IPH 111 Hidráulica e Hidrologia Aplicadas
Exercícios de Hidrologia

Exercício 1:
Calcular a declividade média do curso d'água principal da bacia abaixo, sendo fornecidos os dados da tabela 1:

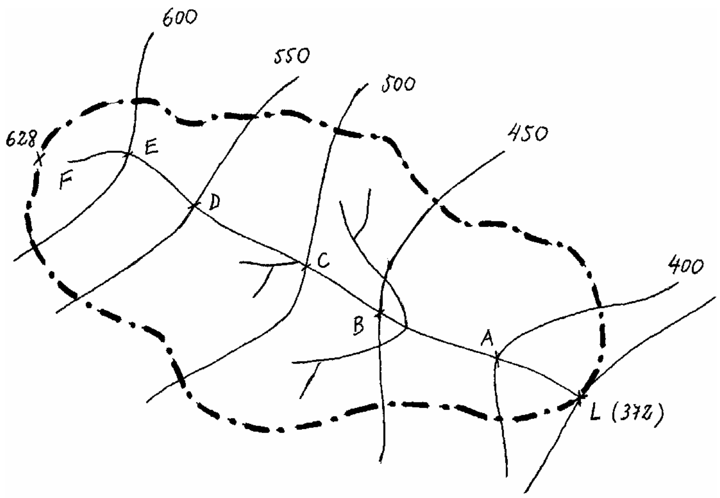


Tabela 1 – Características do curso principal

Ponto	Dist. de L (m)	Cota (m)
L	0,0	372
A	12.400	400
B	30.200	450
C	41.000	500
D	63.700	550
E	74.000	600
F	83.200	621

Resposta:
A declividade media do curso d'água é a taxa média de decrescimento da cota com a distância ao longo do curso d'água. O curso d'água inicia no ponto F, que está na cota 621 m e a 83,2 km do exutório da bacia. O exutório é o ponto L, onde a cota é 372 m. Portanto há uma diferença de cota de 621 – 372 = 249 m ao longo de 83,2 km. A declividade média é de 2,99 m.km^{-1}.
Ou, a declividade média é de 0,00299 (m/m ou valores absolutos).

Exercício 2
Qual seria a vazão de saída de uma bacia completamente impermeável, com área de 17km^2, sob uma chuva constante à taxa de 5 mm.hora^{-1}?

Resposta:
Desconsiderando a evapotranspiração (a taxa de evapotranspiração é muitas vezes menor que 5 mm.hora^{-1})podemos calcular a vazão diretamente. O volume de chuva que atinge a bacia em 1 hora é 5 mm (altura) vezes 17 km^2 (área).

5 mm = 5 x 10^{-3} m
17 km^2 = 17 x 10^6 m^2
Volume = 5 x 10^{-3} x 17 x 10^6 = 85000 m^3
Este volume atinge a bacia, e deve escoar, ao longo de 3600 segundos (1 hora). A vazão de saída da bacia é, portanto:

$$Q = \frac{85000}{3600} m^3 \cdot s^{-1} = 23,6\ m^3.s^{-1}$$

Exercício 3
A região da bacia hidrográfica do rio Forquilha, no Norte do RS próxima a Lagoa Vermelha, recebe precipitações médias anuais de 1800 mm. No município de Sananduva há um local em que são medidas as vazões deste rio e uma análise de uma série de dados diários ao longo de 11 anos revela que a vazão média do rio é de 43,1 m^3.s^{-1}. Considerando que a área da bacia neste local é de 1604 Km^2, qual é a evapotranspiração média anual nesta bacia? Qual é o coeficiente de escoamento de longo prazo?

O balanço hídrico de uma bacia é dado pela equação abaixo:
$\Delta V = (P - E - Q).\Delta t$
onde V é o volume acumulado na bacia, t é o tempo, P é a precipitaçã, E a evapotranspiração e Q o escoamento.
Numa média de longo prazo podemos desconsiderar a variação de volume (ΔV). Assim, a equação de balanço simplificada fica:
$P = Q + E$
Onde P é a precipitação (mm/ano); Q é a vazão (ou escoamento) em mm/ano; e E é a evapotranspiração (mm/ano).
A vazão de 43,1 m^3.s^{-1} é equivalente a um volume anual de
Volume anual = 43,1 m^3.s^{-1} . 86400 s.dia^{-1} . 365 dia.ano^{-1} = 1359,2 milhões de m^3.ano^{-1}
Este volume corresponde a uma lâmina (altura) dada por

$$Q = \frac{volumeanual}{áreabacia} = \frac{1359,2 \cdot 10^6\ m^3 \cdot ano^{-1}}{1604 \cdot 10^6\ m^2} = 0,847 m.ano^{-1} = 847\ mm/ano$$

Portanto a evapotranspiração da bacia é dada por:

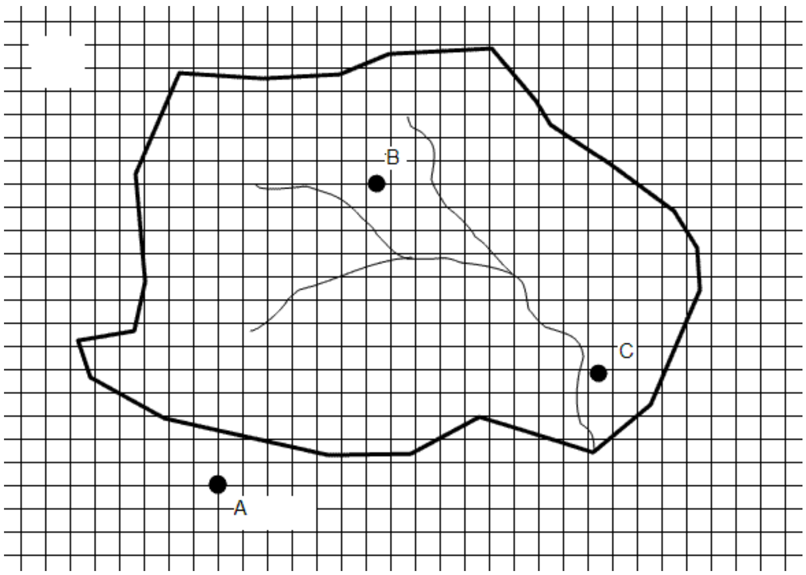
E = P – Q = 1800 – 847 = 953 mm/ano

O coeficiente de escoamento de longo prazo é dado pela razão entre o escoamento Q e a chuva P em valores médios anuais.

C = 847/1800 = 0,47
Ou seja, em média 47% da chuva é transformada em vazão nesta bacia.

Exercício 4

Considere a bacia hidrográfica da figura abaixo, onde cada quadrado corresponde a 4 km^2. Qual é, aproximadamente, a área da bacia, e o comprimento do rio principal? Qual é o tempo de concentração supondo que o escoamento ocorra com uma velocidade de 0,1 $m.s^{-1}$ até atingir a rede de drenagem e de 0,5 $m.s^{-1}$ através da rede de drenagem?



A área da bacia é de, aproximadamente, 1300 km^2. O comprimento do rio principal é de 40 a 50 km. Considerando que o escoamento dos pontos mais extremos da bacia ocorre fora da calha dos cursos d água por 10 km e dentro da calha por 45 km, o tempo de concentração é de

Tc = 10000/0,1 + 45000/0,5 = 52,7 horas.

Exercício 5

Considera-se para o dimensionamento de estruturas de abastecimento de água que um habitante de uma cidade consome cerca de 200 litros de água por dia. Um telhado de uma residência com 100 m^2, ligado a um grande reservatório, é suficiente para abastecer de água uma pessoa que mora sozinha? Suponha que o telhado é perfeitamente impermeável e que a precipitação média no local seja de 1200 mm por ano.

Consumindo 200 litros de água por dia a pessoa precisa de 73 mil litros por ano, ou seja, 73 m^3/ano. A chuva de 1200 mm que cai sobre o telhado equivale a

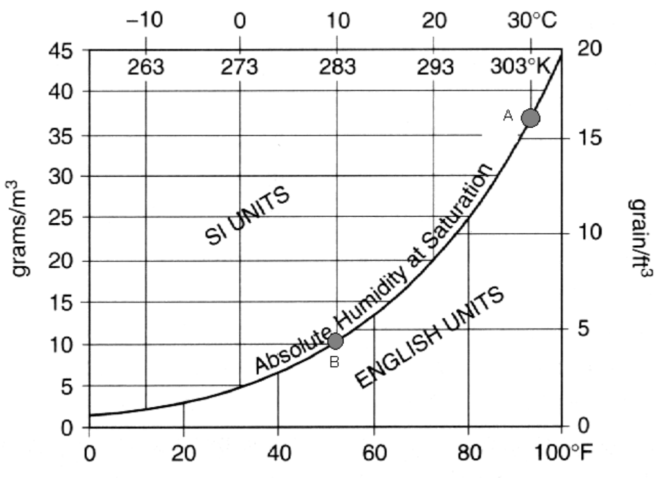
Volume de chuva = 1200 mm . 100 m^2 = 120 $m^3.ano^{-1}$

Portanto a água da chuva é suficiente para abastecer esta pessoa.

Exercício 6

Uma sala de 10 m de largura, 20 m de comprimento e 4 m de altura, com ar a 30º C, saturado de vapor, é resfriada para a temperatura de 10º C. Qual é a quantidade (massa ou volume) de vapor de água que deve condensar?

Ar saturado de vapor a 30º. C contem aproximadamente 37 gramas de água por m^3 (ponto A na figura abaixo). A 10º. C o ar somente pode conter 10 gramas por m^3, mesmo em condição de saturação (ponto B). Para cada m^3 de mistura ar x vapor este resfriamento da sala resultou na condensação de 27 gramas de água. Como a sala tem 10x20x4 metros cúbicos, a massa de vapor que condensou é de 21,6 kg (ou seja, 21,6 litros).



Exercício 7

Uma bacia recebe chuvas anuais com distribuição aproximadamente normal. A análise de 20 anos de dados de chuva revelou que a precipitação média anual é de 1900 mm e que o desvio padrão é de 450 mm. É correto afirmar que chuvas inferiores a 1000 mm podem ocorrer, em média, uma vez a cada 10 anos?

Considerando a distribuição normal, a faixa de chuvas que vai desde a média menos duas vezes o desvio padrão até a média mais duas vezes o desvio padrão contém cerca de 95% dos dados (anos de chuva).
Ou seja, é de 95% a chance de um ano qualquer estar no intervalo dado por

1900 – 2x450 mm < P < 1900 + 2x450 mm

Apenas 5% dos anos estão fora desta faixa, sendo que 2,5% acima do máximo da faixa e 2,5% abaixo do mínimo da faixa.
O mínimo da faixa é 1000 mm/ano.
Sabemos que a chance de um ano qualquer apresentar menos de 1000 mm/ano é de apenas 2,5%. Isto significa que ao longo de 100 anos teríamos cerca de 2,5 anos com chuvas inferiores a 1000 mm/ano, em média. Ou seja, a cada 40 anos, em média, ocorrem chuvas inferiores a 1000 mm por ano. Portanto está errado afirmar que chuvas inferiores a 1000 mm por ano podem ocorrer, em média, uma vez a cada 10 anos.

Exercício 8

Considerando a curva IDF do DMAE para o posto pluviográfico do Parque da Redenção, qual é a intensidade da chuva com duração de 20 minutos que tem 10% de probabilidade de ser igualada ou superada em um ano qualquer em Porto Alegre?

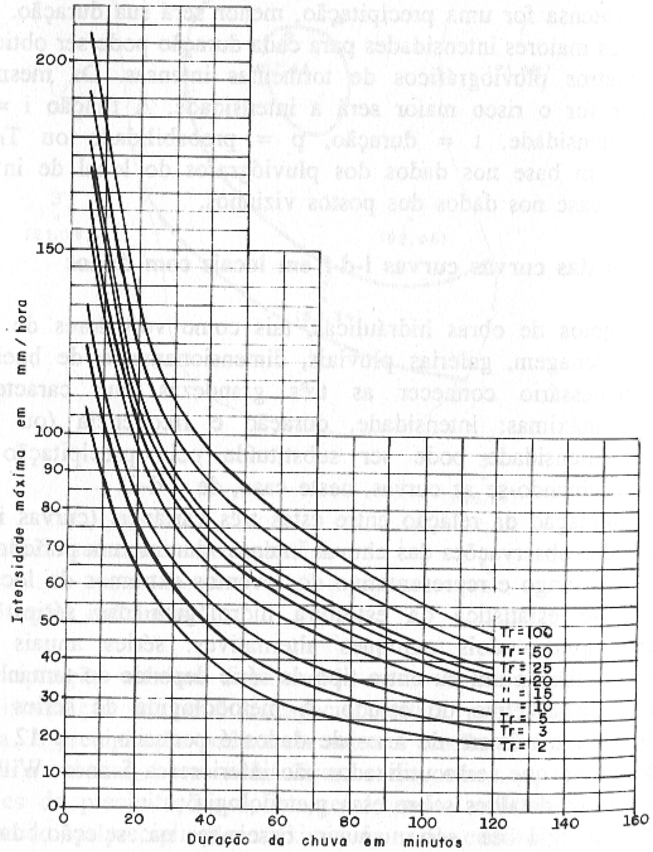


Figura 5.8. Curvas intensidade-duração-freqüência para a cidade de Porto Alegre, RS (DMAE, 1972).

A chuva com 10% de probabilidade de ser igualada ou superada num ano qualquer tem um período de retorno dado por

TR = 1/prob
TR = 1/0,1 = 10 anos

A curva IDF mostra que a chuva de 20 minutos de duração com TR = 10 anos tem intensidade de 95 mm/hora.

Exercício 9
A prefeitura de uma cidade está sendo processada por um cidadão cujo carro foi arrastado pelo escoamento de água sobre a rua durante uma chuva. O cidadão está acusando a prefeitura de sub-dimensionar a galeria de drenagem pluvial localizada sob a rua. A chuva medida durante aquele evento em um posto pluviográfico próximo teve intensidade de 150 mm/hora, e duração de 40 minutos. Considerando válida a curva IDF de Porto Alegre, comente sobre a possibilidade deste cidadão ser indenizado.

Para a duração de 40 minutos a intensidade da chuva com tempo de retorno de 100 anos é de 95 mm/hora. A intensidade ocorrida, de 150 mm/hora, tem um tempo de retorno muito maior. É portanto um evento muito raro. As estruturas de drenagem urbana não são construídas *para eventos tão extremos. Usualmente se consideram tempos de retorno da ordem de 2 a 50 anos. Provavelmente este cidadão não será indenizado pela prefeitura.*

Exercício 10

Fazer o traçado dos Polígonos de Thiessen para a determinar a precipitação média anual na bacia do rio Ribeirão Vermelho, apresentada na figura abaixo. Após fazer o traçado, indicar o procedimento para a determinação da chuva média anual, considerando os dados dos postos apresentados na tabela 2.

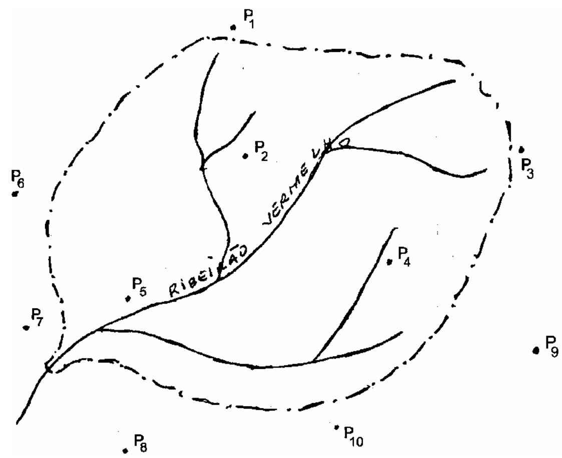


Tabela 2 – Precipitação média anual

Posto pluviométrico	Precipitação anual (mm)
P1	703,2
P2	809,0
P3	847,2
P4	905,4
P5	731,1
P6	650,4
P7	693,4
P8	652,4
P9	931,2
P10	871,4

- *Desenhar os polígonos*
- *Calcular as áreas*
- *Calcular as frações da área total*
- *Calcular a media ponderada da chuva com base nas frações de área*

Exercício 11

Um córrego cuja vazão média é de 2,3 $m^3.s^{-1}$ foi represado por uma barragem para irrigação. A área superficial do lago criado é de 1000 hectares. Será possível atender com este sistema a demanda de irrigação de três agricultores que, em conjunto, utilizam 1,5 $m^3.s^{-1}$. A evaporação média estimada em Tanque Classe A é de 1300 mm/ano.

Resposta

A criação do lago vai fazer com que parte da água evapore. A evaporação pode ser estimada a partir dos dados do Tanque Classe A. Normalmente considera-se que um lago evapora cerca de 70% da evaporação do Tanque Classe A.

E = 0,7 x 1300 = 910 mm/ano

Numa área superficial de 1000 hectares, que corresponde a 10 km^2, esta evaporação corresponde a
$E = 910 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^6 = 9{,}1 \times 10^6$ m^3/ano = 0,29 m^3/s
A vazão média que era de 2,3 m^3/s passa a ser de 2,0 m^3/s, o que não chega a comprometer a demanda de 1,5 m^3/s.

Exercício 12

A tabela abaixo apresenta as vazões máximas registradas durante 19 anos no rio dos Patos, em um posto fluviométrico localizado em Prudentópolis, no Paraná. Utilizando as probabilidades empíricas, determine a vazão de 10 anos de tempo de retorno neste local.

ano	Vazão máxima	ano	Vazão máxima
1931	226	1940	46.7
1932	230	1941	146.8
1933	52.4	1942	145.2
1934	152	1943	119
1935	226	1944	128
1936	117.5	1945	250
1937	305	1946	176
1938	226	1947	206
1939	212	1948	190
		1949	59.3

Resposta

- *A série é colocada em ordem decrescente de vazões máximas:*

ano	Vazão máxima
1937	305
1945	250
1932	230
1931	226
1935	226
1938	226
1939	212
1947	206
1948	190
1946	176
1934	152
1941	146.8
1942	145.2
1944	128
1943	119
1936	117.5
1949	59.3
1933	52.4
1940	46.7

- *Cada um dos anos recebe um índice de ordem (i)*

ano	ordem	Vazão máxima

1937	1	305
1945	2	250
1932	3	230
1931	4	226
1935	5	226
1938	6	226
1939	7	212
1947	8	206
1948	9	190
1946	10	176
1934	11	152
1941	12	146.8
1942	13	145.2
1944	14	128
1943	15	119
1936	16	117.5
1949	17	59.3
1933	18	52.4
1940	19	46.7

- *A cada ordem está associada uma probabilidade empírica dada por P = i/(N+1) onde N é o número total de anos.A probabilidade indica a chance da vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer.*

ano	ordem	Probabilidade	Vazão máxima
1937	1	5%	305
1945	2	10%	250
1932	3	15%	230
1931	4	20%	226
1935	5	25%	226
1938	6	30%	226
1939	7	35%	212
1947	8	40%	206
1948	9	45%	190
1946	10	50%	176
1934	11	55%	152
1941	12	60%	146.8
1942	13	65%	145.2
1944	14	70%	128
1943	15	75%	119
1936	16	80%	117.5
1949	17	85%	59.3
1933	18	90%	52.4
1940	19	95%	46.7

- *O período de retorno é o inverso da probabilidade TR = 1/p*

ano	ordem	Probabilidade	TR (anos)	Vazão máxima

1937	1	5%	20.00	305
1945	2	10%	10.00	250
1932	3	15%	6.67	230
1931	4	20%	5.00	226
1935	5	25%	4.00	226
1938	6	30%	3.33	226
1939	7	35%	2.86	212
1947	8	40%	2.50	206
1948	9	45%	2.22	190
1946	10	50%	2.00	176
1934	11	55%	1.82	152
1941	12	60%	1.67	146.8
1942	13	65%	1.54	145.2
1944	14	70%	1.43	128
1943	15	75%	1.33	119
1936	16	80%	1.25	117.5
1949	17	85%	1.18	59.3
1933	18	90%	1.11	52.4
1940	19	95%	1.05	46.7

E a vazão de 10 anos de tempo de retorno é 250 $m^3.s^{-1}$.

Exercício 13

A tabela abaixo apresenta as vazões mínimas anuais observadas no rio Piquiri, no município de Iporã (PR). Utilizando as probabilidades empíricas, determine a vazão mínima de 5 anos de tempo de retorno.

ano	Vazão mínima
1980	202
1981	128.6
1982	111.4
1983	269
1984	158.2
1985	77.5
1986	77.5
1987	166
1988	70
1989	219.6
1990	221.8
1991	111.4
1992	204.2
1993	196
1994	172
1995	130.4
1996	121.6
1997	198

1998	320.6
1999	101.2
2000	118.2
2001	213

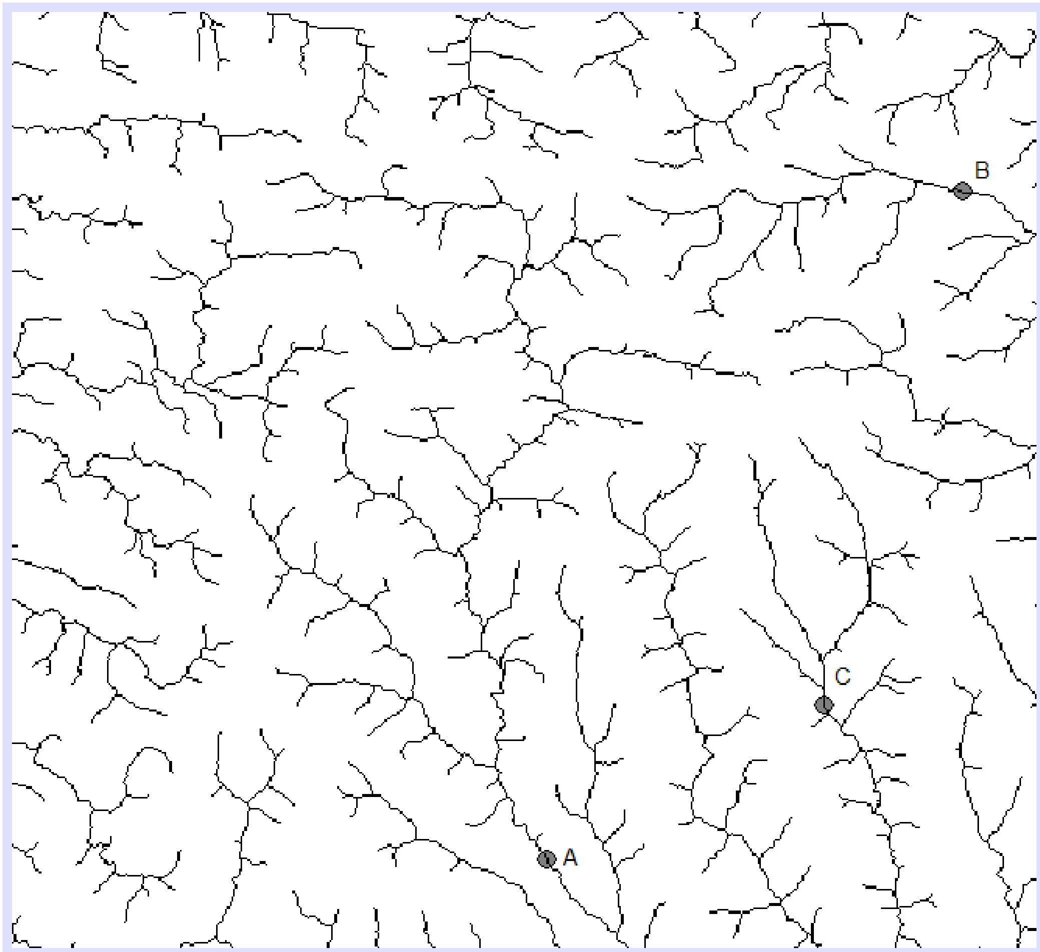
Resposta

- *A série é colocada em ordem crescente de vazões mínimas:*
- *Cada um dos anos recebe um índice de ordem (i)*
- *A cada ordem está associada uma probabilidade empírica dada por P = i/(N+1) onde N é o número total de anos.A probabilidade indica a chance da vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer.*
- *O período de retorno é o inverso da probabilidade TR = 1/p*

ano	Vazão mínima	ordem	probabilidade	TR (anos)
1988	70	1	0.04	23.00
1985	77.5	2	0.09	11.50
1986	77.5	3	0.13	7.67
1999	101.2	4	0.17	5.75
1982	111.4	5	0.22	4.60
1991	111.4	6	0.26	3.83
2000	118.2	7	0.30	3.29
1996	121.6	8	0.35	2.88
1981	128.6	9	0.39	2.56
1995	130.4	10	0.43	2.30
1984	158.2	11	0.48	2.09
1987	166	12	0.52	1.92
1994	172	13	0.57	1.77
1993	196	14	0.61	1.64
1997	198	15	0.65	1.53
1980	202	16	0.70	1.44
1992	204.2	17	0.74	1.35
2001	213	18	0.78	1.28
1989	219.6	19	0.83	1.21
1990	221.8	20	0.87	1.15
1983	269	21	0.91	1.10
1998	320.6	22	0.96	1.05

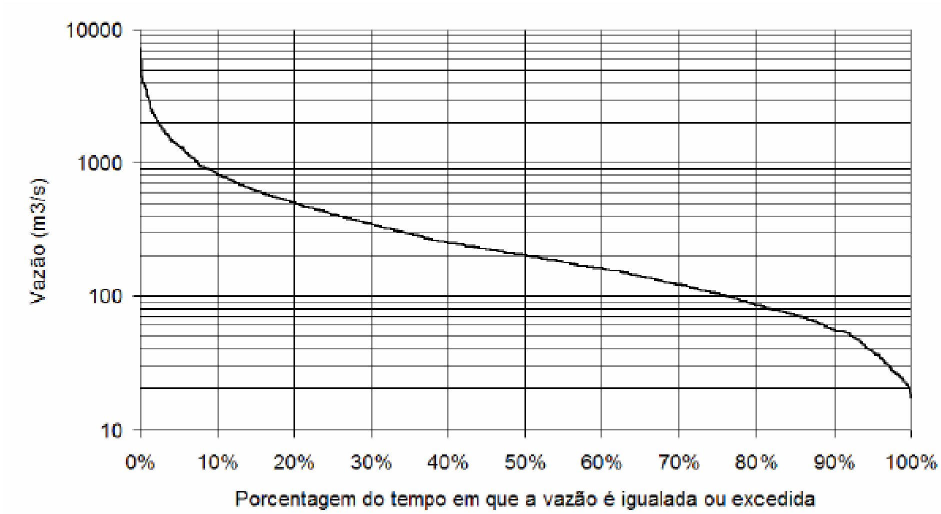
E a vazão de 5 anos de tempo de retorno é, aproximadamente, 107 $m^3.s^{-1}$.

Exercício 13
Delimite a bacia hidrográfica definida pelo ponto A na figura abaixo.



Exercício 14

Calcule a energia assegurada de uma usina hidrelétrica para a qual a curva de permanência de vazões é dada pelo gráfico abaixo. Considere uma eficiência de conversão de energia de 80% e uma altura de queda de 40 metros.



A energia (ou melhor a potência) assegurada é calculada por:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot e$$

considerando a vazão com 95% de probabilidade de ser igualada ou excedida num dia qualquer (a Q_{95}).

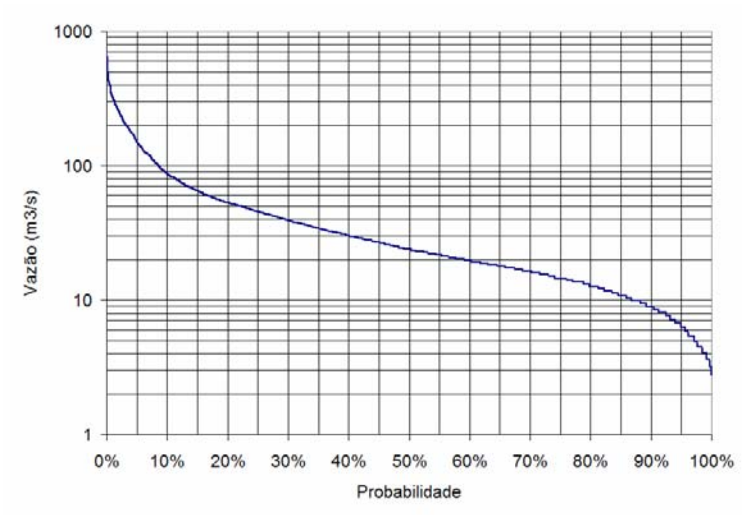
P = Potência (W)
γ = peso específico da água (N/m3)
Q = vazão (m3/s)
H = queda líquida (m)
e = eficiência da conversão de energia hidráulica em elétrica

e=0.80
H=40m
Peso específico da água = 9810 N/m3
Vazão Q_{95} = 35 $m^3.s^{-1}$

E a potência é de, aproximadamente, 11 MW.

Exercício 15

Calcule a energia assegurada de uma usina hidrelétrica para a qual a curva de permanência de vazões é dada pelo gráfico abaixo. Considere uma eficiência de conversão de energia de 79% e uma altura de queda de 98 metros.



A energia (ou melhor a potência) assegurada é calculada por:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot e$$

considerando a vazão com 95% de probabilidade de ser igualada ou excedida num dia qualquer (a Q_{95}).

P = Potência (W)
γ = peso específico da água (N/m3)
Q = vazão (m3/s)
H = queda líquida (m)
e = eficiência da conversão de energia hidráulica em elétrica

e=0.79
H=98m
Peso específico da água = 9810 N/m3
Vazão Q_{95} = 6 $m^3.s^{-1}$

E a potência é de, aproximadamente, 4,5 MW.

Exercício 16
Estime a máxima demanda de energia que poderia ser atendida pelas duas usinas hidrelétricas dos exercícios anteriores operando em conjunto. Considere aceitável um risco de não atendimento de 5%. Considere também que as duas usinas estão em rios de bacias hidrográficas localizadas em regiões climáticas diferentes do país, de tal forma que quando ocorre a vazão igual ou inferior à Q_{95} em uma bacia, a outra sempre apresenta vazões superiores à Q_{60}. Considere também que as duas usinas estão equipadas com turbinas em número e capacidade suficiente para aproveitar vazões iguais ou inferiores à Q_{50}.

Este problema pode ser analisado por duas situações:
Situação 1: O rio da usina do problema 14 está com a vazão baixa (próximo a Q_{95}) e o rio da usina do problema 15 está com a vazão alta (superior a Q_{60}).

Situação 2: O rio da usina do problema 15 está com a vazão baixa (próximo a Q_{95}) e o rio da usina do problema 14 está com a vazão alta (superior a Q_{60}).

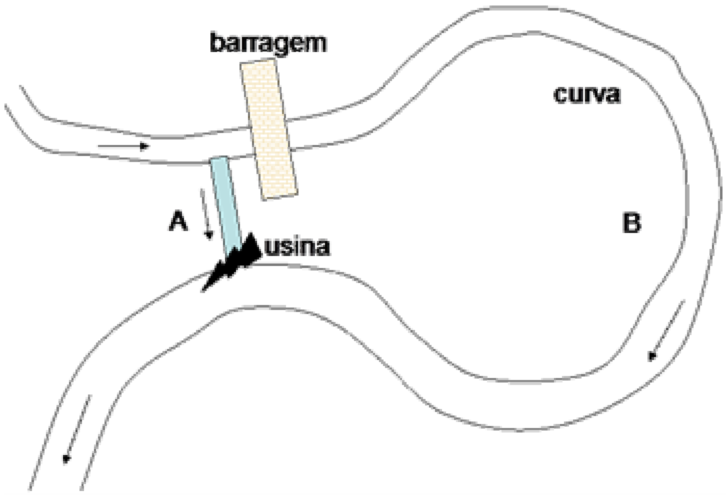
Na situação 1 a potência total é a soma da potência da usina do problema 14 com Q_{95} (11MW) e da usina do problema 15 com Q_{60}.
A Q60 da usina do problema 15 é 20 m3/s, o que permite gerar uma potência de 15,2 MW nesta usina.
Portanto, na situação 1, a potência das duas usinas operando juntas é de 11+15,2 = 26,2 MW.

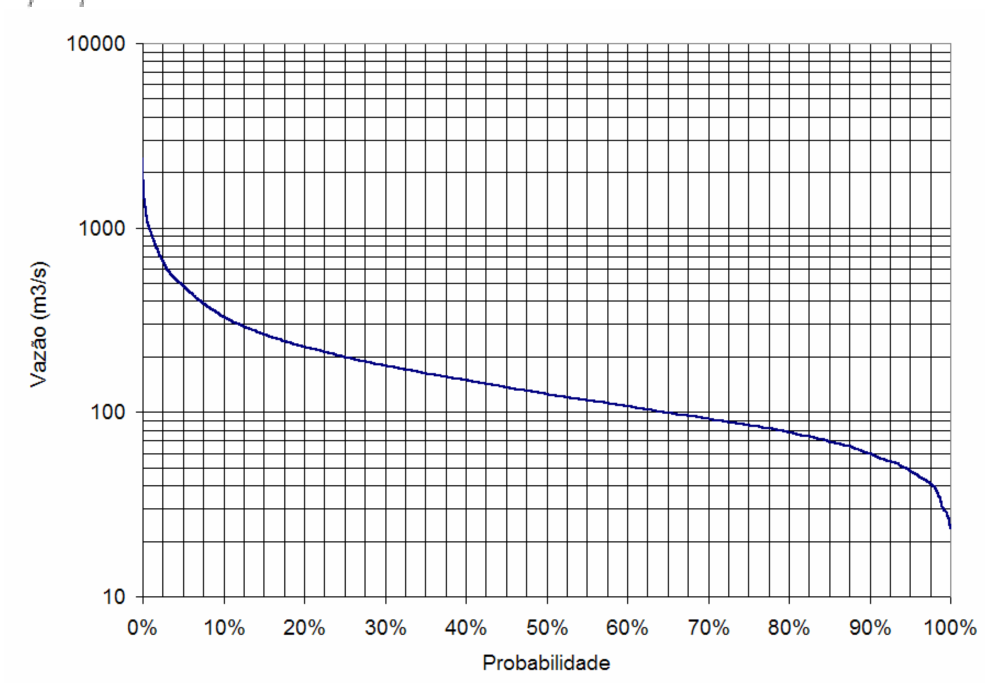
Na situação 2 a potência total é a soma da potência da usina do problema 15 com Q_{95} (4.5 MW) e da usina do problema 14 com Q_{60}.
A Q60 da usina do problema 15 é de aproximadamente 150 m3/s, o que permite gerar uma potência de 47,1 MW nesta usina.
Portanto, na situação 1, a potência das duas usinas operando juntas é de 4,5+47,1 = 51,6 MW.

A máxima demanda de energia que pode ser atendida com um risco de não antendimento de 5%, com as duas usinas operando em conjunto é a menor das duas situações analisadas. Ou seja, a máxima demanda que pode ser atendida é de 26,2MW.

Exercício 17

Uma usina hidrelétrica foi construída no rio Correntoso, conforme o arranjo da figura abaixo. Observe que a água do rio é desviada em uma curva, sendo que a vazão turbinada segue o caminho A enquanto o restante da vazão do rio (se houver) segue o caminho B, pela curva. A usina foi dimensionada para turbinar a vazão exatamente igual à Q_{95}. Por questões ambientais o IBAMA está exigindo que seja mantida uma vazão não inferior a 20 m^3/s na curva do rio que fica entre a barragem e a usina. Considerando que para manter a vazão ambiental na curva do rio é necessário, por vezes, interromper a geração de energia elétrica, isto é, a manutenção da vazão ambiental tem prioridade sobre a geração de energia, qual é a porcentagem de tempo em que a usina vai operar nessas novas condições, considerando válida a curva de permanência da figura que segue?





A usina foi dimensionada para turbinar exatamente a vazão Q95. Pela curva de permanência esta vazão é de aproximadamente 50 $m^3.s^{-1}$*. Entretanto, o IBAMA exige que seja mantida uma parte da vazão para a curva do rio. O valor mínimo é de 20* $m^3.s^{-1}$*.*
Isto significa que quando a vazão do rio for de 70 $m^3.s^{-1}$ *as duas necessidades serão atendidas. Quando a vazão for superior a este valor, a vazão turbinada continua sendo de 50* $m^3.s^{-1}$*, enquanto a vazão que passa pela curva será maior do que 20* $m^3.s^{-1}$*. Quando a vazão for inferior a 70* $m^3.s^{-1}$*, a turbina deve parar de operar, porque o enunciado afirma que a manutenção da vazão ambiental na curva tem prioridade sobre a geração de energia. Neste caso, a usina não poderá gerar energia quando a vazão do rio for inferior a 70* $m^3.s^{-1}$*. De acordo com a curva de permanência, a vazão de 70* $m^3.s^{-1}$ *é superada ou igualada em 84% do tempo. Isto significa que a usina somente poderá operar em 84% do tempo.*