago

Os dados do lago são:

$$\text{Volume } V = 622.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de superfície } A_s = 77.700.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Precipitação média anual} = P = 762 \text{ mm/ano}$$

$$\text{Profundidade média do lago } H \text{ (m)} = 8,00 \text{ m}$$

$$\text{Intensidade de chuva média (mm/h)} = I = 762 / (365 \text{ dias} \times 24 \text{ h}) = 0,087 \text{ mm/h}$$

Dados do problema:

Tratamento de esgotos sanitários

- População servida: 50.000 habitantes
- Quota per capita = 567 L/ hab x dia
- Quantidade de fósforo no efluente dos esgotos que é lançado no lago = 6,0 mg/L
- 80% dos esgotos é lançado no lago.

$$Q_{\text{esgoto}} = 0,8 \times 50.000 \text{ hab} \times 567 \text{ L/hab} \times \text{dia} / (1000 \times 86.400) = 0,2625 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Carga de fósforo por ano} = 0,2625 \times 86400 \times 365 \times 6 \times 1000 / (1000 \times 1000) = 49.669 \text{ kg de fósforo/ano}$$

Águas pluviais com esgotos

- Coeficiente de runoff $C = 0,45$
- Área de contribuição (ha) = $A = 960 \text{ ha}$
- Estimativa da quantidade de fósforo na água = 4 mg/L
- 5% das águas pluviais vão para a ETE
- $I = 0,087 \text{ mm/h}$ (estimativa)

$$Q_{\text{águas+esgoto}} = 0,95 \times CIA / 360 = 0,95 \times 0,45 \times 0,087 \times 960 / 360 = 0,0992 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Carga de fósforo no ano} = 0,0992 \times 86400 \times 1000 \times 4 \times 365 / (1000 \times 1000) = 12514 \text{ kg de fósforo/ano}$$

Águas pluviais somente

- Coeficiente de runoff $C = 0,27$
- Área de contribuição (ha) = $A = 640 \text{ ha}$
- Estimativa da quantidade de fósforo na água = 0,7 mg/L
- $I = 0,087 \text{ mm/h}$ (estimativa)

$Q_{\text{águas+esgoto}} = CIA/360 = 0,27 \times 0,087 \times 640/360 = 0,037 \text{ m}^3/\text{s}$
 Carga de fósforo no ano = $0,037 \times 86400 \times 1000 \times 0,7 \times 365 / (1000 \times 1000) = 818 \text{ kg de fósforo/ano}$

Água a montante

- Vazão $Q = 14,15 \text{ m}^3/\text{s}$
- Estimativa de fósforo = $0,02 \text{ mg/L}$

Carga de fósforo por ano = $14,15 \times 86400 \times 1000 \times 0,02 \times 365 \text{ dias} / (1000 \times 1000) = 8925 \text{ kg de fósforo/ano}$

Área para agricultura

- Área $A = 9600 \text{ ha}$
- Carga de fósforo = $0,00156 \text{ kg / ha x dia}$
- Runoff 30% da precipitação (estimado)

$Q_{\text{agric}} = 0,30 \times 762 \text{ mm/ano} \times 9600 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2 / (1000 \times 365 \text{ dias} \times 86400) = 0,79 \text{ m}^3/\text{s}$
 Carga de fósforo por ano = $0,00156 \text{ kg/ha x dia} \times 9600 \text{ ha} \times 365 = 5466 \text{ kg/ano}$

Área para a floresta

- Área $A = 12800 \text{ ha}$
- Carga de fósforo = $0,00046875 \text{ kg / ha x dia}$
- Runoff 30% da precipitação (estimado)

$Q_{\text{agric}} = 0,30 \times 762 \text{ mm/ano} \times 12800 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2 / (1000 \times 365 \text{ dias} \times 86400) = 0,928 \text{ m}^3/\text{s}$
 Carga de fósforo por ano = $0,00046875 \text{ kg/ha x dia} \times 12800 \text{ ha} \times 365 = 2190 \text{ kg/ano}$

Tabela 3.15- Resumo

Origem do fósforo	Vazão (m^3/s)	Carga anual (kg/ano)
Montante	14,15	8925
ETE	0,2625	49669
Águas pluviais+esgotos	0,992	12514
Águas pluviais somente	0,037	818
Área agrícola	0,79	5466
Área de floresta	0,928	2190
Total=	17,16	79582

$W = 79582 \text{ kg de fósforo /ano} = 79582.000 \text{ g/ano}$

$W' = W/As = 79582.000 \text{ g/ano} / 77.700.000 = 1,024 \text{ g/m}^2 \times \text{ano}$

Tempo de detenção t_d

$t_d = V/Q = 622000000 / (17,16 \times 86400 \times 365) = 1,15 \text{ ano}$

Adotando $v_s = 12,6 \text{ m/ano}$

$q = Q/As = H/ t_d = 8,0 / 1,15 = 7,01 \text{ m/ano}$

$p =$ concentração do poluente no lago (mg/L)

$p = W' / (q + v_s) = 1,024 \text{ g/m}^2 \times \text{ano} / (7,01 + 12,6) = 1,024 / 19,62 = 0,052 \text{ g/m}^3 = 0,052 \text{ mg/L} = 52 \mu\text{g/L}$

Portanto, a lagoa tem **estado trófico** conforme Tabela (3.18)

Exemplo 3.8

É o mesmo Exemplo 3.6 onde alteraremos o valor v_s de $12,6 \text{ m/ano}$ para 16 m/ano .

Adotando $v_s = 16,0 \text{ m/ano}$

$p = W' / (q + v_s) = 1,024 \text{ g/m}^2 \times \text{ano} / (7,02 + 16) = 1,024 / 23,02 = 0,044 \text{ g/m}^3 = 0,044 \text{ mg/L}$

Portanto, a lagoa continuará no **estado trófico** conforme Tabela (6.1)

Exemplo 3.9

Estimar a quantidade de fósforo do Lago Azul localizado em Guarulhos Estado de São Paulo com os seguintes dados:

Precipitação média anual= 1488mm/ano

Evapotranspiração média anual= 1367mm/ano

Área da bacia= 1,54 km²= 154ha

Volume do lago V= 100.000m³ (estimado)

Profundidade estimada= H= 2,00m

Vazão base unitária= 0,02 L/s x ha

Vazão base= 0,02 L/s x ha x 154ha=3,08 L/s

Área de superfície As=50.000m² (estimado)

Vazão firme que se pode retirar= 12 L/s (sem deixar o Q_{7,10})

Resolução

Coefficiente de runoff C=0,50

Taxa de fósforo adotado para área residencial media conforme Tabela (3.6)= 0,3 kg/haxano

W= 154 ha x 0,30 kg/ha x ano=46,2 kg/ano de fósforo= 46200g/ano

W' = W/As= 46200g/ 50000m²=0,924 g/m² x ano

td= V/Q

td= tempo de residência (ano)

V= volume =100.000m³

A vazão Q é a soma da vazão base 3,08 L/s que deve ser somada a vazão devido ao escoamento das águas pluviais.

I= 1488mm/ano / (365 x 24)=0,17mm/h

Qmédio do runoff=CIA/360

Qmédio do runoff=0,50 x 0,17mm/h x 154ha/360=0,03636m³/s

Q total= 0,03636m³/s+0,000398m³/s=0,036758m³/s

td= V/Q= 100.000m³/ (0,036758m³/s x 86.400s x 365dias)= 0,086ano

A descarga q= Q/As= H/td= 2,0m/0,086ano =23,26

P= W' / (Q+vs)

Admitindo vs= 12,6m/ano

P= W' / (q+vs)= 0,924/ (23,26+12,6)=0,924/ 35,86=0,0258g/m³=0,0258mg/L=25,8µg/L

Portanto, o lago é oligotrófico

3.10 Bibliografia e livros recomendados

- ESTADO DE NEW YORK, 2001. *Stormwater Management Design Manual*. October, 2001. New York State Department of Environmental Conservation, Albany, NY.
- LEWIS, WILLIAM M. et al. *Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas*. Biogeochemistry 46: 149-162-1999, 14páginas. Acessado em 6 de Janeiro de 2007. <http://cires.colorado.edu/limnology/pubs/Pub144.pdf>
- MARSH, WILLIAM M. *Landscape planning environmental applications*. 3a ed. 1998, 434 páginas, Josh Wiley.
- THOMANN, ROBERT V. E MUELLER, JOHN A. *Principles of surface water quality modeling and control*. Editora Harper Collins Publishers, 1987, ISBN 0-06-046677-4; 644páginas.
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Editora Navegar, 2006.
- UNESCO. *Water Resources Systems planning and management. An introduction to methods, models and applications*. Italia, 2005. ISBN 92-3-103998-9; 623 páginas.
- USEPA. *On site wastewater treatment systems manual*. EPA 625/R-00/008 fevereiro de 2002.
- USEPA. *Technical Guidance Manual for Performing Waste Load Allocations. Simplified Analytical Method for determining NPDES effluent limitations for POTWs discharging into low-flow streams*. Agosto de 1983. Documento EPA-440/4-84-019. 61 páginas

CONVERSION FACTORS

Multiply	By	To Obtain
Acres, ac	0.405	Hectares, ha
Feet, ft.	0.3048	Meters, m
Inches, in	2.54	Centimeters, cm
Gallons, g	0.003785	Cubic Meters, m ³
Gallons, g	3.785	Liters, l
Square Feet, sq ft	0.0929	Square Meters, m ²
Square Inches, sq in	6.45	Square Centimeters, cm ²
Million Gallons/Day, mgd	0.0438	Cubic Meters/Second, m ³ /s
Million Gallons/Day, mgd	3785	Cubic Meters/Day, m ³ /d
Gallons/Minutes, gpm	0.06308	Liters/Second, l/s
Cubic Feet/Second, cfs	0.02832	Cubic Meters/Second, m ³ /s
Cubic feet/Minute, cfm	0.000472	Cubic Meters/Second, m ³ /s
Gallons/Day/Square Foot, gpd/ sq ft	0.04074	Cubic Meters/Day/Square Meter, m ³ /m ² .d
Gallons/Minute/Square Foot, gpm/sq ft	0.67902	Liters/Second/Square Meter, lm ² .s
Feet/Second, fps	0.3048	Meter/Second, m/s
Gallons/Day/Lineal Foot, gpd/lin ft	0.01242	Cubic Meters/Day/Lineal Meter, m ³ /m.d
Pounds of BOD/100 Cubic Feet, lb/1000 cu ft	10,020	Kilograms of BOD/Cubic Meter Kg/m ³
Pounds/Square Inch, psi	0.0703	Kilograms/Square Centimeter, Kg/cm ²
Gallons/Min/1000 Square Feet, gpm/100 sq ft	679.02	Liters/Second/Square Meter, lm ² .s
Cubic Foot of Air/Pound BOD, cu ft/lb BOD	0.06243	Cubic Meters/Kilogram BOD, m ³ /kg BOD

APENDICE A

Resumo:

Trabalho: Balanço Hídrico e Oxigênio Dissolvido do Lago dos Patos

O objetivo é mostrar que o Lago dos Patos é um patrimônio histórico importante para Guarulhos e que não há problema de balanço hídrico no mesmo.

No que se refere ao oxigênio dissolvido (OD) necessário para manter o ecossistema aquático o mesmo encontra-se no limite desejável de 5,0mg O₂/L devendo ser previsto monitoramento para o controle de algas cianofíceas e desassoreamento do mesmo.

Balanço Hídrico e Oxigênio Dissolvido do Lago dos Patos

1. Objetivo

O objetivo é apresentar o balanço hídrico e o oxigênio dissolvido do lago dos Patos localizada em Guarulhos no bairro de Vila Galvão.

2. História do lago

O lago dos Patos fica em Guarulhos no bairro de Vila Galvão na rua Francisco Gabriel Vasconcelos e foi construído em 1910 ou 1911 pelo sr Francisco Gonzaga de Vasconcelos e sempre foi usado como área de lazer para banhos, mergulhos e passeios de barco.

A barragem é artificial e foi construída em terra transportada por carrocinhas puxado a burro e a rua chama-se Rua Piracamjuba. Vi uma foto da mãe do sr Moacyr dando milho aos gansos em região gramada onde hoje é o lago dos Patos. Aos fundos dava para ver a casa em estilo colonial construída pelo arquiteto Ramos de Azevedo e que hoje é o teatro Nelson Rodrigues.

3. Dados técnicos do lago

A área de superfície tem 18.800m² sendo a profundidade atual variando de 0,5m a 1,80m com profundidade média de 1,15m. O volume total de água armazenado é de 21.390m³.

O lago dos Patos é alimentado por seis minas de água que através de um tubo de 150mm de PVC que vem da av. Francisco Conde e o mesmo recebe dois outros tubos, um vindo do Nosso Clube de Vila Galvão com 150mm e outro de casa da família Marinelli na rua Santo Antonio. Existe ainda uma mina que sai perto da Casa dos Churros que vai ao lago.

A área da bacia a montante do lago dos Patos é de 105ha (1,05 km²)

O mesmo encontra-se assoreado, pois há muitos anos havia trampolim onde os mergulhadores davam shows, pois a profundidade máxima chegava a 6,00m conforme me informou o sr Moacyr Vasconcelos.

4 Problemas

Hoje, o lago dos patos encontra-se extremamente assoreado, cheio de peixes e apresentando de vez em quando florações de águas.

As florações de algas aparecem devido a entrada de nitrogênio e fósforo, causado por excesso de comida jogada aos peixes e patos, decomposição das folhas das árvores que caem no lago, fezes dos patos e gansos.

5. Balanço Hídrico

Com dados fornecidos pela Estação Climatológica da Universidade de Guarulhos calculamos a evaporação pelo Método de Penman-Monteith.

A entrada de água são as minas já citadas e a saída é um vertedor tipo Tulipa de diâmetro de 0,80m.

elaboramos o balanço hídrico:

Tabela 1- Balanço Hídrico

Volume mensal (m ³)=	4788
Vertedor tipo tulipa com tubo (m)=	0,8
Profundidade mínima=	0,5
Profundidade máxima=	1,8
Prof. Média=	1,15
Área da superfície (m ²)=	18800
Ilha (m ²)=	200
Área da superfície líquida (m ²)=	18600
volume (m ³)=	21390
Vazão base (litros/segundo x ha)	0,02
Área da superfície (m ²)=	18600
Área da bacia (ha)=	105
Volume do reservatório (m ³)=	21390

Tabela 2- Balanço Hídrico

Meses do ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Numero de dias no mês	31	28	31	30	31	30
Mês	1	2	3	4	5	6
precipitação média mensal (mm) =	254,14	251,65	200,87	58,32	70,28	39,02
Evaporação média mensal (mm)=	139,91	126,19	129,64	107,14	85,49	72,64
Precipitação na represa=	4727	4681	3736	1085	1307	726
área da represa xPrecipitação mensal (m ³)=						
Evaporação volume (m ³)=	2602	2347	2411	1993	1590	1351
evaporação mensal x área da superfície da represa=						
Vazão base (m ³ /mês)=	5625	5080	5625	5443	5625	5443
Balanço (m ³) volume que entra- volume que sai=	7749	7414	6950	4535	5342	4818
Balanço mensal o que fica no reservatório no fim do mês (m ³)=	7749	15163	21390	21390	21390	21390

Tabela 3-continuação Balanço Hídrico

Meses do ano	julho	ago	set	out	nov	dez	
Numero de dias no mês	31	31	31	30	31	30	
Mês	7	8	9	10	11	12	
precipitação média mensal (mm) =	30,85	24,92	75,13	137,39	130,49	214,74	1487,8
Evaporação média mensal (mm)=	80,56	104,06	108,25	130,19	138,51	144,11	1366,69
Precipitação na represa=	574	463	1397	2555	2427	3994	
área da represa xPrecipitação mensal (m ³)=							
Evaporação volume (m ³)=	1498	1936	2013	2422	2576	2680	
evaporação mensal x área da superfície da represa=							
Vazão base (m ³ /mês)=	5625	5625	5625	5443	5625	5443	
Balanço (m ³) volume que entra- volume que sai=	4700	4153	5009	5577	5475	6757	
Balanço mensal o que fica no reservatório no fim do mês (m ³)=	21390	21390	21390	21390	21390	21390	

O balanço hídrico nos mostra que o lago dos Patos não apresenta problema de ficar seco mantendo praticamente constante o volume médio de água de 21.390m³

6 Consumo de oxigênio dissolvido (OD) no lago dos Patos

Consumo de oxigênio dissolvido (OD) no lago dos Patos

A concentração de oxigênio dissolvido OD é dado pelas parcelas referentes a córrego tributário, saturação do OD, consumo de oxigênio devido a DBO e consumo de oxigênio devido a sedimentos no fundo do lago.

Adotaremos modelo de Thomann e Mueller, 1987.

$$C = \left(\frac{Q}{Q + K_L \times A} \right) \times c_{in} + \left(\frac{K_L \times A}{Q + K_L \times A} \right) \times c_s - \left(\frac{V \times K_d}{Q + K_L \times A} \right) \times L - \left(\frac{Wc}{Q + K_L \times A} \right)$$

Como temos consumo de oxigênio pelo sedimento:

$$Wc = S_B \times A$$

Sendo:

C= concentração de oxigênio dissolvido (DO) na lagoa (mg de O₂/ L x dia)

Q=vazão de descarga= 184m³/dia

K₂= taxa de transferência de OD para reatuação=0,58/dia

K₁= coeficiente devido deoxidação referente a DBO= 0,58/dia

L= DB0 existente nas lagoas no início = 2mg/L

A=área da superfície do lago= 18.800m²

V= volume do lago= 21.390m³

K_s= S_B=demanda de oxigênio pelo sedimento= 1,056g/m²/dia (adotado)

c_{in} = concentração da água que entra no lago com OD=7,0mg/L

c_s= saturação do DO a 20°C na altitude 760,00m de Guarulhos =8,3mg/L

T= 20°C

Resolução do problema:

Cálculo do volume do lago V

$$V = 21.390m^3$$

Vazão de entrada e de saída

$$Q = 184m^3/dia$$

Tempo de detenção ou tempo de residência

$$td = V/Q = 21.390m^3 / 184m^3/dia = 116 \text{ dias}$$

Coeficiente K_L para o lago

$$K_L = 0,728 \times U^{0,5} - 0,317 \times U + 0,0372 \times U^2$$

Sendo:

U= velocidade do vento a 10m de altura (m/s)

U=3,5m/s (média de Guarulhos na Estação Climatológica da UNG)

$$K_L = 0,728 \times 3,5^{0,5} - 0,317 \times 3,5 + 0,0372 \times 3,5^2 = 0,71m/dia \text{ (0,6m/dia a 0,9m/dia) OK.}$$

Concentração de saturação c_s

Podemos achar a saturação do oxigênio usando uma tabela ou calculando.

C_s= 8,30mg/L para temperatura de 20°C altitude 760m em Guarulhos.

Cálculo da concentração de OD no lago

$$C = \left(\frac{Q}{Q + K_L \times A} \right) \times c_{in} + \left(\frac{K_L \times A}{Q + K_L \times A} \right) \times c_s - \left(\frac{V \times K_d}{Q + K_L \times A} \right) \times L - \left(\frac{Wc}{Q + K_L \times A} \right)$$

$$Q + K_L \times A = 184m^3/dia + 0,71 \times 18.800m^2 = 13.532m^3/dia$$

$$Wc = S_B \times A$$

$$S_B=K_S= 1,056 \text{ g/m}^2/\text{dia (adotado)}$$

$$W_c= 1,056 \times 18.800\text{m}^2=19853$$

$$C= (1840 / 13.532) \times 7,00 + (0,71 \times 18.800 / 13.532) \times 8,30 - (21.390 \times 0,58 / 13.532) \times 2,0 - (19853 / 13532)$$

$$C= 0,95 + 8,19 - 1,83 - 1,47 = \mathbf{5,84 \text{ mg de O}_2/\text{L}}$$

Portanto, a concentração de OD no lago dos Patos é de 5,84mgO₂/L x dia

Como o lago tem algas elas produzem e consomem oxigênio para a sua respiração. É importante calcular a variação de oxigênio durante um dia como veremos abaixo.

7 Cálculo do oxigênio dissolvido durante o dia devido ao fitoplancton.

Devido a energia solar, a fotossíntese só ocorre durante o dia.

$$p_a = p_s \times G \text{ (Ia)}$$

Sendo

p_a = oxigênio dissolvido durante o dia em mg O₂/ L x dia

p_s = produção de luz que produz o oxigênio dissolvido saturado.

$p_s = aop \times P$

$aop = 0,25$ razão em mg de DO / µg de clorofila a que varia de 0,1 a 0,3. Vamos adotar $aop = 0,25$ que é a taxa de luz que produz demanda de oxigênio saturado.

P = clorofila a em µg/L = 8 µg/L (admitido: é uma quantidade grande)

$$p_s = 0,25 \times P = 0,25 \times 8 = 2,5 \text{ µg/L} = 2,0 \text{ mg O}_2/\text{L x dia}$$

$G \text{ (Ia)}$ = fator de atenuação da luz de acordo com a profundidade e em um dia

$$G \text{ (Ia)} = 2,718 \times f \left(e^{-\alpha_1} - e^{-\alpha_0} \right) / \left(K_e \times H \right)$$

$$G \text{ (Ia)} = 2,718 \times 0,6 \left(e^{-0,01} - e^{-1,42} \right) / \left(6,818 \times 1,15 \right) = 0,16$$

$$p_a = p_s \times G \text{ (Ia)} = 2,0 \times 0,16 = 0,32 \text{ mg O}_2/\text{L x dia}$$

Sendo:

$$\alpha_0 = I_a / I_s = 500/350 = 1,42$$

$H = 1,15\text{m}$ = profundidade média (adotado)

Cor aparente = 150 uH

Turbidez = 83 uT

$$K_e = 2,78 + 0,007 \times \text{Cor} + 0,036 \times \text{turbidez}$$

$$K_e = 2,78 + 0,007 \times 150 + 0,036 \times 83 = 6,818$$

$$K_e = 6,818$$

z = profundidade de atividade da fotossíntese (m)

$$z = 4,6/K_e = 4,6/6,818 = 0,67\text{m}$$

$$\alpha_1 = \alpha_0 \times e^{-K_e \times z} = 1,42 \times e^{-6,818 \times 0,67} = 0,01$$

Sendo:

K_e = coeficiente de extinção da luz (1/m) = 6.818/dia

I_a = média da radiação solar durante o dia em Langley/dia = 500 Langleys/dia.

Nota: Langley/dia ($L_y - 1 \text{ caloria/cm}^2 = 2,06 \text{ w/m}^2$)

I_s = luz no qual o fitoplâncton cresce ao máximo em Langley/dia e que varia de 250 a 500 = 350 Langley/dia

f = foto período (fração da duração da luz do dia) = 0,6 dia

Estimativa da variação diurna do oxigênio devido a fotossíntese (fitoplâncton)

$$\frac{\Delta}{P_{av}} = \frac{\left(1 - e^{-K_e f T} \right) \left(1 - e^{-K_e T (1-f)} \right)}{f K_e \left(1 - e^{-K_e T} \right)}$$

$f = 0,6$ dias

$$T=1\text{ dia}$$

$$K_2=0,58/\text{dia}$$

$$p_a=0,32 \text{ mg O}_2/\text{L x dia}$$

$$\Delta c/p_a = \frac{[(1 - e^{-K_a \times f \times T}) \times (1 - e^{-K_a \times T \times (1-f)})] / [f \times K_a \times (1 - e^{-K_a \times T})]}{[(1 - e^{-0,58 \times 0,6 \times 1\text{ dia}}) \times (1 - e^{-0,58 \times 1 \times (1-0,6)})] / [0,6 \times 0,58 \times (1 - e^{-0,58 \times 1\text{ dia}})]}$$

$$\Delta c/p_a = 0,40$$

$$\Delta c = 0,40 \times 0,32 = 0,13 \text{ mg O}_2/\text{L x dia}$$

O valor Δc achado mostra que durante o dia oxigênio dissolvido aumenta ou diminui de 0,13mg O₂/ L x dia.

Supondo que o oxigênio dissolvido no lago é de 4,91mg/L poderá haver variação de oxigênio:

$$5,84 - 0,13 = 5,71 \text{ mgO}_2/\text{L x dia}$$

$$5,84 + 0,13 = 5,97 \text{ mgO}_2/\text{L x dia}$$

Portanto, quando a temperatura for de 20°C a variação de oxigênio dissolvido no Lago dos Patos irá variar de 5,71mgO₂/L x dia a 5,97mgO₂/ L x dia.

Respiração das algas R

$$a_{op} = 0,25/\text{dia}$$

$$\mu_R = 0,1$$

$$P = 8 \mu\text{g/L}$$

$$R = a_{op} \times \mu_R \times P = 0,25 \times 0,1 \times 8 = 0,2 \text{ mg/O}_2/\text{L x dia}$$

Portanto, as algas produzem em média 0,32mg O₂/L x dia de oxigênio mas como precisam respirar consumo 0,20 mg/L x dia de oxigênio, havendo uma variação média durante o dia de 0,13mgO₂/L x dia.

8- Conclusão

O lago dos Patos localizado em Vila Galvão, Guarulhos é um patrimônio histórico de Guarulhos e tem normalmente o equilíbrio de oxigênio dissolvido de 5,0 mg O₂/Lx dia, que é o suficiente para manter o ecossistema aquático existente.

O lago dos Patos está isendo de contaminação de esgotos ou de outra fonte conforme constado.

É recomendável que o lago fosse desassoreado para voltar a profundidade original e que de vez em quando fosse diminuída a quantidade de peixes, devendo-se tomar o cuidado de não se comer as entranhas devido a presença de algas cianofíceas no mesmo.