

Capítulo 62 Reservatório de retenção

- O número maçônico Φ relativo à proporção áurea pode ser obtido por
 $\Phi = 0,5 \times (1 + 5^{0,5}) = 1,61803....$



Reservatório de retenção (wet pond)

,

Sumário

Ordem	Assunto
	Capítulo 62 – Reservatório de retenção
62.1	Introdução
62.2	Profundidade
62.3	Borda livre
62.4	Largura das estradas de acesso
62.5	Área de superfície da lagoa.
62.6	Paisagismo e estética
62.7	Relação comprimento e largura da bacia de retenção alagada
62.8	Declividade natural do solo na bacia de retenção alagada
62.9	Área da bacia de retenção alagada
62.10	Drenagem da bacia de retenção alagada
62.11	Manutenção da bacia de retenção alagada
62.12	Critério de seleção
62.13	Limitações
62.14	Custos
62.15	Configuração
62.16	Pré-tratamento
62.17	Manutenção
62.18	Critérios de projeto
62.19	Monitoramento
62.20	Borda livre
62.21	Dimensionamento do reservatório de retenção conforme CIRIA, 1997
62.22	Estimativa do transporte de TSS e fósforo de duas pequenas cidades
62.23	Método de New Jersey para achar o TSS
62.24	Estudo de poluente (fósforo e nitrogênio) em um reservatório de retenção
62.25	Método de Vollenweider para análise simplificada de eutrofização de um lago para fósforo e nitrogênio.
62.26	Balanço hídrico
62.26	Bibliografia e livros consultados

17 páginas

Capítulo 62 – Reservatório de retenção (wet pond)

62.1 Introdução

O reservatório de retenção (*Wet pond*) é uma lagoa que tem como objetivo de melhoria da qualidade das águas pluviais conforme Figuras (62.1) e (62.2), possuindo dois reservatórios principais, sendo um permanente e outro temporário. Ainda pode ser reservado um volume para água de irrigação o que é bastante comum e deverá ser previsto volume para detenção de enchente quando for construído *on line*.

A área mínima é de 4ha e máxima de 60ha. É uma forma eficiente para melhorar a qualidade das águas pluviais. Os poluentes são removidos pela ação da gravidade e por processos biológicos.

O reservatório de retenção é a que tem **maior eficiência para a remoção dos poluentes**, sendo a mais usada nos Estados Unidos e outros países desenvolvidos.



Figura 62.1 –Reservatório de retenção em uma bairro residencial
Fonte: Lincoln, 2006

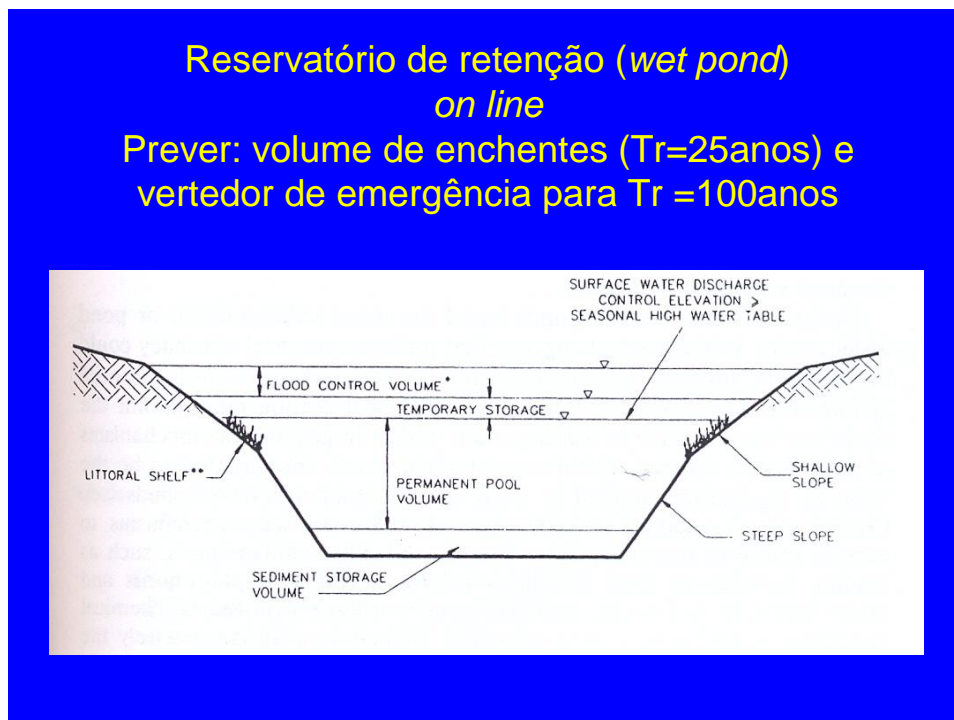


Figura 62.2- Reservatorio de retenção
Fonte: Wanielista e Yousef, 1993

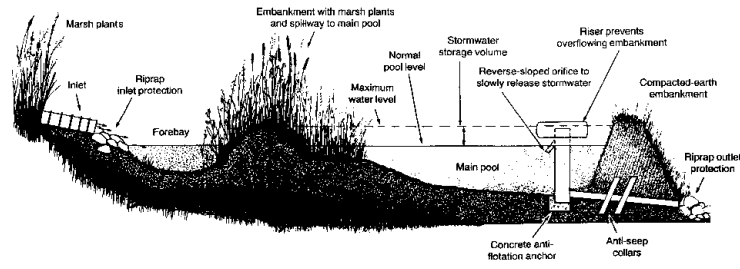


Figura 62.3 – Esquema de reservatório de retenção observando-se a esquerda o pré-tratamento (*forebay*) e a direita a lagoa propriamente dita.

62.2 Profundidade

As profundidades adotadas nos reservatórios de retenção variam conforme a cidade sendo recomendável um mínimo de 0,90m e máximo de 1,80m.

Tabela 62.1 - Profundidades mínima e máxima de um reservatório de retenção

Local	Profundidade mínima (m)	Profundidade máxima (m)
Cidade de Houston, 2001	0,90	1,80
Condado de Harris, 2001	0,90	1,80
Cidade de Raleigh, 2001	0,60 a 0,90	1,80 a 2,40
Cidade de Alberta, 1997	2,00	3,00
Ontário, 2003	1,00	3,00
Cidade de Portland	0 a 0,60 (30% da área)	0,60 a 1,80 (70% da área)
Wanielista e Yousef, 1993		1,5m a 1,80m

A profundidade tem que ser escolhido usando vários critérios. Não pode ser muito grande para que não haja estratificação térmica. Não pode ser muito pequena para não propiciar o crescimento de algas e não pode ser maior que 1,60m para não ser perigosa a alguém que caia ou vá nadar na lagoa.

A cidade de *Portland*, 2000 ainda considera que o **pré-tratamento** tenha aproximadamente 10% da superfície da área da lagoa.

62.3 Remoção de poluentes

Tabela 62.2- Redução de poluentes

Reservatório de retenção (wet pond)	
• Muito eficiente para a remoção dos poluentes	
• TSS remove 80%	
• TP remove 50%	
• TN remove 35%	
• Metais remove 60%	
• Bactérias remove 70%	

Fonte: New York State Stormwater Management Design Manual, 2002.

62.4 Largura das estradas de acesso

De modo geral, a largura é de 7,5m para passagem de máquinas pesadas e caminhões em caso de manutenção e emergência. Em volta do reservatório deverá haver acesso para caminhões.

62.5 Área de superfície da lagoa.

Uma estimativa da área que vai ocupar o reservatório de retenção pode ser feita conforme a Tabela (62.3), onde se entra com a profundidade escolhida para o reservatório e com a área impermeável da bacia e achamos a área da superfície em porcentagem da área total.

O Estado de New Jersey, 2004 adota a **área mínima da lagoa de 1000m²** para a lagoa permanente.

Tabela 62.3 – Porcentagem da Área de superfície da área total de um reservatório de retenção em função da área impermeável e da profundidade.

Área impermeável (%)	Profundidade da lagoa (m)			
	1,07m	1,20m	1,50m	1,80m
6% a 30%	0,9%	0,8%	0,7%	0,5%
30%	2,1%	1,8%	1,5%	1,3%
50%	3,5%	3,0%	2,5%	2,1%
70%	4,8%	4,3%	3,5%	2,9%

A cidade de Thurston, 2002 Adota que a área mínima da lagoa seja de 2,5% da área impermeável da bacia.

Michigan 1999 mostra uma maneira de se estimar a superfície de uma reservatório de retenção que é uma porcentagem da área total. A área do reservatório vai depender do tamanho da partícula que queremos sedimentar. Uma estimativa é para areia fina varia de 10 a 100 micra, enquanto que para o silte é aproximadamente 10 micra e para argila é aproximadamente 1 micron.

Para facilitar a estimativa temos a Tabela (62.3A).

Tabela 62.3 A- Estimativa da área do reservatório de detenção baseado na porcentagem da área total

Uso do solo	Partícula com 5 micra (%)	Partícula com 20 micra (%)
Estradas	2,8	1,0
Indústrias	2,0	0,8
Comércio	1,7	0,6
Institucional	1,7	0,6
Residência	0,8	0,3
Espaços abertos	0,6	0,2

Fonte: Michigan, 1999

62.6 Paisagismo e estética

Peter Stahre e Ben Urbonas, 1990 aconselham o uso recreacional para a comunidade do reservatório e os aspectos estéticos do mesmo.

Exemplo 62.1

Uma bacia de 20ha de área, sendo a porcentagem de impermeabilização de 70%. Calcular a área aproximada que irá ocupar o reservatório de retenção que tem profundidade de 1,20m.

Da Tabela (62.2) para 70% e profundidade de 1,20m, achamos área de 4,3%. Portanto, a área do reservatório será de aproximadamente:

$$4,3\% \times 20\text{ha} \times 10000\text{m}^2 / 100 = 8.600\text{m}^2.$$

62.7 Relação comprimento e largura do reservatório de retenção

A relação aconselhada entre o comprimento e a largura é de 3:1, podendo chegar até 4:1. A cidade de Alberta – USA, adota relação comprimento/ largura de 4:1 a 5:1.

Wanielista e Yousef, 1993 recomendam a relação mínima de 4: 1 para quando a mesma trabalhar como reator em *plug flow*.

62.8 Declividade natural do solo do reservatório de retenção

A declividade deve ser, de preferência, 3H:1V.

62.9 Área do reservatório de retenção

Houston adota que, para controle da qualidade da água, a área da bacia tem que ser maior que 4ha. A cidade de Portland, 2001 adota que a área da bacia da retenção alagada deverá estar entre 2ha a 60ha.

O Estado de New Jersey, 2004 adota a área mínima de 8 ha para um reservatório de retenção para que seja garantido a vazão base para manter a lagoa com água. Para áreas menores que 8ha deverá haver justificativa.

O Estado de Virginia, 1992 adota para garantir a vazão base a área da bacia mínima de 20 ha.

62.10 Drenagem do reservatório de retenção

O esvaziamento do reservatório temporário será de 24h (dia) a 120h (5dias), sendo o recomendado por Wanielista e Yousef, 1993 o valor de 72h (3dias). Entretanto para o Brasil devido ao mosquito da dengue sugerimos que seja usado o tempo de detenção de 24h, pois conforme Grizzard et al, 1986 in Wanielista e Yousef, 1993 remove 90% ou mais de sólidos em suspensão.

A cidade de Portland, 2001 recomenda que, quando o reservatório de retenção está “on line”, o vertedor de emergência deve ser para Tr= 100anos. Se o reservatório para controle da qualidade está “off line”, mesmo assim o reservatório deverá ser dimensionado para Tr= 25anos.

62.11 Manutenção do reservatório de retenção

As seguintes recomendações devem ser feitas (Houston):

- Estabelecer programa de manutenção e inspeção;
- Os sedimentos devem ser retirados quando atingir aproximadamente 1/3 da profundidade do projeto;
- Os papéis, lixos e outros, devem ser removidos a cada seis meses, ou antes;
- A vegetação deve ser removida duas vezes por ano;
- Deve ser feita inspeção visual após chuva maior que 25mm em 24h.
- É recomendável uma inspeção anual completa;
- Quando o nível do reservatório temporário não abaixar em mais de 72h, significa que há entupimento e o reservatório total deverá ser esvaziado.

62.12 Critério de seleção

- Áreas de $2\text{ha} < A < 60\text{ha}$ (Cidade de *Portland*, 2001) ou $A > 5\text{ha}$ (Austrália, 2000).
- **Áreas $4\text{ha} \leq A \leq 250\text{ha}$ ($2,50\text{km}^2$) Estado de *Massachusetts*, 1997.**
- **Área $A \geq 5\text{ha}$ e, de preferência $A \geq 10\text{ha}$ (Ontário, 2003).**
- O pré-tratamento é necessário sempre.
- Pode ser integrada ao uso da água de irrigação.
- Aumenta o valor dos imóveis.
- Os aspectos estéticos são bons.
- Melhora muito o habitat aquático.
- Solo tipo C ou D do SCS são ótimos.
- Para solo tipo A ou B do SCS é necessário *impermeabilizar* o fundo da bacia de retenção.
- A máxima declividade é de 8%.
- A borda da bacia de retenção deverá ter declividade máxima de 3 (H): 1 (V).

62.13 Limitações

- Não pode ser construída em lugares com instabilidade devido a declividades.
- Possibilidade de degradar o habitat a montante e a jusante da lagoa de retenção alagada.
- Pode ter problemas de lixo e de odores.
- Pode causar impactos de eutrofização e efeitos adversos a jusante.
- Pode ter problemas com mosquitos.
- Pode ser uma barreira para a migração da fauna.
- Pode agravar as enchentes a montante, se houver entupimento nas estruturas de saída.
- A infiltração para recarga do manancial subterrâneo é mínima.
- Pode causar problemas em potencial a jusante devido ao aquecimento da água (para certo tipo de peixes, como as trutas).

62.14 Custos

- Precisa de muita área de terra.
- Alto custo de capital.
- Custo de manutenção moderado.
- Custa mais que um reservatório com retenção estendida (ED).
- **O custo da manutenção anual é de 3% a 5% do custo da construção.**

Tabela 62.4- Custo típico das BMPs

Tipo de BMP	Custo Típico US\$ /m ³
Reservatório de retenção	18 a 35
<i>Wetland</i> (alagadiço)	21 a 44
Trincheira de infiltração	141
Bacia de infiltração	46
Filtro de areia	106 a 212
Vala gramada	18
Data base: 1997	

Fonte: ASCE, 1998

62.15 Configuração

- A relação comprimento/ largura deve estar entre 3:1 e 5:1.
- A entrada deve estar o mais longe possível da saída.
- Deve-se construir de modo que não haja um escoamento preferencial para as águas, isto é, o curto circuito.

62.16 Pré-tratamento

É muito importante o pré-tratamento do reservatório de retenção.

Deve haver pré-tratamento com cerca de 10% a 20% do WQv.

A profundidade mínima deve ser de 1,00m, para evitar ressuspensão e a máxima de 1,5m, por motivos de segurança.

62.17 Manutenção

- Deve ser removida a vegetação indesejável ser feita à roça constantemente.
- Deve ser inspecionada frequentemente.
- Deve ser feita a floculação quando for julgado apropriado, usando sulfato de alumínio, por exemplo.
- Deve ser feito monitoramento sobre a vegetação aquática e os aspectos estéticos.
- O lixo deve ser removido.
- Os sedimentos acumulados devem ser removidos para aterros sanitários.
- Deve ser feito monitoramento a cada seis meses ou depois de um evento de chuva importante.
- Devemos ter cuidado com o desenvolvimento de vetores (*Anopheles*, *Aedes aegypti*, *Culex*, Flebótomos e Triatomíneos) transmissores de doenças como malária, febre amarela, dengue, etc).
- Os mosquitos podem ser controlados através de uso mensal de inseticidas, uso de certas espécies de peixes come as larvas dos mosquitos. Existem também bactérias que causam doenças nos mosquitos. A variação do nível da lagoa com as chuvas criará problemas para o desenvolvimento das larvas dos mosquitos, pois o volume de água deslocará as largas das vegetações para a água aberta e para a zona de sedimentação onde as mesmas serão expostas aos predadores. Conforme estudos feitos na Universidade de Purdue sobre o problema de minimizar o problema dos mosquitos são recomendadas:
 1. Peixes e insetos aquáticos
 2. Ação do vento
 3. Perturbação na água devido as chuvasO uso de inseticida deve ser a última opção,
- Cuidados especiais devem ser tomados contra surtos de algas.
- ***Aedes aegypti***: é de origem do Egito e tem a cor escura e manchas brancas no corpo sendo o transmissor da dengue. As fêmeas picam a qualquer hora do dia, preferentemente ao amanhecer e próximo ao crepúsculo. O homem é mais picado que qualquer outro animal. Nas águas paradas depositam os seus ovos que são fixados acima do nível da água. Gostam de água limpa. No combate à dengue, os cientistas estudam fungos, vírus, bactérias e protozoários que atacam o mosquito. Outra estratégia é buscar animais que se alimentem do *Aedes aegypti*. Mas esses inimigos naturais não conseguem sozinhos evitar uma epidemia.
- ***Pernilongo, ou seja, o Culex***: as fêmeas botam de 100 a 400 ovos de uma vez e estas são colocadas numa espécie de jangada flutuante. Uma das maneiras de controlar os pernilongos é usar produtos químicos (chamados de inseticidas) que eliminam as larvas e os adultos de mosquitos. Existem insetos em que o inseticida não faz mais efeito.

62.18 Critérios de projeto

- Caso seja feita *on line* deverá ter vertedor para $T_r = 100$ anos.
- Deverá possuir *rip-rap*.
- **Não pode ser feito em áreas menores que 4ha devido a vazão base necessária.** *Maryland*, 2000 aconselha usar, preferentemente, como mínimo 10ha.
- Cerca de 70% da área da lagoa deve ter profundidade entre 0,60m a 1,80m
- Cerca de 30% da área da lagoa deve ter profundidade ente 0 a 0,60m.
- A profundidade máxima do reservatório permanente deve ser de 1,80m.
- Ao longo do perímetro da lagoa pode haver profundidade de 0 a 0,60m.
- **O volume 0,5xWQv ou 1x WQv fica destinado ao reservatório permanente e o volume 0,5 WQv ou 1 WQv fica reservado para ser escoado em 24h.**
- A lagoa pode causar um aumento da temperatura da água que pode causar problemas para espécies aquáticas sensíveis à jusante.
- Quando há necessidade de se impermeabilizar a lagoa nos solos tipo A ou B do SCS pode ser usado:
 - 150mm de argila
 - polivinil
 - bentonita
 - 150mm de silte francoso ou mais fino.

O dimensionamento é feito com as seguintes Equações (62.1) e (62.2):

Coefficiente de runoff volumétrico

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI \quad (\text{Equação 62.1})$$

Sendo:

R_v = coeficiente de *runoff* volumétrico que depende da área impermeável (AI).

AI = área impermeável da bacia (%);

Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (WQv)

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A \quad (\text{Equação 62.2})$$

Sendo:

WQv = volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m³)

A = área da bacia (m²).

P = *first flush*, isto é, precipitação correspondente a 90% das precipitações conforme *Schueler*, 1987. No caso da RMSP para a cidade de Mairiporã, tomando precipitações diárias de 1958 a 1995 para 90% das precipitações, achamos para o *first flush* o valor de P = 25mm (vinte e cinco milímetros).

Volumes da bacia alagada

Há dois volumes: permanente e temporário.

Volume permanente

Existem vários critérios para o volume permanente, sendo um aquele que adota o volume WQv integralmente e outro aquele que adota 0,50 x WQv.

$$\text{Volume permanente} = WQ_v$$

$$\text{Volume temporário} = WQ_v$$

Para 0,5 x WQv.

$$\text{Volume permanente} = 0,5 \times WQ_v$$

$$\text{Volume temporário} = 0,5 \times WQ_v$$

”

Nota: quanto maior o reservatório de retenção (wet pond) melhor será a sua eficiência na deposição de TSS e de fósforo.

Exemplo 62.3 - Dimensionar uma bacia de retenção alagada a ser construída *off line* em bacia com área de 30ha (devido a vazão base necessária), a área impermeabilizada de 60% e solo tipo C do SCS.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI = 0,05 + 0,009 \cdot 60 = 0,59$$

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A = (25\text{mm}/1000) \cdot 0,59 \cdot (30 \cdot 10000) = 4.425\text{m}^3$$

Para o **pré-tratamento** deveremos reservar cerca de 10% do volume WQv, ou seja, 0,1 WQv = 0,1 x 4.425m³ = 443m³.

$$\text{A bacia alagada deverá ter volume total de: } 4.425\text{m}^3 - 443\text{m}^3 = 3.982\text{m}^3$$

Adotando profundidade média de 1,80m e que o comprimento seja 3 vezes a largura teremos:

$$3 L \cdot L \times 1,80\text{m} = 3.982\text{m}^3$$

$$L = 27\text{m}$$

$$\text{Comprimento} = 3 \times L = 3 \times 27\text{m} = 81\text{m}$$

O reservatório de retenção **terá 50% de WQv permanente**, ou seja, 0,5 x 3.982m³ = 1.991m³

Os outros 50%, ou seja, 1.991m³ restantes deverão ser armazenados temporariamente e deverão escoar no mínimo em 24 horas.

Dimensionamento do diâmetro do orifício para esvaziar 738m³ no mínimo em 24h.

A vazão média será:

$$Q_{\text{médio}} = 0,5WQ_v / (\text{número de segundos durante um dia})$$

$$Q_{\text{médio}} = 0,5WQ_v / 86.400\text{s} = 1.991\text{m}^3 / 86.400\text{s} = 0,023\text{m}^3/\text{s} = 23 \text{ L/s}$$

$C_d = 0,62$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Podemos usar o método da média.

A profundidade média é 1,80m, mas o reservatório temporário tem profundidade de 0,90m e abaixo de 1,80m.

A altura média será: $h = (1,80 - 0,90) / 2 + 0,90 = 1,35\text{m}$

A área da seção do orifício será:

$$A = Q_{\text{médio}} / C_d \times (2 g h)^{0,5} = 0,023 / [0,62 \times (2 \times 9,81 \times 1,35)^{0,5}] = 0,0072\text{m}^2$$

A taxa do reservatório permanente será: $1991\text{m}^3 / 30\text{ha} = 66 \text{ m}^3/\text{ha}$

Diâmetro orifício

$$D = (4 A / \pi)^{0,5} = (4 \times 0,0072 / \pi)^{0,5} = 0,096\text{m}$$

Portanto, o diâmetro de saída é de 0,10m para o reservatório temporário.

Como se trata de solo tipo C, não haverá necessidade de impermeabilizar o fundo da lagoa.

62.19 Monitoramento

Os parâmetros típicos para monitoramento do reservatório de retenção deve incluir no mínimo o seguinte (Cidade de Alberta, 1999).

- Sólidos Totais em Suspensão (TSS)
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)
- Oxigênio Dissolvido (OD)
- Bactérias
- Substâncias tóxicas como chumbo, zinco, cobre, mercúrio, etc.
- Nutrientes como fósforo, Nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito, nitrato, etc.

A turbidez, cor e odor se relatam a aspectos estéticos que podem ser incorporados ao monitoramento dependendo da localização do reservatório de retenção.

O monitoramento de nutrientes estão associados ao problema de se ter um surto de algas, que também apresentará problemas estéticos.

A frequência com deve ser feito o monitoramento deve ser prevista no projeto da lagoa.

Como a lagoa é para o armazenamento de águas pluviais é perigoso que o peixe seja consumido, devendo a pesca ser proibida, devendo os peixes também serem monitorados devidos as substâncias tóxicas.

62.20 Borda livre

A cidade de *Raleigh, 2001* adota a borda livre maior que 0,30m.

62.21 Dimensionamento do reservatório de retenção conforme CIRIA, 1997

As recomendações da CIRIA, 1997 sobre o volume do reservatório permanente é que quanto maior melhor (*bigger is better*). Mas aconselham que o **volume mínimo** deve ser equivalente a uma das regras:

- 12 a 15mm de runoff de toda a área da bacia
- 12 a 15mm de runoff da área impermeável da bacia
- 2,5 vezes o volume do runoff gerado pela precipitação média anual em toda a bacia
- 4 vezes o volume do runoff gerado pela enchente anual, prevendo duas semanas de retenção.

A idéia da CIRIA, 2007 é obter um **tempo ótimo de residência** para a remoção do poluente. As primeiras três regras baseiam-se na sedimentação e a última possui os melhores resultados biológicos.

62.22 Estimativa do transporte de TSS e fósforo de duas pequenas cidades

Pesquisas feitas por Willian W. Walker Jr em Massachusetts conseguiu o gráfico da Figura (62.4) que mostra a quantidade de fósforo dependendo da area impermeavel. Quanto maior a área impermeável maior será a exportação de fósforo para o reservório de retenção.

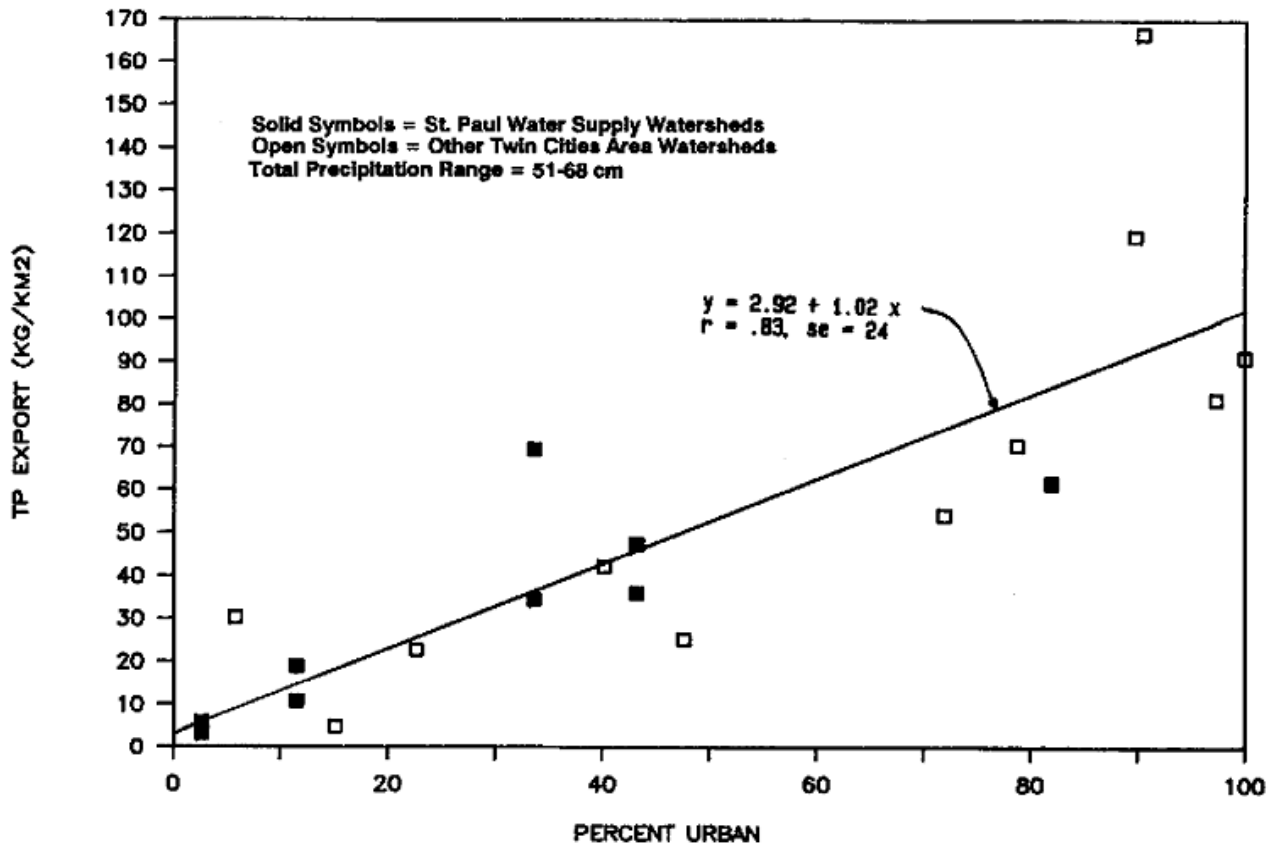


Figure 1.-Phosphorus export vs. urban land use for twin cities watersheds.

Figura 62.4- Remoção de TSS e PT em reservatórios de retenção
Fonte: Willian W. Walker Jr, Massachusetts.

62.23 Método de New Jersey para achar a remoção do TSS

New Jersey, 2004 usa o gráfico da Figura (62.5) para o dimensionamento de *wet pond* para diversos tempo de detenção do reservatório temporário baseado na remoção do TSS.

Observar que na abscissa temos a relação do volume permanente VP dividido pela volume WQv que determinamos. No mínimo deverá ser igual sendo o dial que fosse maior.

$$VP/WQv$$

Se o volume do reservatorio permanente for igual ao volume WQv então a relação será 1 e para detenção do reservatorio temporário de 24h teremos remoção de 80% de TSS.

Caso queiramos aumenta a remoção para 90% teriamos que o resevatório permanente deveria ter volume 3 vezes maior que WQv.

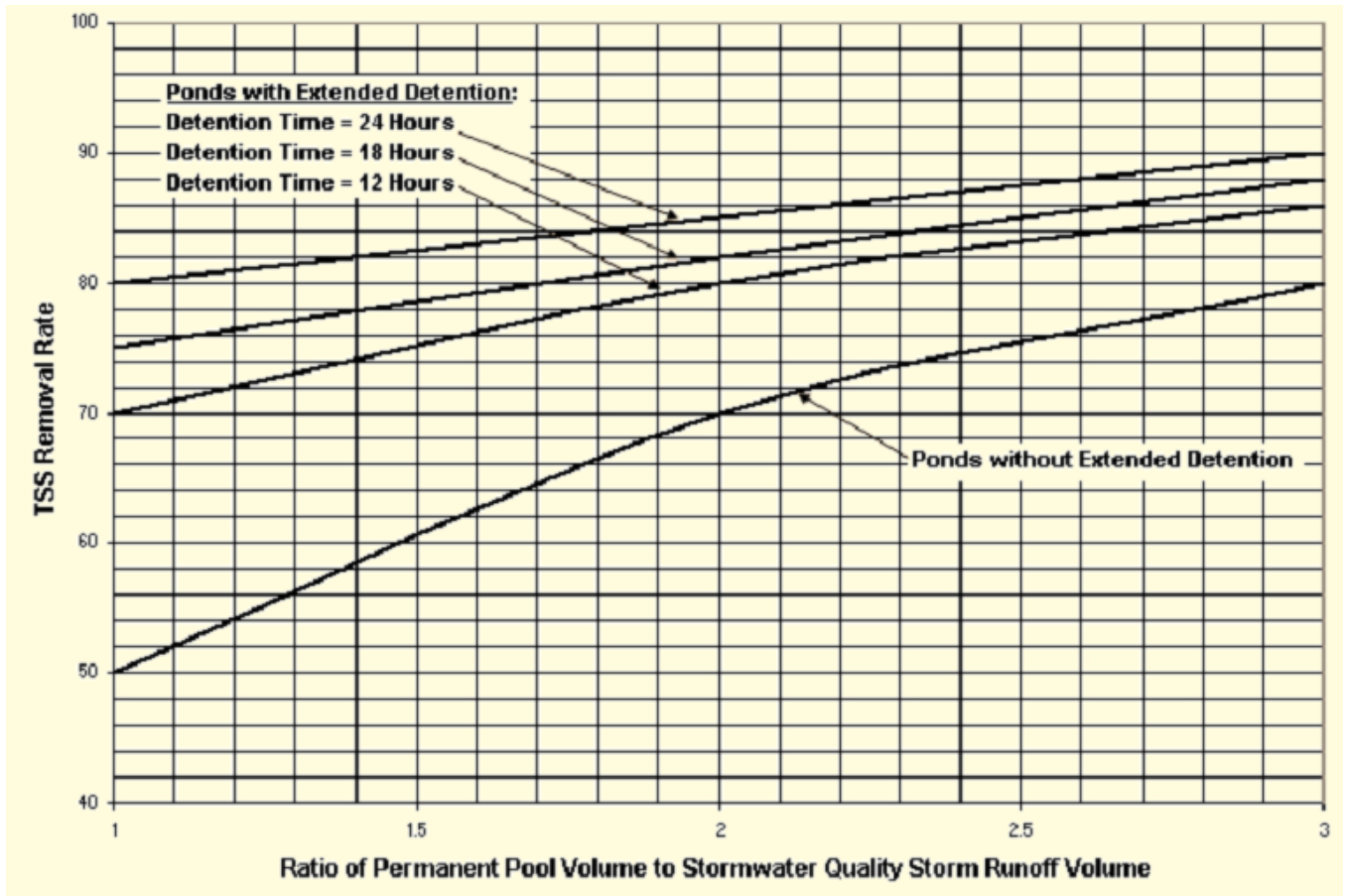


Figura 62.5- Gráfico usado em New Jersey para determinar a remoção de TSS em função da divisão do volume permanente com o volume calculado para melhoria da qualidade da água.

62.24 Estudo de poluente (fósforo e nitrogênio) em um reservatório de retenção

Conforme Wanielista e Yousef, 1993 há duas maneiras diferentes de se operar um reservatório de retenção. O primeiro é o denominado *flow through intermediate mixed reactor* e o segundo é o *batch reactor*.

Para se ver o poluente fósforo usaremos o método simplificado de Vollenweider que será explicado abaixo.

62.25 Método de Vollenweider para análise simplificada de eutrofização de um lago para fósforo e nitrogênio.

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:

$$V \cdot dp/dt = \sum Qi \cdot pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p$$

$$V \cdot dp/dt = W - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p$$

$$Ks = vs/H$$

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)

$\sum Qi \cdot pi = W$ = 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 $W = \sum Qi pi$, teremos:

$$V \cdot dp/dt = \sum Qi \cdot pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p$$

$$0 = \sum Qi pi - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p$$

$$0 = W - Ks \cdot p \cdot V - Q \cdot p = W - p(Ks \cdot V + Q) = 0$$

Donde: $p = W / (Ks \cdot V + Q)$

Ou $p = W / (Q + vs \cdot As)$

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)

$$p = W / (Ks \cdot V + Q)$$

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

$$p = W/As / (Ks \cdot V / As + Q/As)$$

$$p = W / (Q + vs \cdot As)$$

$$p = W/As / [(Ks \cdot H + (Q/V) \cdot H)]$$

Denominando $W' = W/As$

$$p = W' / [(Ks \cdot H + (Q/V) \cdot H)]$$

Taxa de saída da água $q = Q/As$

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

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

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

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 (62.5) estão os valores de K_s calculados conforme

Tabela 62.5- 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 (62.6) estão alguns valores de K_s calculado por $K_s=10/H$

Tabela 62.6- Valores de K_s simplificado $K_s=10/H$

Prof. H(m)	K_s
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 62.4

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

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 v_s 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.

62.26 Balanço hídrico

Deve ser feito um balanço hídrico para ver se o reservatório não ficará vazio nos meses com pouca chuva devido a evapotranspiração e ou retirada de água para irrigação

$$\Delta V = P + R_o + Q_b - I - E - E_{T_o} - O_v - O_u$$

Sendo:

ΔV = variação do volume no tempo de um mês ($m^3/mês$)

P = volume precipitado na superfície da água ($m^3/mês$)

R_o = volume referente ao escoamento superficial ou *runoff* da área que cai na represa ($m^3/mês$)

Q_b = volume referente a vazão base que chega à represa ($m^3/mês$)

I = infiltração da água no solo na represa ($m^3/mês$)

E = evaporação na superfície líquida da represa ($m^3/mês$)

E_{T_o} = evapotranspiração de referência na superfície líquida para plantas emergentes da represa ($m^3/mês$)

O_v = *overflow*, isto é, volume que sairá da represa ($m^3/mês$)

O_u = volume retirada para outros fins, tal como irrigação ($m^3/mês$)

Vamos explicar com mais detalhes cada parâmetro da Equação (40.2), sempre observando que usaremos o intervalo de um mês.

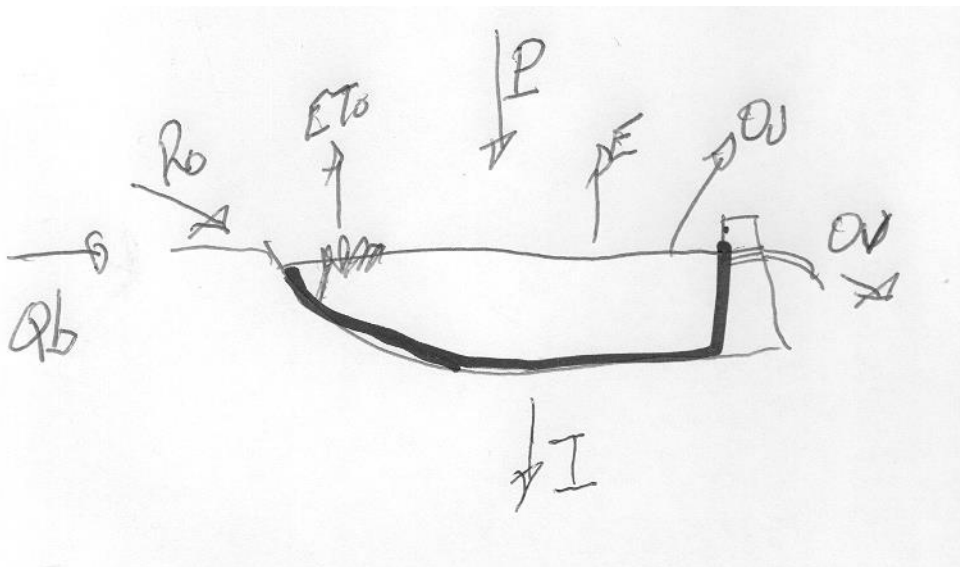


Figura 62.6- Esquema do balanço hídrico em um barramento

62.27 Bibliografia e livros consultados

- CIRIA (CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION). *Design of flood storage reservoirs*. Inglaterra, 140 páginas, 1996.
- MENEREY, BRUCE E. *Stormwater management guidebook*. Michigan Department of Environmental Quality Land and Water Management Division, 1999
- NEW JERSEY STORMWATER – Best Management practices Manual- Standard for wet ponds. fevereiro de 2004
- TOMAZ, PLÍNIO. Autodepuração dos cursos de água. Livro digital.
- WANIELISTA, MARTIN P. E YOUSEF, A. YOUSEF. *Stormwater management*. Editora John Wiley e sons. 1993, ISBN 0-471-57135-0, 579 páginas.