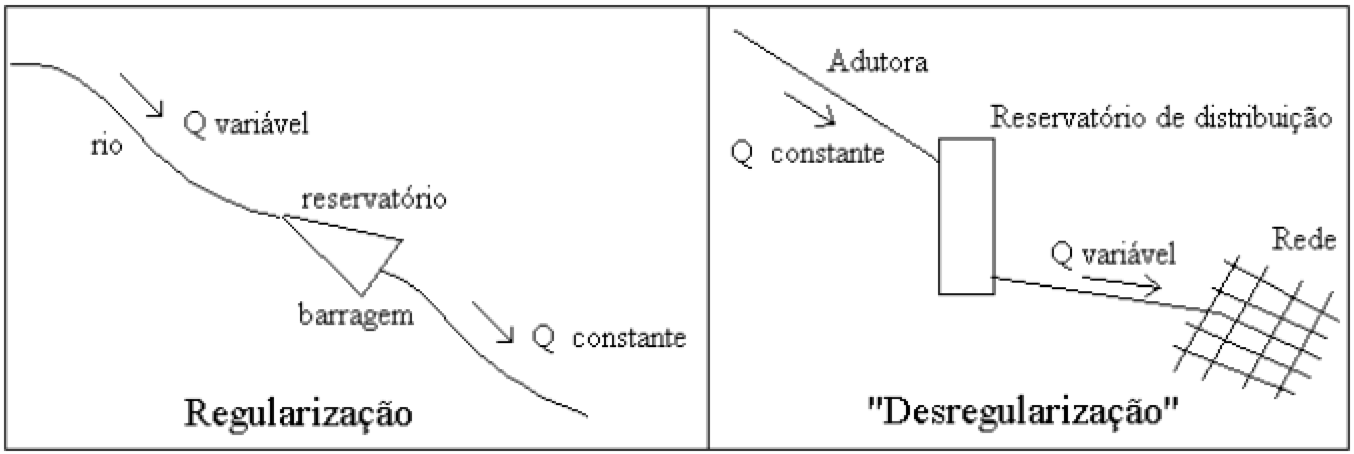
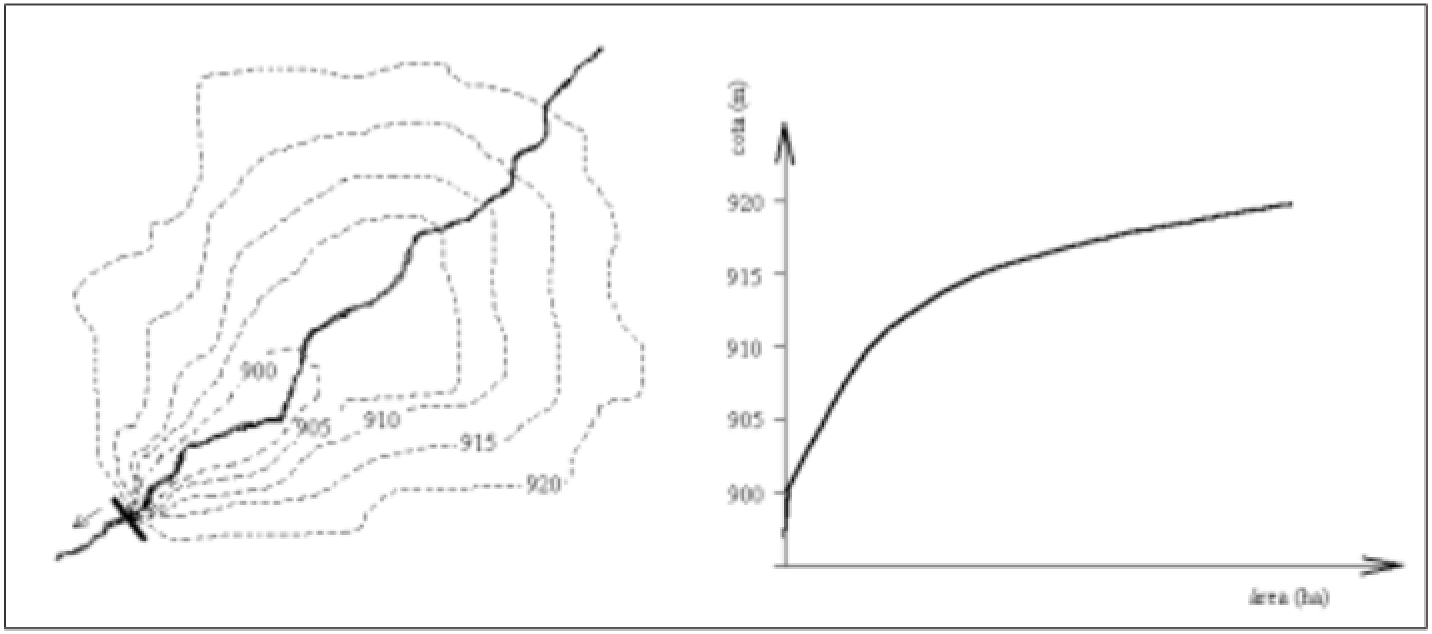
REGULARIZAÇÃOD E VAZÃO



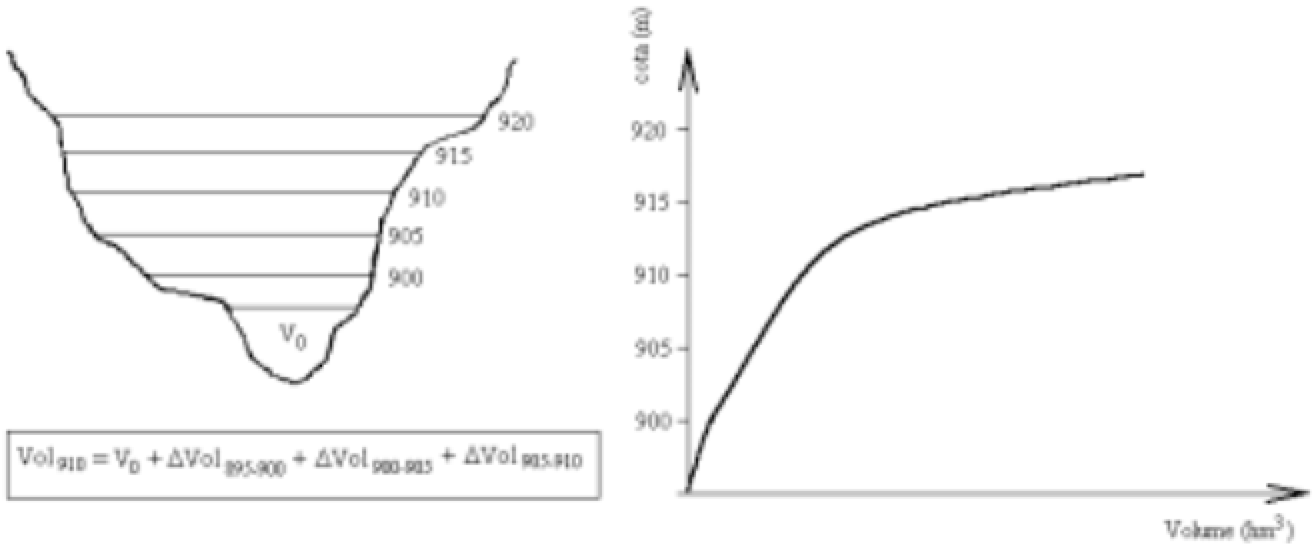
Reservação para regularização de vazão em um curso d'água natural e reservação de água para o atendimento ao consumo variável em uma rede de distribuição de sistema urbano de abastecimento.

CURVAS COTA-ÁREA



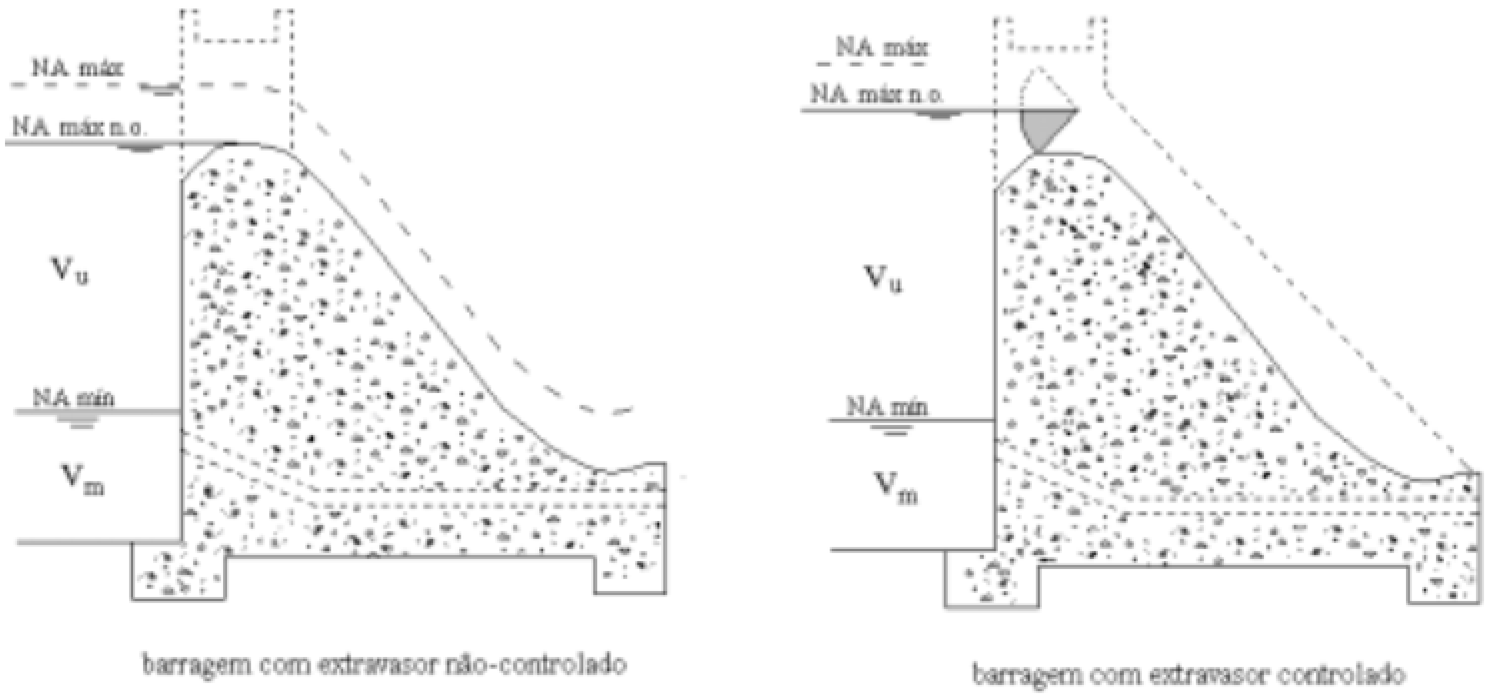
curva cota x área do espelho d'água em um reservatório de acumulação

COTA-VOLUME DE UM RESERVATÓRIO



- **Curva cota x volume em um reservatório de acumulação d’água**

ZONAS DE ARMAZENAMENTO DE UM RESERVATÓRIO - TERMINOLOGIA



Zonas de armazenamento em reservatório com e sem controle do extravasor

ZONAS DE ARMAZENAMENTO DE UM RESERVATÓRIO - TERMINOLOGIA

- NA máximo normal de operação (NA máx.n.o.): cota máxima até a qual as águas se elevam,nas condições normais de projeto. Corresponde à cota da crista vertente, no caso deextravasor não controlado ou de crista livre, ou à cota da borda superior das comportas, nocaso de extravasor controlado.
- -NA mínimo normal de operação (NA mín): cota mínima até a qual as águas abaixam, emcondições normais de operação. Corresponde à cota do conduto de saída mais baixo dabarragem, ou à cota mínima capaz de permitir as melhores condições operacionais deequipamentos, como as turbinas.
- -Volume útil (Vu): volume armazenado entre o NA máx.n.o. e o NA mín.
- -Volume morto (Vm): volume armazenado abaixo do NA mín., destinado a acomodar a cargade sedimentos afluentes ao reservatório, durante a sua vida útil.
- - Sobrearmazenamento devido à cheia de projeto do extravasor: volume acima do NAmáx.n.o., devido à sobreelevação causada pelo amortecimento da cheia de projeto peloreservatório. Corresponde ao NA máximo maximorum (NA máx). O sobrearmazenamentonão é aproveitado, pois persiste somente durante a cheia.
- -Borda livre: diferença de cotas entre o coroamento da barragem e o NA máximomaximorum, suficientemente grande para conter a arrebentação de ondas devidas ao vento.

CÁLCULO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

A equação do balanço hídrico em um reservatório se escreve como

$$P + Q_{in} - E - \Sigma Q_d - Q_{out} - I = \frac{\Delta Vol}{\Delta t}$$

onde as contribuições são: P = precipitação; Q_{in} = vazões afluentes; E = perdas por evaporação; ΣQ_d = demandas (vazões derivadas); Q_{out} = vazão de restituição; I = perdas por infiltração; Vol = volume do armazenamento; Δt = intervalo considerado. Para o período de estiagem, considera-se P=0. Além disso, para maior simplicidade, as perdas por evaporação podem ser descontadas na vazão afluente.

lei de regularização

Define-se a *lei de regularização* através da função y, adimensional, dada por

$$y = \frac{Qr}{\overline{Q}}$$

onde, Qr é a vazão regularizada e $\overline{Q}$ é a vazão média no período considerado.

Dada a seqüência no tempo das vazões naturais, $Q_{in} = Q(t)$, e conhecida a lei de regularização y, é possível determinar a *capacidade mínima* do reservatório para atender a essa lei.

A vazão regularizada Qr da Eq. (2) corresponderá à soma de todas as vazões que saem do reservatório: $Qr = Q_{out} + \Sigma Q_d$. Na análise, em geral, a evaporação é calculada em função da área líquida exposta e de dados climatológicos. As perdas por evaporação podem ser consideradas subtraindo-se das vazões naturais os valores calculados, convertidos para m^3/s.

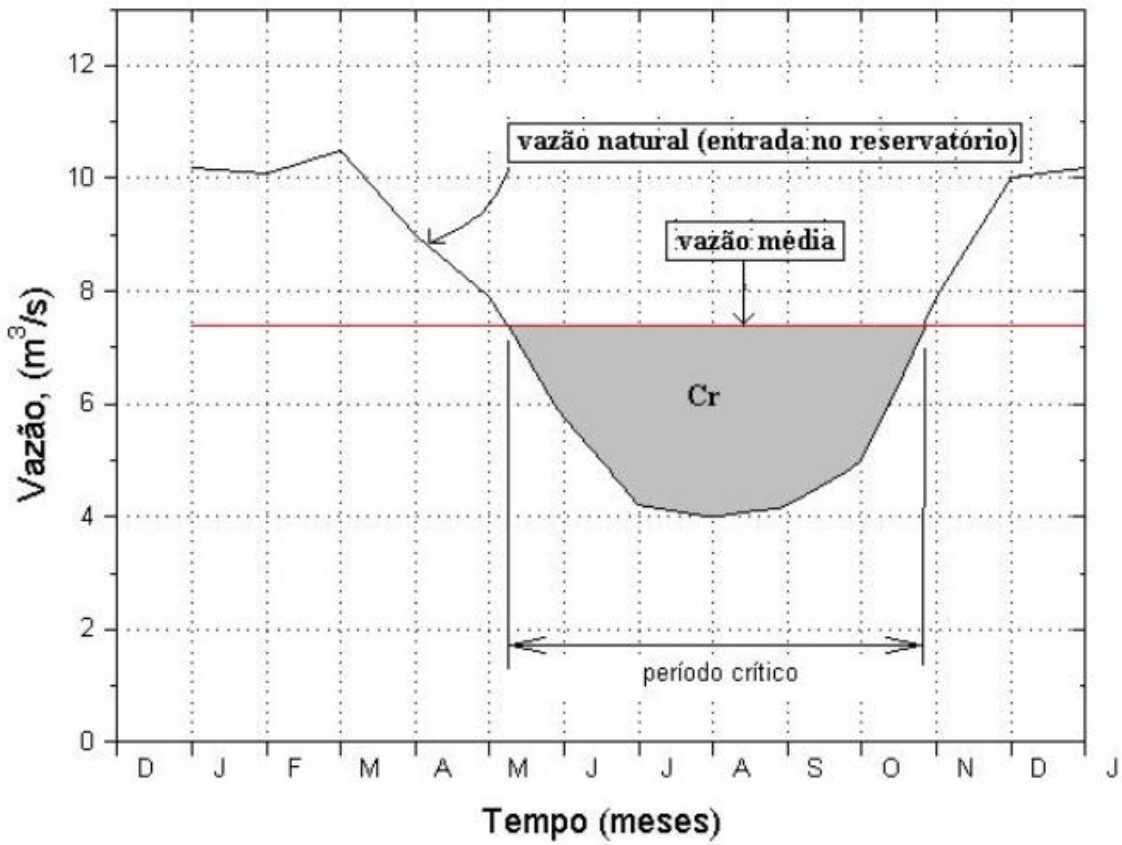
capacidade mínima de um reservatório

A capacidade mínima de um reservatório para atender a uma dada lei de regularização (Cr) é obtida pela diferença entre o volume acumulado necessário para atender àquela lei no período mais crítico de estiagem (Vol_{nec}) e o volume acumulado que aflui ao reservatório no mesmo período(Vol_{af}), isto é:

$$Cr = \left(Vol_{nec} - Vol_{af}\right)_{\text{período crítico}}.$$

Considerados vários períodos de estiagem, o mais crítico será aquele que resulta na maior capacidade do reservatório. Assim, deve-se calcular a capacidade do reservatório para vários períodos de estiagem e adotar o maior valor encontrado.

Hidrógrafa de entrada em um reservatório, vazão de regularização e volume do reservatório



Hidrógrafa de entrada em um reservatório, vazão de regularização e volume do reservatório.

EXEMPLO 1

- Calcular a capacidade mínima de um reservatório no Rio X, na Estação Y, para atender à lei deregularização y = 1 (demanda regularizada, QQr= = 4,703m3/s), com base nas vazões médiasmensais para o período de dois anos, conforme a Tabela 1

Tabela 1 – Vazões afluentes e de regularização na EstaçãoY do Rio X, no período de janeiro de 1966 a dezembro de 1967, para o cálculo da capacidade mínima do reservatório de acumulação de água

período	Q (afluente) (m^3/s)	Qr (demanda) (m^3/s)	período	Q (afluente) (m^3/s)	Qr (demanda) (m^3/s)
Jan-66	9,13	4,703	Jan-67	5,12	4,703
Fev-66	5,76	4,703	Fev-67	7,97	4,703
Mar-66	5,43	4,703	Mar-67	8,42	4,703
Abr-66	3,74	4,703	Abr-67	5,25	4,703
Mai-66	3,45	4,703	Mai-67	4,12	4,703
Jun-66	2,94	4,703	Jun-67	3,83	4,703
Jul-66	2,61	4,703	Jul-67	3,55	4,703
Ago-66	3,65	4,703	Ago-67	3,68	4,703
Set-66	2,21	4,703	Set-67	3,16	4,703
Out-66	2,79	4,703	Out-67	4,02	4,703
Nov-66	4,45	4,703	Nov-67	5,23	4,703
Dez-66	5,96	4,703	Dez-67	6,41	4,703

Solução:

Observa-se, na Tabela 1, a existência de dois períodos críticos.

- Primeiro período crítico → abril 1966 a novembro 1966 (inclusive)
- volume necessário para atender à demanda neste período crítico:

$$Vol_{nec} = 4{,}703 \times (30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31 + 30) \times 86400 = 99{,}147 \times 10^6\, m^3$$

- volume afluente no primeiro período crítico:

$$Vol_{af} = (3{,}74 \times 30 + 3{,}45 \times 31 + 2{,}94 \times 30 + 2{,}61 \times 31 + 3{,}65 \times 31 + 2{,}21 \times 30 + 2{,}79 \times 31 + 4{,}45 \times 30) \times 86400$$

$$Vol_{af} = 68{,}057 \times 10^6\, m^3$$

- capacidade mínima do reservatório no primeiro período crítico:

$$Cr_1 = Vol_{nec} - Vol_{af} \quad \Rightarrow \quad Cr = 31{,}09 x 10^6 m^3.$$

- Segundo período crítico → maio 1967 a outubro 1967 (inclusive)
- volume necessário para atender à demanda no segundo período crítico:

$$Vol_{nec} = 4{,}703 \times (31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31) \times 86400 = 74{,}766 \times 10^6\, m^3$$

- volume afluente neste período crítico:

$$Vol_{af} = (4{,}12 \times 31 + 3{,}83 \times 30 + 3{,}55 \times 31 + 3{,}68 \times 31 + 3{,}16 \times 30 + 4{,}02 \times 31) \times 86400 = 59{,}285 \times 10^6\, m^3$$

- capacidade mínima do reservatório no segundo período crítico:

$$Cr_2 = Vol_{nec} - Vol_{af} \quad \Rightarrow \quad Cr_2 = 15{,}481 x 10^6 m^3.$$

Os cálculos indicam que o período de abril a novembro de 1966 é o mais crítico. Logo, a capacidade mínima do reservatório deverá ser de 31,09 milhões de metros cúbicos.

DIAGRAMA DE MASSA OU DE RIPPL

- O diagrama de massa, ou diagrama de Rippl, é definido pela integral da hidrógrafa. Isto é,corresponde a um diagrama de volumes acumulados. Uma hidrógrafa de vazões naturais dá origem a um diagrama de massa .
- Este diagrama informa que:
- i) num tempo t qualquer, a inclinação da tangente à curva dos volumes acumulados fornece avazão naquele tempo;
- ii) o volume acumulado num dado intervalo de tempo é obtido pela diferença entre as leiturasdas ordenadas correspondentes aos tempos considerados

DIAGRAMA DE MASSA OU DE RIPPL

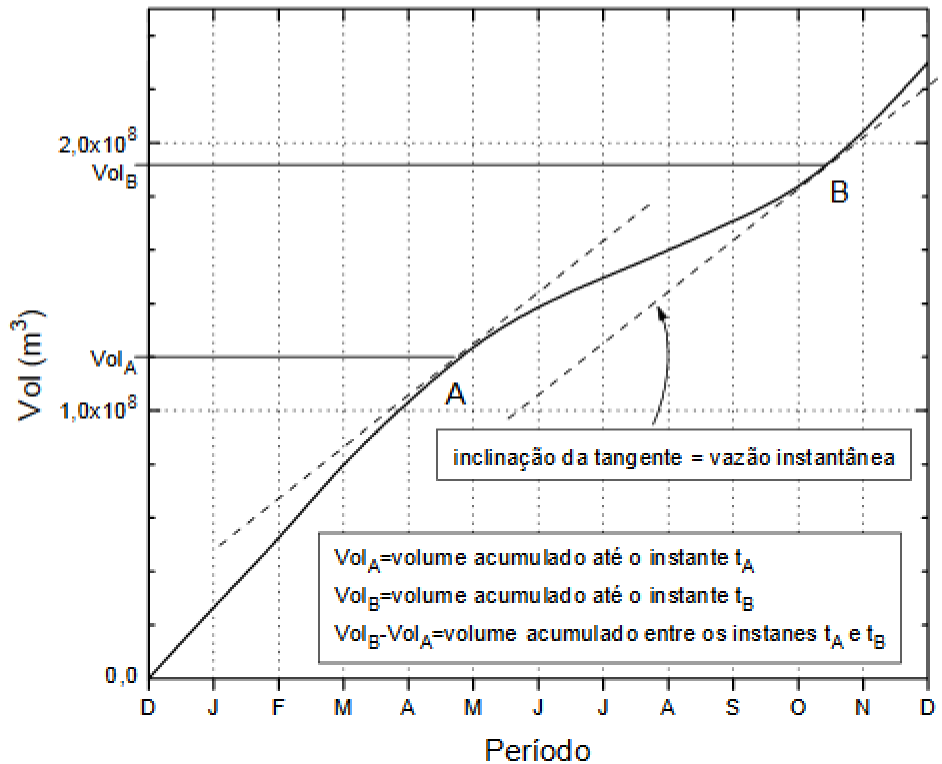


Diagrama de massa correspondente ao hidrograma

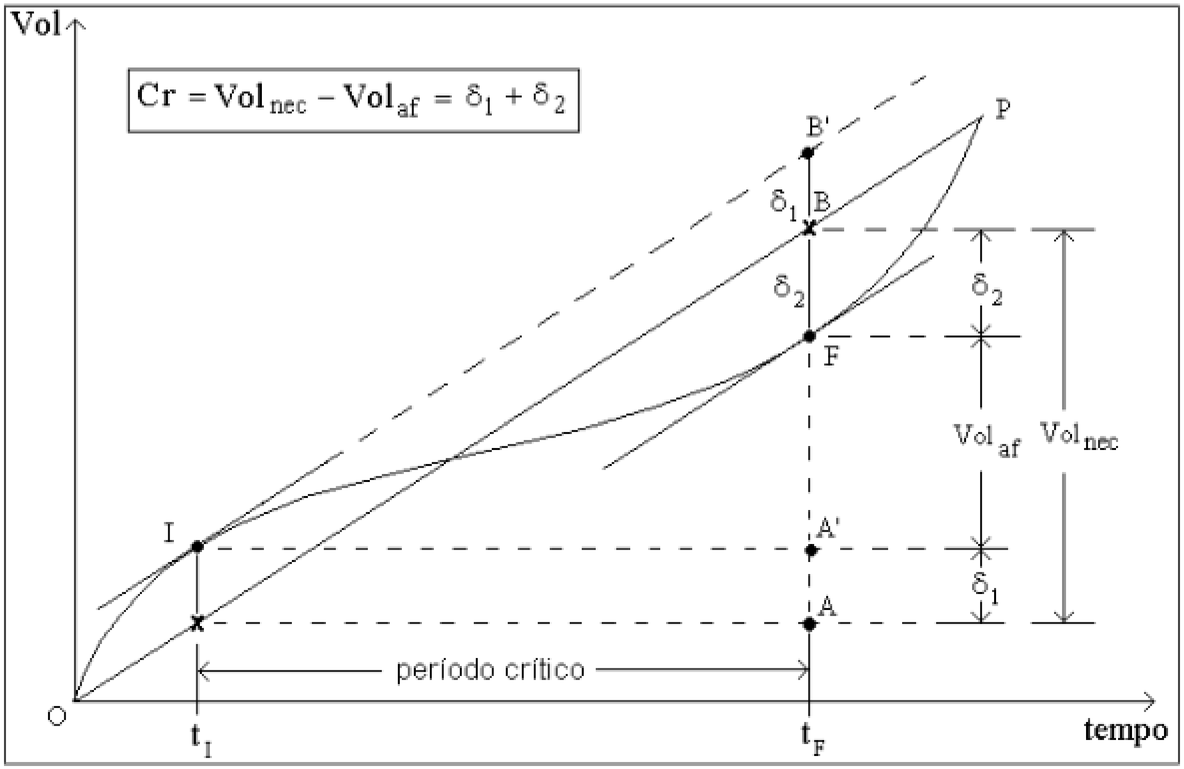


Diagrama de massas para vazão de regularização igual à vazão média

capacidade do reservatório

$$\text{Vol}_{nec} = \overline{Q} \times (t_F - t_I).$$

O volume que aflui ao reservatório, V_{af}, no período crítico, isto é, no intervalo (t_I, t_F), é:

$$\text{Vol}_{af} = \int_{t_I}^{t_F} Q_{af} dt .$$

O volume Vol_{af} é representado pelo segmento A'F.

Assim, a capacidade do reservatório, isto é, $Cr = \text{Vol}_{nec} - \text{Vol}_{af}$, é representada pela soma dos segmentos δ_1 e δ_2, isto é,

$$Cr = \delta_1 + \delta_2$$

Exemplo 2

- Repetir o cálculo da capacidade mínima do reservatório do Exemplo 1, utilizando aconstrução do diagrama de Rippl.

Solução

Para a demanda regularizada de 4,703m^3/s, os volumes acumulados correspondentes à vazão regularizada são representados pela linha em vermelho (cheia) na Figura 8. Nesta mesma figura, os volumes afluentes acumulados são representados na forma da linha sinuosa.

A capacidade mínima do reservatório pode ser prontamente obtida traçando-se, pelos pontos que identificam o início e o fim do período crítico, duas tangentes à linha sinuosa, paralelas à reta das demandas acumuladas. A distância vertical entre estas paralelas, que corresponde à soma $\delta_1+\delta_2$, dá a capacidade mínima do reservatório. No caso,

$$Cr = \delta_1 + \delta_2 \cong 30 \times 10^6 \, m^3 .$$

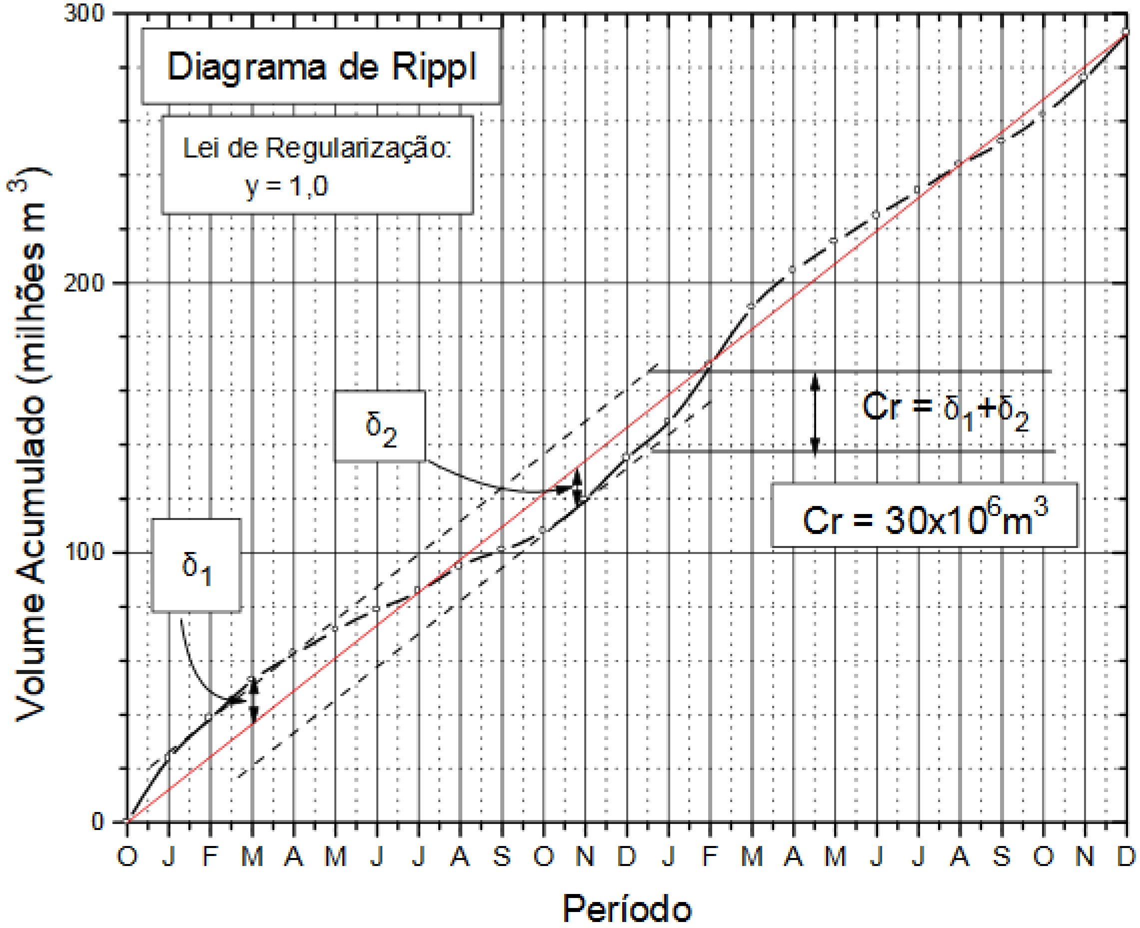


Diagrama de Rippl para a obtenção da capacidade mínima do reservatório (exemplo 2)

Obs.: Pela Figura nota-se um segundo período crítico aproximadamente entre maio e outubro de 1967. Contudo, é fácil perceber que a distância vertical entre as duas tangentes deverá ser inferior à calculada acima.

EXERCÍCIOS

1. Calcular a capacidade mínima do reservatório no Rio Jaguari, em Igaratá, para atender à seguinte lei de regularização: $y = Qr/\overline{Q} = 0{,}75$. Tomar por base as vazões médias mensais referidas aos anos de 1966 e 1967, fornecidas na tabela abaixo.

Período		**Q**		
Ano	**Mês**	m^3/s		
	Janeiro	9,13		
	Fevereiro	5,76		
	Março	5,43		
	Abril	3,74		
	Maio	3,45		
1966	**Junho**	2,94		
	Julho	2,61		
	Agosto	3,65		
	Setembro	2,21		
	Outubro	2,79		
	Novembro	4,45		
	Dezembro	5,96		
	Janeiro	5,12		
	Fevereiro	7,97		
	Março	8,42		
	Abril	5,25		
	Maio	7,12		
1967	**Junho**	8,83		
	Julho	4,55		
	Agosto	5,68		
	Setembro	4,16		
	Outubro	5,02		
	Novembro	4,23		
	Dezembro	5,41		

2. Repetir o exercício anterior, para a lei de regularização total, isto é, $y = \dfrac{Qr}{\overline{Q}} = 1{,}00$

Referencia

- Prof. Antenor R. Barbosa Jr - Hidrologia Aplicada – CIV 226Regularização de vazão – ESALQ – USP