

10. Método de Meyboom, 1961 para vazão base

10.1 Introdução

O objetivo é obter a vazão base de um córrego ou rio.

10.2 Método da análise da Recessão

Na Figura (10.1) podemos ver a recessão que tem início no pico no ponto D e vai descendo até o ponto C que geralmente é difícil de localizar com precisão.

O método da análise da recessão é antigo e muito usado. Boussinesq o usou em 1877, Horton em 1933 e Boussinesq novamente em 1904.

Os métodos mais conhecidos são: **Método de Meyboom**, 1961 e de Robaugh.

Explicaremos com mais detalhes o método da análise da recessão de Meyboom, 1961 que é muito usado para se achar a recarga dos aquíferos subterrâneos.

10.3 Método da Recessão Sazonal ou Método de Meyboom, 1961

Um método simples e eficaz é o método de Meyboom, 1961 explicado por Fetter, 1994. Ele fornece a recarga das águas subterrâneas na bacia e por este motivo é muito usado.

Utiliza basicamente dois anos consecutivos. Usa-se geralmente um gráfico mono-logaritmo com logaritmo no eixo y conforme Figura (10.1) e (10.2). Na prática utiliza-se no mínimo 10anos de período de análise de dados fluviométricos.

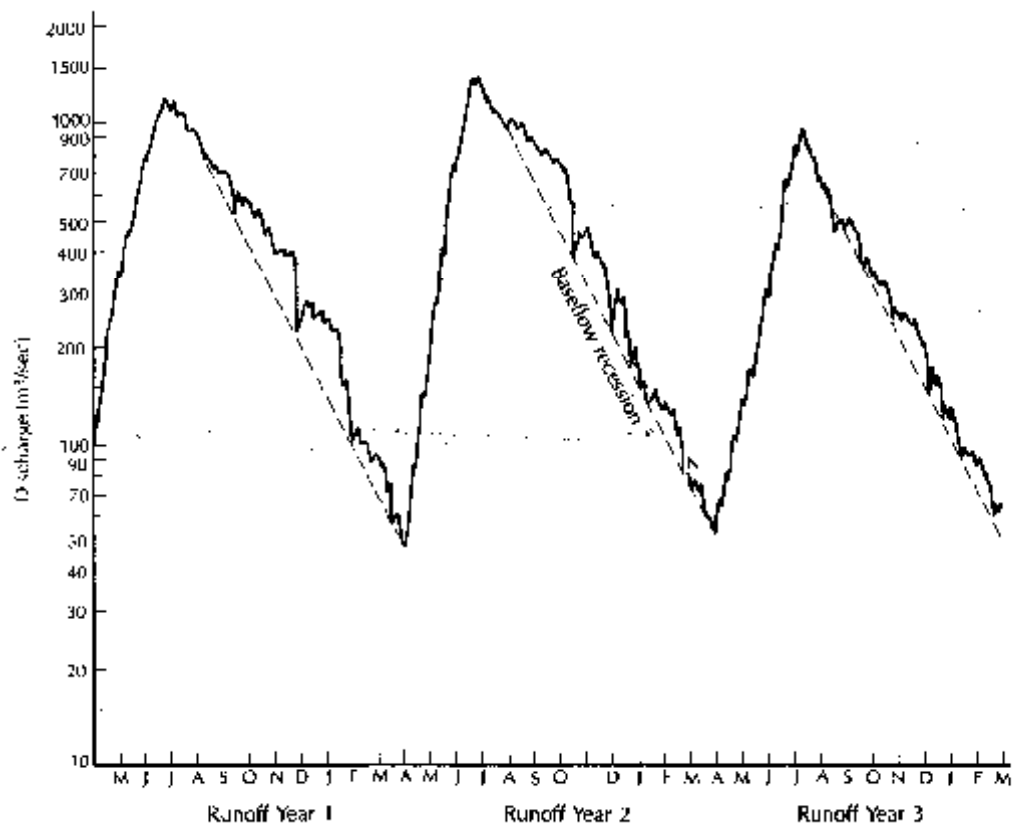


Figura 10.1- Gráfico semi-logaritmo mostrando a hidrógrafa

Fonte: Fetter, 1994

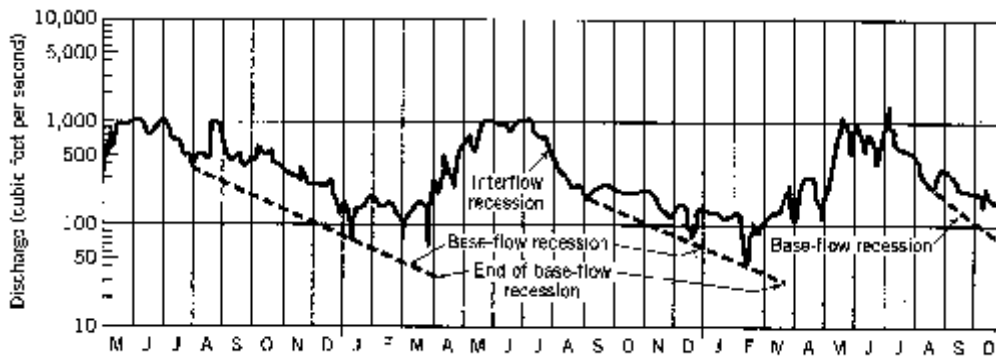


Figura 10.2- Gráfico semi-logarítmico mostrando a hidrógrafa

Fonte: Domenico e Schwartz, 1998

A recessão da vazão base está mostrada na Figura (10.1) e (10.2) em linhas pontilhadas. Parte-se da vazão de pico até a vazão de $0,1 \times Q_0$ e une-se a linha pontilhada.

A distância entre o pico Q_0 e o limite $0,1Q_0$ é o tempo t_1 .

O volume potencial de água subterrânea é V_{tp} que é fornecida pela equação.

$$V_{tp} = Q_0 \times t_1 / 2,3$$

Sendo:

V_{tp} = volume potencial da água subterrânea (m^3)

t_1 = tempo que leva a vazão base de Q_0 até $0,1Q_0$ (meses)

Q_0 = Vazão que inicia a vazão base (m^3/s)

Para o mês seguinte teremos que

Depois que achamos V_{tp} vamos procurar o valor de V_t usando a seguinte equação:

$$V_t = V_{tp} / 10^{(t/t_1)}$$

Sendo:

V_t = volume potencial da água subterrânea (m^3) na próxima recessão. Isto é obtido usando o valor t que é o tempo entre o fim da primeira recessão e o início da segunda.

t = tempo entre o início da recessão e o fim mesmo e não o valor $0,1 \times Q_0$.

O valor da recarga será a diferença:

$$\text{Recarga} = V_{tp} - V_t$$

Supomos no caso que não há bombeamento para retirada de água ao longo do rio de água que não retornem para os rios.

Tendo-se o volume de recarga anual médio e tendo a área da bacia podemos achar o valor da recarga em mm.

Exemplo 10.1

O exemplo foi retirado do livro do Fetter, 1994 e conforme Figura (10.2)

Calcular a recarga entre duas recessões consecutivas usando o Método de Meyboom, 1961.

Na primeira recessão temos o valor $Q_0 = 760 m^3/s$ que leva 6,3 meses para chegar até $0,1 \times Q_0$.

$$V_{tp} = Q_0 \times t_1 / 2,3$$

$$V_{tp} = 760 \times 6,3 \text{ meses} \times 30 \text{ dias} \times 1440 \text{ min} \times 60 \text{ s} / 2,3 = 5,4 \times 10^8 m^3$$

O valor V_t na próxima recessão dura 7,5 meses, isto é, $t = 7,5 \text{ meses}$

$$V_t = V_{tp} / 10^{(t/t_1)}$$

$$V_t = 5,4 \times 10^8 m^3 / 10^{(7,5/6,3)} = 3,5 \times 10^8 m^3$$

Para o próximo ano a vazão será $Q_0 = 1000 m^3/s$ e teremos:

$$V_{tp} = 1000 \text{ m}^3/\text{s} \times 6,3 \text{ meses} \times 30 \text{ dias} \times 1440 \text{ min/dia} \times 60 \text{ s} / 2,3 = 7,1 \times 10^9 \text{ m}^3$$

A recarga será a diferença:

$$\text{Recarga} = 7,1 \times 10^9 \text{ m}^3 - 3,5 \times 10^8 \text{ m}^3 = 6,8 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Evapotranspiração

Outra aproximação que pode ser feita é obter a evapotranspiração usando os dados fluviométricos de uma bacia com a seguinte equação:

$$\text{Evapotranspiração} = \text{Precipitação} - \text{Volume da descarga do rio} / \text{Área da bacia}$$

Exemplo 10.2

Seja uma área da bacia com 120 km^2 e temos as vazões médias mensais em 21 anos.

Calculamos o Volume da descarga do rio/ área da bacia = 960 mm (não é somente a recarga)

Supondo precipitação de 1771 mm/ano teremos:

$$\text{Evapotranspiração} = 1771 \text{ mm} - 960 \text{ mm} = 811 \text{ mm/ano}$$

Lembrando que o volume da descarga do rio deverá ser dividido pelo número de anos de dados que temos.

Não levamos em conta a retirada de água do rio e nem os lançamentos.

Exemplo 10.3

Seja uma bacia com 120 km^2 que apresenta o hidrograma de vazões médias mensais num determinado ponto conforme Figura (10.3)

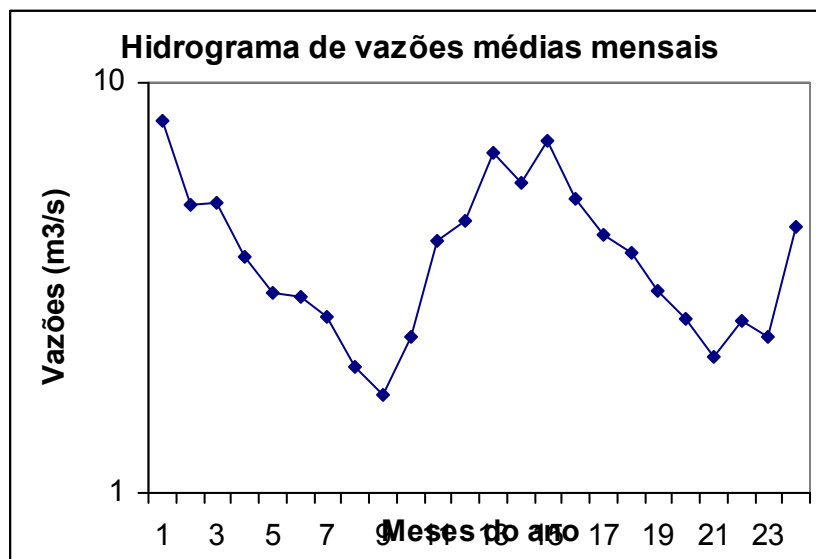


Figura 10.3- Hidrograma de vazões médias mensais de dois anos consecutivos de um rio com bacia de 120 km^2 em uma gráfico semi-logarítmico

Tabela 10.1- Vazões médias mensais

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1981	8,06	5,02	5,11	3,76	3,08	3,01	2,68	2,03	1,73	2,41	4,14	4,6
1982	6,76	5,69	7,21	5,23	4,24	3,86	3,1	2,67	2,14	2,62	2,39	4,43

Olhando-se no gráfico achamos $Q_0=8,06\text{m}^3/\text{s}$

$t_1=11\text{meses}$

$t=7,6\text{meses}$

$$V_{tp} = Q_0 \times t_1 / 2,3$$

$$V_{tp} = 8,06 \times 11\text{meses} \times 30\text{dias} \times 1440\text{min}/\text{dia} \times 60\text{s} / 2,3 = 99.915.965\text{m}^3$$

$$V_t = V_{tp} / 10^{(t/t_1)}$$

$$V_t = 99.915.965 / 10^{(7,6/11)} = 20.357.563\text{m}^3$$

Para o próximo ano $Q_0=6,5\text{m}^3/\text{s}$ e teremos

$$V_{tp} = 6,5 \times 11 \times 30 \times 1440 \times 60 / 2,3 = \mathbf{80.577.391\text{m}^3}$$

Portanto, a recarga em dois anos consecutivos será:

$$\text{Recarga (m}^3\text{)} = 80.577.391 - 20.357.563 = 60.219.828\text{m}^3$$

Como a área da bacia tem 120km^2 teremos:

$$\text{Recarga (mm)} = 60.219.828\text{m}^3 \times 1000 / (120\text{km}^2 \times 100\text{ha} \times 10000\text{m}^2) = 502\text{mm}$$

Assim se a recarga=502mm e se a precipitação média anual for de 1771mm teremos:

Precipitação= evapotranspiração + recarga + escoamento superficial

$$1771\text{mm} = 684\text{mm (calculado)} + \mathbf{502\text{mm}} + 585\text{mm (por diferença)}$$

O escoamento superficial é obtido por diferenças, pois temos a precipitação média anual e a evapotranspiração.

Supondo que o aquífero profundo seja rocha cristalina com fissuras então a recarga nos aquíferos fissurais profundos será aproximadamente 3% da precipitação, ou seja, 53mm/ano. (Notar a não influência da recarga no aquífero profundo)

Salientamos que deverá ser utilizado no mínimo série de dados fluviométricos com 10anos de duração para se conseguir uma média.

Exemplo 10.4

Calcular a recarga na região do rio Descoberto em Goiás.

Tabela 10.2- Vazões médias mensais do rio Descoberto com área de 115km² ano 1978 a 2006

ESTAÇÃO: DESCOBERTO CH.				CÓDIGO: 60435000			ALTITUDE: 1034,89 m				LATITUDE: 15° 42' 30"			LONGITUDE: 48° 14' 05"	
ANO	JANEIRO	Fevereiro	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	MÉDIA ANUAL		
1978						2,190	1,800	1,510	1,330	1,580	1,390	2,690			
1979	7,220	6,470	4,440	3,540	2,660	2,390	2,300	1,830	1,620	1,370	2,170	2,130	3,180		
1980	5,520	8,360	4,090	4,130	3,030	2,520	2,190	1,830	1,790	1,520	2,480	3,750	3,430		
1981	4,230	2,970	4,330	4,190	3,010	2,620	2,300	1,770	1,530	2,930	4,860	3,730	3,210		
1982	6,190	4,500	4,990	4,040	3,090	2,440	1,890	1,980	1,100	1,460	1,550	2,110	2,940		
1983	5,910	8,250	5,760	4,400	2,940	2,450	2,160	1,760	1,540	2,080	3,600	3,970	3,740		
1984	3,000	2,970	2,990	3,310	2,170	1,700	1,280	0,967	0,968	1,110	0,860	1,210	1,880		
1985	4,410	3,300	3,060	3,110	2,100	1,590	1,330	1,040	0,852	1,310	1,460	2,800	2,200		
1986	4,140	3,230	2,610	2,080	1,730	1,260	0,989	0,868	0,655	0,816	0,830	3,250	1,870		
1987	2,490	1,710	3,040	2,090	1,580	1,090	0,835	0,670	0,675	0,811	2,320	2,670	1,670		
1988	1,960	2,350	4,000	2,800	1,880	1,580	1,300	1,090	0,881	1,320	1,790	2,890	1,990		
1989	2,620	2,460	2,530	2,070	1,750	1,440	1,160	1,060	1,040	1,530	2,190	7,200	2,250		
1990	4,400	3,770	3,050	2,550	2,220	1,680	1,670	1,250	1,390	1,300	1,490	1,510	2,190		
1991	2,540	2,950	4,120	3,520	2,310	1,930	1,570	1,280	1,160	1,140	1,550	2,440	2,210		
1992	3,190	5,380	3,230	3,880	2,490	2,200	1,810	1,480	1,410	1,710	2,190	5,660	2,890		
1993	2,870	3,460	2,820	3,310	2,520	1,890	1,430	1,340	1,050	1,070	1,100	3,100	2,160		
1994	5,300	4,440	7,740	4,800	3,400	2,760	2,220	1,750	1,320	1,380	1,960	2,900	3,330		
1995	3,140	2,920	3,570	3,590	2,860	2,040	1,240	0,832	0,650	0,666	1,230	2,550	2,110		
1996	1,820	1,410	1,860	1,670	1,230	0,894	0,671	0,566	0,505	0,720	1,780	1,330	1,200		
1997	3,670	1,980	3,350	3,340	2,260	1,720	1,180	0,806	0,812	0,679	0,891	1,220	1,830		
1998	1,820	1,580	2,010	1,290	0,937	0,730	0,523	0,337	0,187	0,298	1,590	1,830	1,090		
1999	1,780	1,440	3,040	1,810	1,480	1,170	0,897	0,535	0,347	0,722	2,070	3,350	1,550		
2000	4,170	3,620	3,880	2,730	1,810	1,340	1,070	0,752	1,070	0,767	3,250	3,550	2,330		
2001	3,120	2,620	3,470	2,260	1,550	1,120	0,826	0,632	0,589	0,799	2,600	3,520	1,930		
2002	4,220	4,320	2,880	2,280	1,630	1,280	1,040	0,774	0,802	0,577	0,914	1,180	1,820		
2003	2,760	2,790	2,920	2,930	1,780	1,260	0,839	0,563	0,460	0,391	1,010	0,970	1,250		
2004	4,300	7,190	5,260	5,250	2,760	2,090	1,670	1,260	0,807	0,919	1,160	2,630	2,941		
2005	3,780	4,290	5,480	3,370	2,500	1,910	1,520	1,160	0,837	0,622	1,780	2,620	2,489		
2006	2,200	2,560	3,030	3,640											
M. Histórica	3,670	3,689	3,698	3,142	2,210	1,760	1,418	1,132	0,978	1,128	1,859	2,813	2,284		

Fonte: Caesb

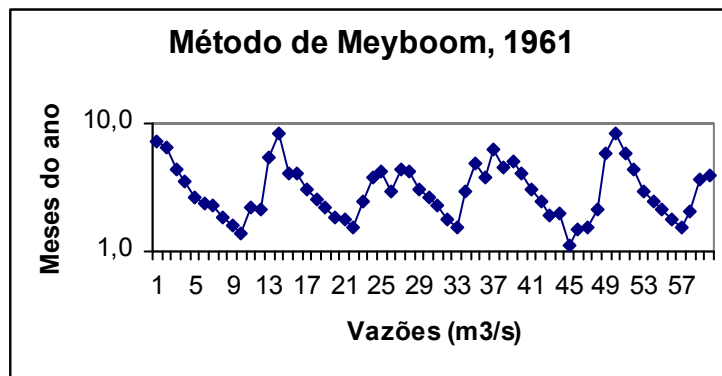


Figura 10.4- Método de Meyboom, 1961 com escala logarítmica na ordenada

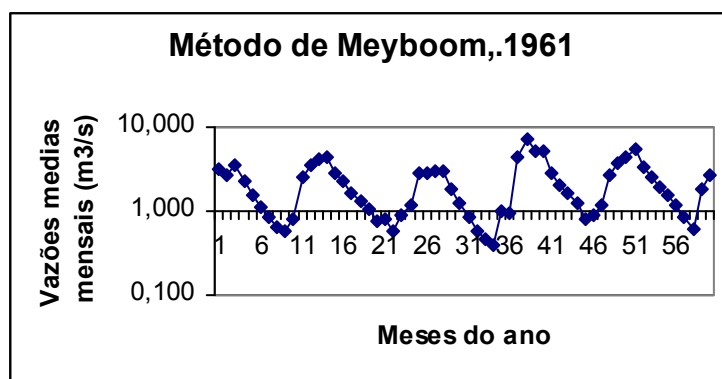


Figura 10.5- Método de Meyboom, 1961 com escala logarítmica na ordenada

Tabela 10.3 Cálculo da recarga média anual (mm) pelo Método de Meyboom, 1961

237
386
470
176
455
456
Média=
363

Tabela 10.4- Precipitações médias mensais no rio Descoberto

ESTAÇÃO: BRAZLÂNDIA				CÓDIGO: 01548007		ALTITUDE: 1098,00 m		LATITUDE: 15° 41' 3"		LONGITUDE: 48° 12' 27"			
ANO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	TOTAL
1971 a 2006	247,0	206,5	243,2	117,2	28,4	5,6	7,2	23,5	46,4	140,9	227,4	260,8	1560,9

Conclusão: a recarga média anual da bacia do rio Descoberto com 115km² é em média de 363mm/ano. A precipitação média anual no rio Descoberto é de 1.560,9mm

10.4 Fórmulas empíricas para a recarga média anual

Possuímos a recarga de vários locais, sendo a mais comum a das chuvas, que é a recarga natural, mas existe a recarga de canal (infiltração), de irrigação e de reservatórios de infiltração.

Na Índia Kumar e Seethpathi, 2002 fizeram uma fórmula empírica com 8% de precisão (para a região) que fornece a recarga das águas das chuvas.

$$Rr = 1,37 (P - 388)^{0,76}$$

Sendo:

Rr= recarga do aquífero subterrâneo devido somente a águas das chuvas (mm/ano)

P=precipitação média anual da estação (mm)

Exemplo 10.5

Estimar a recarga devida as chuvas para local com 1500mm.

$$Rr = 1,37 (P - 388)^{0,76}$$

$$Rr = 1,37 (1500 - 388)^{0,76} = \mathbf{283\text{mm}}$$

Também na Índia em 1970 Krishna Rao elaborou as seguintes equações empíricas para P e Rr em milímetros:

Rr = 0,20 x (P-400) para áreas com precipitações entre 400mm e 600mm

Rr = 0,25 x (P-400) para áreas com precipitações entre 600mm e 1000mm

Rr = 0,35 x (P-600) para áreas com precipitações maiores que 1000mm

Sendo:

Rr= recarga devida as chuvas (mm)

P= precipitação (mm)

Exemplo 10.6

Estimar a recarga devida as chuvas para local com 1.771mm- Cidade de Campos do Jordão, Estado de São Paulo.

$$Rr = \mathbf{0,35 x (P-600)} = 0,35 x (1771-600) = 410\text{mm} \text{ (Por Meyboom achamos 502mm)}$$

10.5 Bibliografia e livros consultados

- CRITICAL AQUIFER RECHARGE AREAS (CARAS). *Chapter 6: Critical aquifer recharge áreas. Executive report- Best available science*, volume I, february, 2004.
- DELLEUR, JACQUES W. *The handbook of groundwater engineering*. 1999. ISBN 0-8493-2698-2.
- FENNESSEY, LARRY. *Hydrologic budgets for development scale áreas in Pennsylvania*.
- FENNESSEY, LAWRENCE A. J. et al. *The NRCS curve number, a new look at an old tool*. Villanova University, outubro de 2001.
- McCUEN, RICHARD H. *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. Prentice Hall, 1998
- PLANO DIRETOR DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS DE NATAL, RN, 2009
- REICHARDT, KLAUS E TIMM, LUIZ CARLOS. *Solo, planta e atmosfera- conceitos, processos e aplicações*, 2004. Editora Manole.
- ZANGAR, CARL N. *Theory and problems of water percolation*. United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, abril de 1953, 87 páginas.