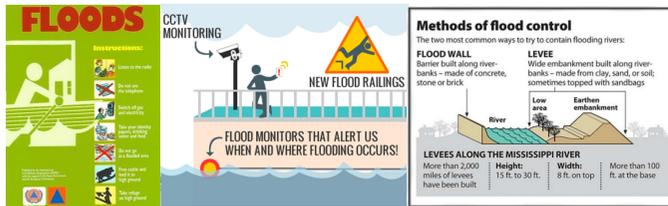


# HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

## Fenómenos hidrológicos extremos

## Mitigação dos efeitos das cheias

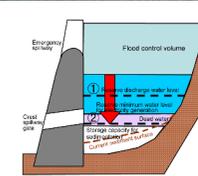
## Medidas preventivas e corretivas. Controlo de cheias em albufeiras



## Medidas corretivas e preventivas dos efeitos das cheias

### Medidas estruturais

- Eliminação de obstáculos críticos
- Redefinição de leitos menores e de cheias e de obras de proteção (diques laterais)
- Albufeiras de amortecimento e de expansão de cheias
- Desvios de água para outras bacias
- Recolocação de populações ou de equipamentos e instalações



### Medidas não estruturais

- Sistemas de aviso em tempo real
- Sistemas de emergência
- Ordenamento do território
- Disposições legislativas



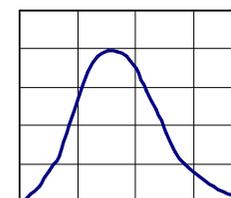
## Medidas estruturais e medidas não estruturais de proteção contra cheias

ESTRUTURAIS	ALBUFEIRAS, RESERVATÓRIOS E BACIAS DE RETENÇÃO.	CONTROLO DA "ÁGUA"
	MODIFICAÇÕES NOS LEITOS ⇒ ESTABILIZAÇÃO DE LEITOS. MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO.	
	DIQUES TRANSVERSAIS E DE PROTECÇÃO MARGINAL.	
	MODIFICAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA ⇒ RELEVO, VEGETAÇÃO, OCUPAÇÃO E USO DO SOLO.	
NÃO ESTRUTURAIS	PREVISÃO E AVISO DE CHEIAS. PLANOS DE ACÇÃO (EMERGÊNCIA).	CONTROLO DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO
	POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO E DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO. INSTRUMENTOS DE ORDENAMENTO E LEGISLAÇÃO.	
	PLANEAMENTO E CONTROLO DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO. REGULAMENTAÇÃO DA PLANÍCIE DE CHEIA.	REDUÇÃO E PARTILHA DE PREJUÍZOS
	AQUISIÇÃO, POR ENTIDADES PÚBLICAS, DE TERRENOS VULNERÁVEIS A CHEIAS ⇒ DESLOCAÇÃO DE ESTRUTURAS, ACTIVIDADES E PESSOAS.	
	SEGURO CONTRA CHEIAS. MEDIDAS FISCAIS (INCIDÊNCIA NOS IMPOSTOS).	
	INFORMAÇÃO, EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO DOS CIDADÃOS.	

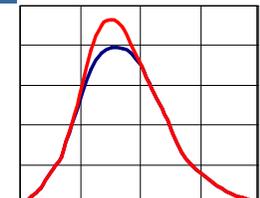
## Cheias - mitigação dos efeitos das cheias

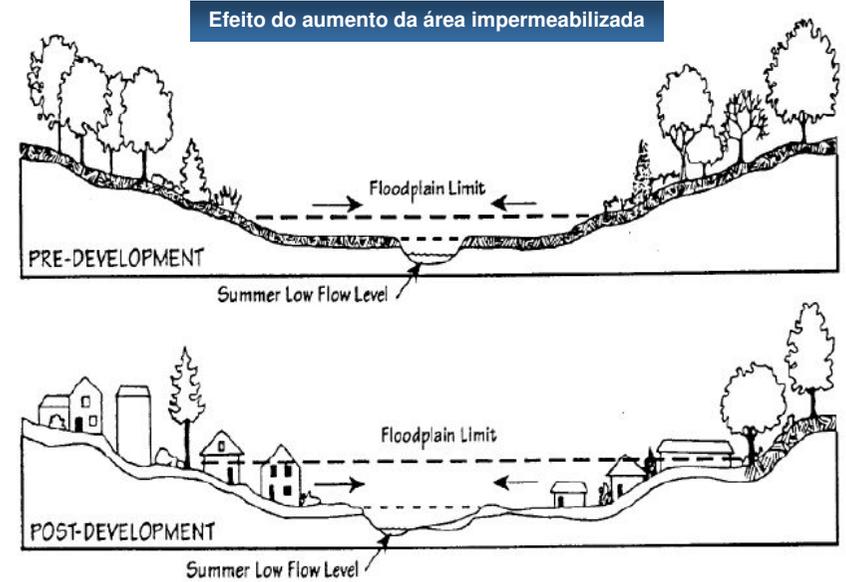
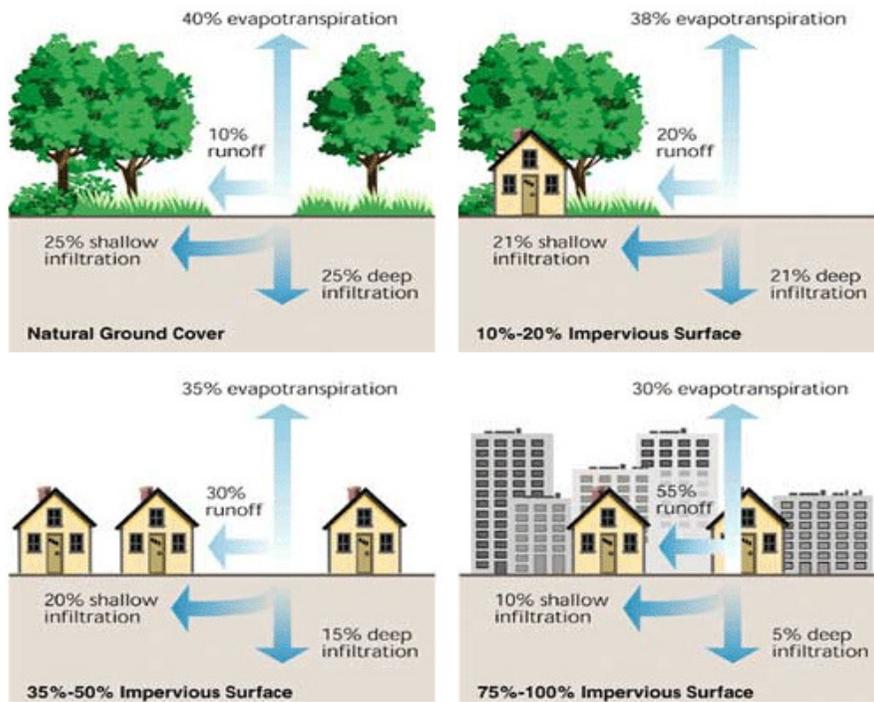


### Efeito do aumento da área urbanizada.

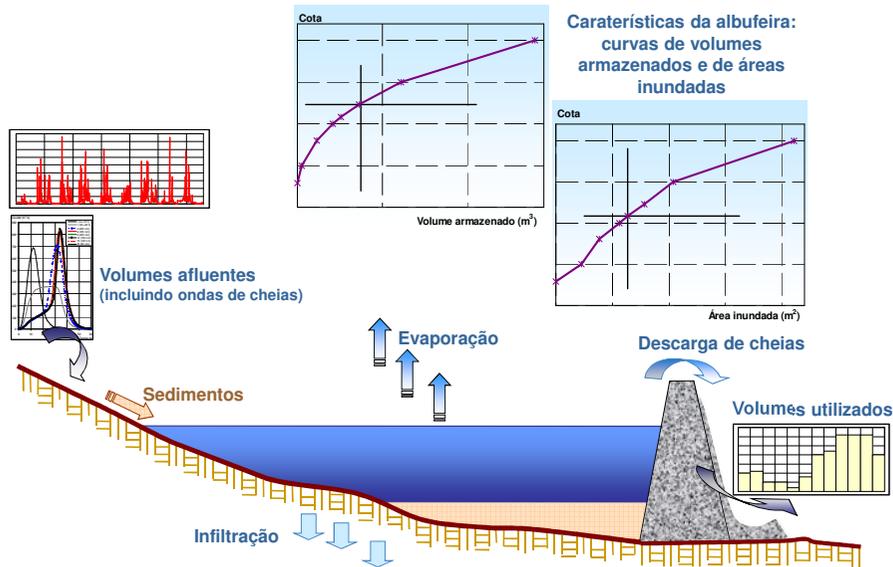


Efeito do aumento da área urbanizada: aumento do caudal de ponta de cheia por diminuição, quer das perdas de precipitação (diminuição da infiltração), quer do tempo de concentração.

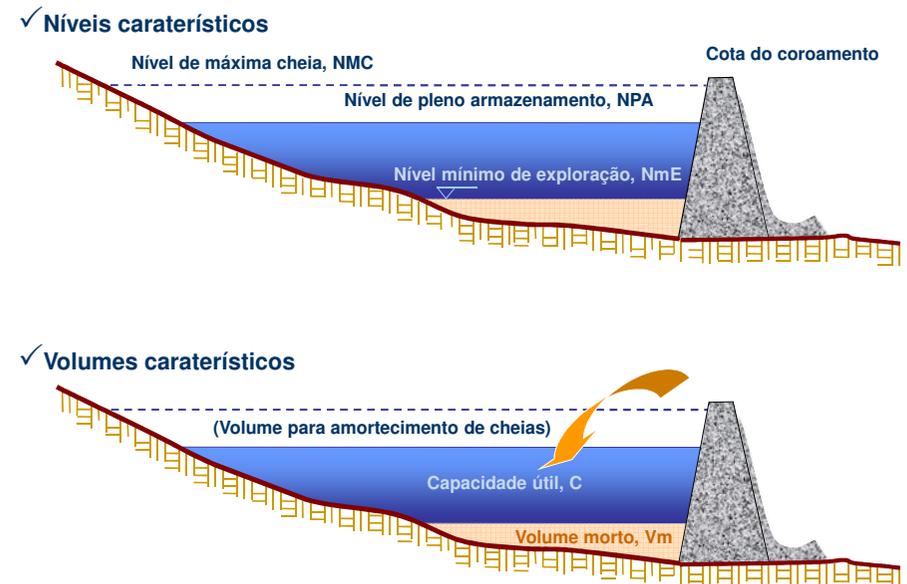




Amortecimento de ondas de cheia em albufeiras



Amortecimento de ondas de cheia em albufeiras





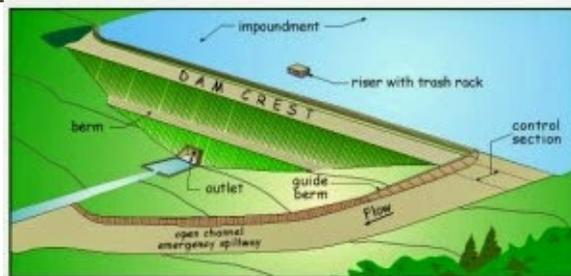
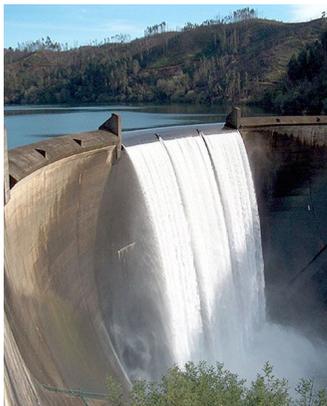
**BARRAGEM DE ODEÁXERE (BRAVURA) (Ribeira de Odeáxere, Algarve)**

- ✓ Caudal de cheia afluente – aprox. 3500 m<sup>3</sup>/s (T=1000 anos)
- ✓ Descarregador de superfície sobre a barragem com controlo (com comportas)
- ✓ Caudal máximo descarregado – aprox. 2080 m<sup>3</sup>/s



**BARRAGEM DE ODEÁXERE (BRAVURA) (Ribeira de Odeáxere, Algarve)**

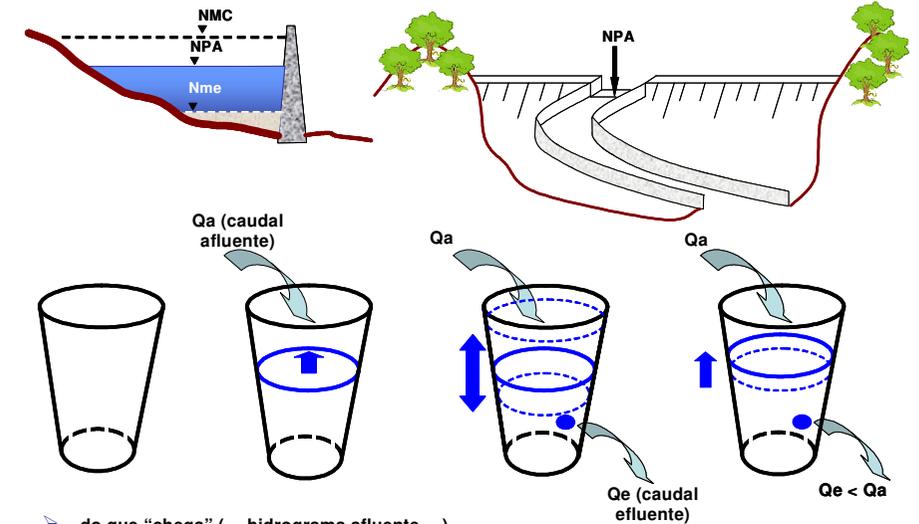
- ✓ Caudal de cheia afluente – aprox. 300 m<sup>3</sup>/s (T=100 anos)
- ✓ Descarregador de superfície sobre a barragem sem controlo (sem comportas)
- ✓ Caudal máximo descarregado - 21 m<sup>3</sup>/s



**Objeto de estudo**

**Descarregadores com descarga livre não controlada (sem comportas)**

**Amortecimento de ondas de cheia em albufeiras**



- ... do que “chega” (... hidrograma afluente ...)
- ... da forma do copo (... características de armazenamento na albufeira ... geometria do vale ..)
- ... da “forma/área” do “buraco” (... características do descarregador e correspondente lei de vazão...)
- ... o que entre é igual ao que sai + a variação de volume (... equação da continuidade aplicada ao sistema albufeira/d Descarregador ...)

## AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

➤ **Caraterísticas do descarregador e correspondente lei de vazão:** descarregador de cheias sem comportas, ou seja, com descarga livre não controlada e com a largura, L, tal que SE O CAUDAL DE PONTA DA CHEIA AFLUENTE NATURAL, Qp, FOSSE DESCARREGADO ATRAVÉS DO MESMO SEM SOFRER QUALQUER AMORTECIMENTO NA ALBUFEIRA, conduziria à carga de H\* (m) (definida no enunciado do trabalho prático):

$$Q_p \rightarrow H=H^* m \rightarrow Q_p = C L \sqrt{2g} H^{3/2} \rightarrow L$$

$C=0.48$

Supor que  $Q_p=245 \text{ m}^3/\text{s}$  e que  $H^*=2.5 \text{ m} \rightarrow L \approx 29 \text{ m}$

Lei de vazão do descarregador de cheias

$$Q_p = 0.48 \times 29 \times \sqrt{19.6} \times H^{3/2}$$

➤ **Equação da continuidade aplicada ao sistema albufeira/d Descarregador**

$$V_{i+1} = V_i + \left( \frac{Qa_i + Qa_{i+1}}{2} \right) \times \Delta t - \left( \frac{Qe_i + Qe_{i+1}}{2} \right) \times \Delta t$$

com  $\Delta t = tp/30 = tc/30$  (se, por exemplo,  $tc=3.5 \text{ h} \rightarrow \Delta t = 420 \text{ s}$ ).

Passo de cálculo	Tempo (s)	Caudal afluente Qa (m³/s)	Caudal efluente Qe (m³/s)	Volume armazenado V (m³)	Nível na albufeira (acima do NPA) H (m)	Carga sobre a crista do descarregador H (m)	Qe* (m³/s)	Qe-Qe* (m³/s)
0								
1								
2								
3								
4								
5	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(5)	(6)	(7)
6								
.....								
.....								
.....								

- (1) Passo de cálculo x  $\Delta t$  (é necessário incluir os instantes relativos ao hidrograma afluente)
- (2) Conhecido (1ª Parte do trabalho)
- (3) Arbitrado na 1ª iteração de cada passo de cálculo (igual ao do passo de cálculo precedente)
- (4) Calculado pela equação da continuidade  $V_{i+1} = V_i + \left( \frac{Qa_i + Qa_{i+1}}{2} \right) \Delta t - \left( \frac{Qe_i + Qe_{i+1}}{2} \right) \Delta t$
- (5) Calculado pela curva de volumes armazenados na albufeira
- (6) Calculado pela curva de vazão do descarregador  $Qe = 0.48 \times L \sqrt{2g} H^{3/2}$
- (7) NA SOLUÇÃO PARA ESSE PASSO DE CÁLCULO, SERÁ IGUAL A ZERO

Area bacia hidrográfica (km²)	42
Precipitação total de projecto (mm)	113.1
Tempo de concentração (h)	3.5
Curva de volumes armazenados (m³/m)	2375100
Largura da soleira descarregadora (m)	27.2
Incremento de tempo (s)	420
Tempo total de cálculo (h)	14
Tempo total de cálculo (s)	50400

## AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

t=0 s condições iniciais conhecidas

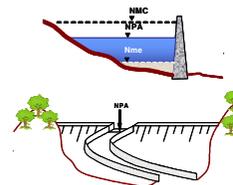
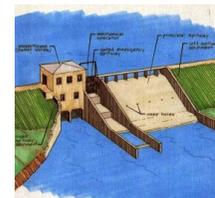
Tempo (s)	Caudal afluente, Qa (m³/s)
0	0.00
1800	25.13
3600	75.38
5400	150.75
7200	211.05
9000	256.28
10800	286.43
12600	301.50
14400	276.38
16200	226.13
18000	150.75
19800	90.45
21600	45.23
23400	15.08
25200	0.00
0	0.00

Inclusão dos instantes considerados no hidrograma afluente

Passo de cálculo	Tempo (s)	Caudal afluente Qa (m³/s)	Caudal efluente Qe (m³/s)	Volume armazenado V (m³)	Nível na albufeira (acima do NPA) H (m)	Carga sobre a crista do descarregador H (m)	Qe* (m³/s)	Qe-Qe* (m³/s)
0	0	0.00	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00000
1	420	5.86	0.001	1231.0	0.001	0.001	0.001	0.00000
2	840	11.73	0.005	4923.1	0.002	0.002	0.005	0.00000
3	1260	17.59	0.018	11073.9	0.005	0.005	0.018	0.00000
4	1680	23.45	0.044	19678.9	0.008	0.008	0.044	0.00000
5	2100	25.13	0.054	22587.6	0.010	0.010	0.054	0.00000
6	2520	33.50	0.088	31360.3	0.013	0.013	0.088	0.00000
7	2940	45.23	0.165	47839.7	0.020	0.020	0.165	0.00000
8	3360	56.95	0.287	69201.7	0.029	0.029	0.287	0.00000
9	3780	68.68	0.465	95425.2	0.040	0.040	0.465	0.00000
10	4200	75.38	0.597	112594.1	0.047	0.047	0.597	0.00000
11	4620	82.91	0.712	126712.4	0.053	0.053	0.712	0.00000
12	5040	90.45	0.823	144858.1	0.069	0.069	0.823	0.00000
13	5460	100.50	1.057	164858.1	0.089	1.057	1.057	0.00000
14	5880	118.09	1.522	210220.6	0.089	1.522	1.522	0.00000
15	6300	135.68	2.127	262745.3	0.111	0.111	2.127	0.00000
16	6720	150.75	2.771	313421.1	0.132	0.132	2.771	0.00000
17	7140	157.76	2.890	322356.7	0.136	0.136	2.890	0.00000
18	7560	166.83	3.817	388063.1	0.163	0.163	3.817	0.00000
19	7980	180.90	4.915	459253.8	0.193	0.193	4.915	0.00000
20	8400	194.97	6.194	535854.9	0.226	0.226	6.194	0.00000
21	8820	209.04	7.668	617787.3	0.260	0.260	7.668	0.00000
22	9240	211.05	7.895	629923.3	0.265	0.265	7.895	0.00000
23	9660	220.10	9.336	704429.1	0.297	0.297	9.336	0.00000
24	10080	230.65	11.189	794776.3	0.335	0.335	11.189	0.00000
25	10500	241.20	13.230	888737.8	0.374	0.374	13.230	0.00000
26	10920	251.76	15.466	986233.2	0.415	0.415	15.466	-0.00001
27	11340	256.28	16.485	1029080.8	0.433	0.433	16.485	0.00000
28	11760	260.30	17.895	1086944.6	0.458	0.458	17.895	0.00000

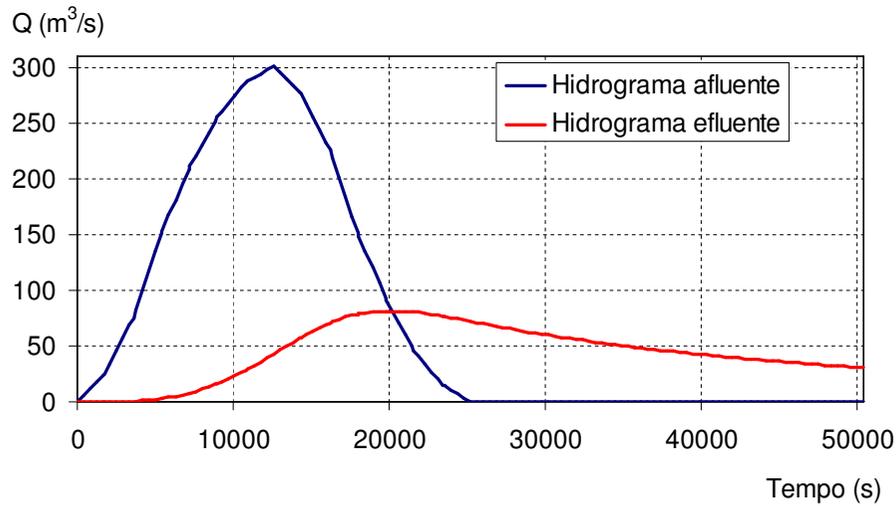
## AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

Passo de cálculo	Tempo (s)	Caudal afluente Qa (m³/s)	Caudal efluente Qe (m³/s)	Volume armazenado V (m³)	Nível na albufeira (acima do NPA) H (m)	Carga sobre a crista do descarregador H (m)	Qe* (m³/s)	Qe-Qe* (m³/s)
89	37380	0.00	46.269	2047623.7	0.862	0.862	46.269	-0.00005
90	37800	0.00	45.617	2028327.8	0.854	0.854	45.617	-0.00004
91	38220	0.00	44.976	2009303.3	0.846	0.846	44.976	-0.00004
92	38640	0.00	44.348	1990545.2	0.838	0.838	44.348	-0.00003
93	39060	0.00	43.731	1972048.6	0.830	0.830	43.731	-0.00003
94	39480	0.00	43.126	1953808.6	0.823	0.823	43.126	-0.00003
95	39900	0.00	42.532	1935820.5	0.815	0.815	42.532	-0.00002
96	40320	0.00	41.948	1918079.7	0.808	0.808	41.948	-0.00002
97	40740	0.00	41.376	1900581.7	0.800	0.800	41.376	-0.00002
98	41160	0.00	40.813	1883322.0	0.793	0.793	40.813	-0.00002
99	41580	0.00	40.261	1866296.3	0.786	0.786	40.261	-0.00001
100	42000	0.00	39.719	1849500.5	0.779	0.779	39.719	-0.00001
101	42420	0.00	39.186	1832930.4	0.772	0.772	39.186	-0.00001
102	42840	0.00	38.663	1816582.1	0.765	0.765	38.663	-0.00001
103	43260	0.00	38.149	1800451.4	0.758	0.758	38.149	-0.00001
104	43680	0.00	37.645	1784534.7	0.751	0.751	37.645	0.00000
105	44100	0.00	37.149	1768828.1	0.745	0.745	37.149	0.00000
106	44520	0.00	36.661	1753327.9	0.738	0.738	36.661	0.00000
107	44940	0.00	36.183	1738030.7	0.732	0.732	36.183	-0.00007
108	45360	0.00	35.712	1722932.7	0.725	0.725	35.712	-0.00007
109	45780	0.00	35.250	1708030.7	0.719	0.719	35.250	-0.00007
110	46200	0.00	34.796	1693321.1	0.713	0.713	34.796	-0.00006
111	46620	0.00	34.349	1678800.8	0.707	0.707	34.349	-0.00006
112	47040	0.00	33.910	1664466.4	0.701	0.701	33.910	-0.00006
113	47460	0.00	33.478	1650314.9	0.695	0.695	33.478	-0.00005
114	47880	0.00	33.054	1636343.0	0.689	0.689	33.054	-0.00005
115	48300	0.00	32.637	1622547.9	0.683	0.683	32.637	-0.00005
116	48720	0.00	32.227	1608926.5	0.677	0.677	32.227	-0.00005
117	49140	0.00	31.824	1595475.8	0.672	0.672	31.824	-0.00004
118	49560	0.00	31.427	1582193.2	0.666	0.666	31.427	-0.00004
119	49980	0.00	31.037	1569075.7	0.661	0.661	31.037	-0.00004
120	50400	0.00	30.653	1556120.7	0.655	0.655	30.654	-0.00004



## AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

### Descarga livre não controlada



COLUNA H  
(COLUNA 8)

COLUNA M  
(COLUNA 13)

Passo de cálculo	Tempo (s)	Caudal afluente (Qa) (m³/s)	Caudal efluente (Qe) (m³/s)	Volume armazenado (V) (m³)	Nível na albufera (acima do NPA) (m)	Carga sobre a crista do descarregador (H) (m)	Qe* (m³/s)	Qe-Qe* (m³/s)
0	0	0.00	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00000
1	420	5.86	0.001	1231.0	0.001	0.001	0.001	0.00000
2	840	11.73	0.005	4923.1	0.002	0.002	0.005	0.00000
3	1260	17.59	0.018	11073.9	0.005	0.005	0.018	0.00000
4	1680	23.45	0.044	19678.9	0.008	0.008	0.044	0.00000
5	2100	33.50	0.088	22587.6	0.010	0.010	0.088	0.00000
6	2520	45.23	0.165	31360.3	0.013	0.013	0.165	0.00000
7	2940	56.95	0.287	47839.7	0.020	0.020	0.287	0.00000
8	3360	68.68	0.465	69201.7	0.029	0.029	0.465	0.00000
...	...	...	...	...	...	...	...	...
113	47460	0.00	33.478	1650314.9	0.695	0.695	33.478	-0.00005
114	47880	0.00	33.054	1636343.0	0.689	0.689	33.054	-0.00005
115	48300	0.00	32.637	1622547.9	0.683	0.683	32.637	-0.00005
116	48720	0.00	32.227	1608926.5	0.677	0.677	32.227	-0.00005
117	49140	0.00	31.824	1595475.8	0.672	0.672	31.824	-0.00004
118	49560	0.00	31.427	1582193.2	0.666	0.666	31.427	-0.00004
119	49980	0.00	31.037	1569075.7	0.661	0.661	31.037	-0.00004
120	50400	0.00	30.653	1556120.7	0.655	0.655	30.654	-0.00004

LINHA 14  
LINHA 15  
↑  
132 LINHAS  
↓  
LINHA 146

```

hidrograma unitario.xls - Module1 (Code)
[General]
Sub Amort()
For i = 1 To 132
  Range(Cells(14 + i, 13).Address).GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range(Cells(14 + i, 8).Address)
Next
End Sub
    
```

- Tools (Ferramentas)
- Macro (Macro)
- Nome Amortece ou outro ...
- Escrever Macro
- Salvar Macro
- "Debug"
- Voltar ao Excel
- Macro
- Run

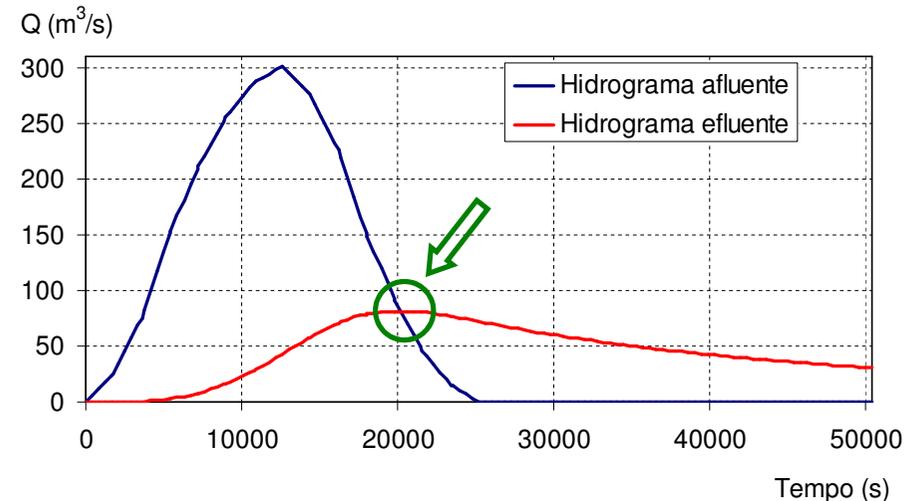
**NOTA:** a diferença que consta da célula objeto do GOAL SEEK NÃO PODE SER EXPRESSA EM VALOR ABSOLUTO

```

Sub Amort()
For i = 1 To 132
  Range(Cells(14 + i, 13).Address).GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range(Cells(14 + i, 8).Address)
Next
End Sub
    
```

## AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

### Descarga livre não controlada



MÁXIMO DO HIDROGRAMA EFLUENTE NECESSARIAMENTE SOBRE O RAMOS DESCENDENTE DO HIDROGRAMA AFLUENTE .... PORQUÊ?