Capitulo 261-Estimativa de enchente devido Dam Break conforme Bornschein, 2015

Capitulo 261-Estimativa de enchente devido Dam Break conforme Bornschein, 2015

261.1 Introdução

Vou apresentar um trabalho feito em agosto 2015 na Alemanha na cidade de Dresden por Antye Bornschein, que apresentou um método simples para estimar inundação devido a dam break (falha em barragem, rompimento de barragem).

Trata-se de barragens para controle de enchentes, abastecimento de águya, produção de energia elétrica e irrigação. Não inclui barragem de rejeitos.

O método apresentado não evita o uso de softwares conhecidos como Dambreak, Mike e Hecras.

A Figura (261.1) mostra o barramento com as seções a jusante;

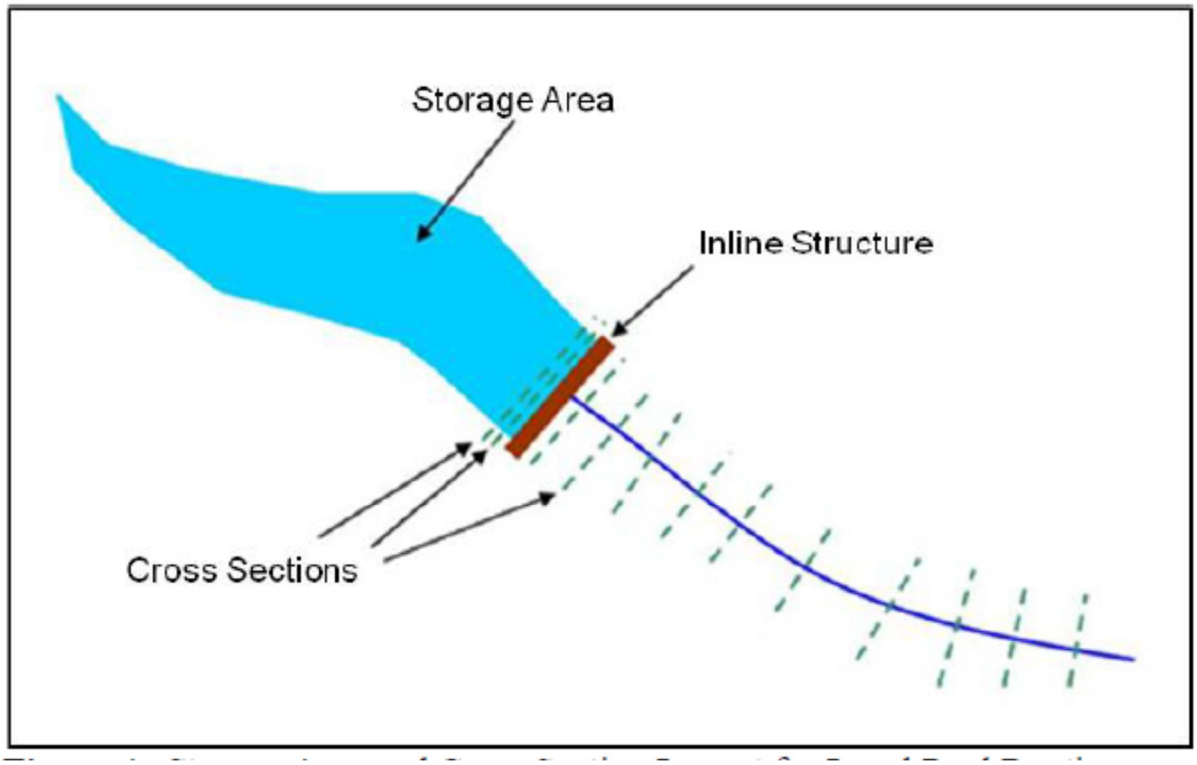


Figura 261.1- Croquis do barramento e das seções a jusante

261.2 Ondas longas

Na Alemanha em 1943 foram destruídas duas grandes barragens que forneciam energia para as indústrias de guerra. Uma delas é a barragem de Mohne e a outra é de Eder no rio Eder. Em 2002 caiu na Alemanha a barragem de Glashutte por galgamento.

Interessante é saber que quando os americanos soltaram bombas saltitantes sobr a água para destruir a barragem de Mohne. Ela foi destruída e o volume de água que caiu no rio foi medido e dai se desenvolveram processos de análise de ondas longas. Do rio Ruhr a agua foi para rio Reno e se fez sentir até 140 Km onde atingiu altura de 1,5m conforme Figura (261.2). O modelo difuso foi desenvolvido em 1948 por Shonfelder conforme BATTEJES,2011.

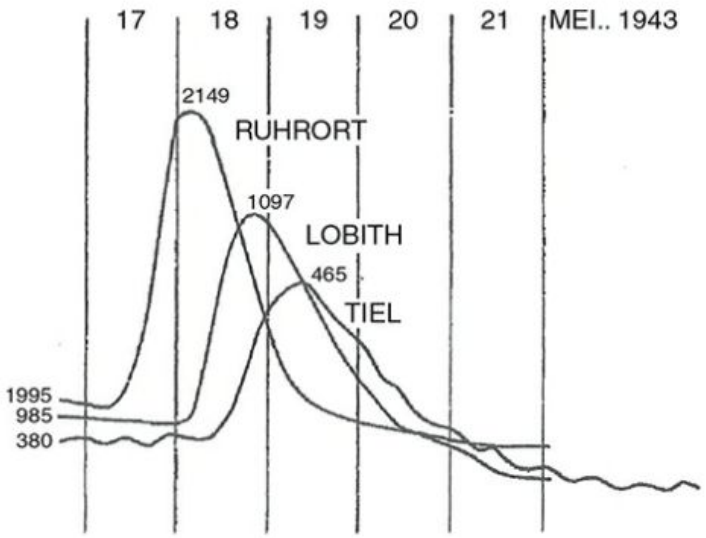


Figura 261.2-Medidas das ondas de 1943 com dam break da barragem de Mohne. Com volume de 110 x 10^6 m3. Fonte: BATTEJE. 2017

261.3 Método de Bornschein, 2015

Conforme Bornschein, 2015 e Figura (261.3) temos para vazão máxima em função do produto BFF= Volume x altura:

Vazão máxima

Qma=0,928. (hmax . Vmax)^0,4319

Sendo:

Qmax= vazão máxima devido Dam Break (m3/s)

Hmax= altura máxima da barragem (m)

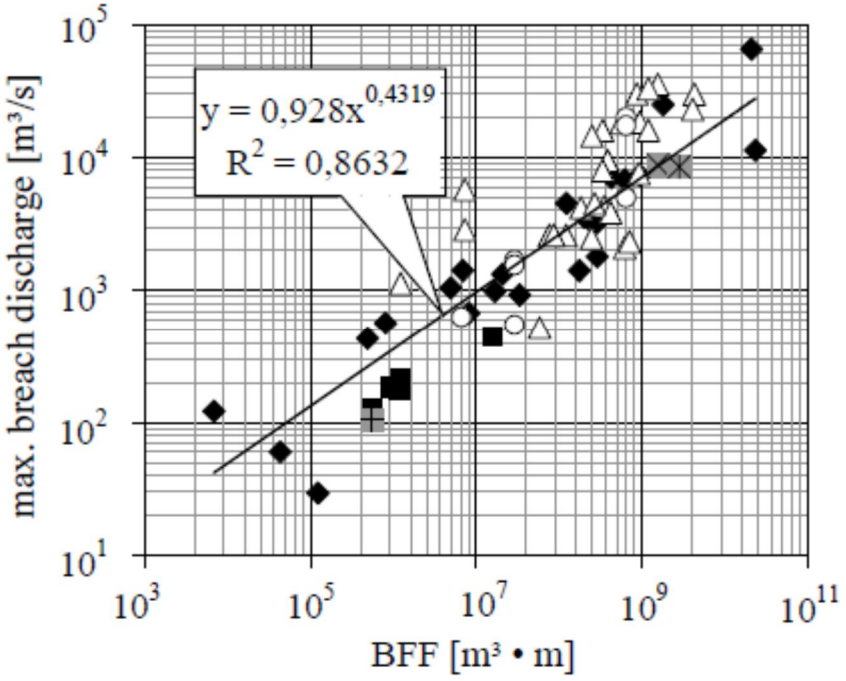


Figura 261.3- Relação BFF= volume x altura. Observar R2=0,8632.

Vmax= volume máximo de água nos reservatórios (m3)

Exemplo 261.1- Achar Qmax Barragem do Tanque Grande em Guarulhos
Dados: H= 3m V=80000m3
Qmax=0,928. (hmax . Vmax)^0,4319
Qmax=0,928. (3x80000)^0,4318 =195,6 m3/s
Para achar a vazão no ponto que queremos numa distância "x" a contar do pé da barragem, Bornschein, 2015 fez duas equações, sendo uma para um valor máximo que é mais usada e outra para um valor mínimo conforme Figura (261.4).

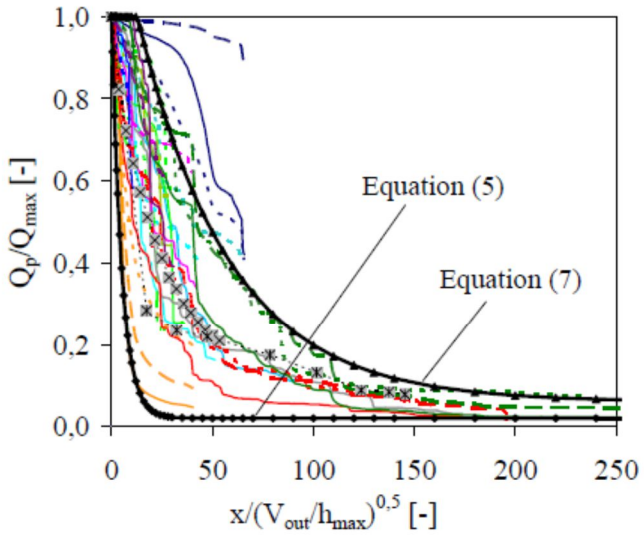


Figure 9: Dimensionless peak discharge along the dimensionless talweg (- data from own dam break studies [5], x Moehne dam failure 1943 and ж Eder dam failure 1943 [7])

Figura 261.4-Observar que temos duas equações, uma para a máxima vazão e outra para a mínima. Na pratica só se usa a máxima.

Para o valor máximo:
Qp/Qmax= exp(-0,022.X) + 0,06
Sendo:
X= distancia adimensional
X= x/(V/h)^0,5
Sendo:
Qp= vazão no ponto que queremos a distância "x" do barramento (m3/s)
Qmax= vazão máxima no barramento quando há a falha (m3/s)
V= volume máximo do reservatório (m3)
h=altura do reservatório (m)
x= distância em metros desde o pé da barragem até o ponto que queremos (m)
X= adimensional
Nota: observe que tem dois x, um pequeno e outro grande.

Exemplo 261.2 Tanque Grande h=3; V= 80000m3 Qmax=195,6 m3/s. Distância x= 7000m
Primeiramente vamos achar o comprimento adimensional "X".
X= x/(V/h)^0,5
X= 7000/(80000/3)^0,5=42,87
Qp/Qmax= exp(-0,022.X) + 0,06
Qp= 195,6 xexp(-0,022x42,87) + 0,06 = 72,2 m3/s
Tendo a vazão a 7000m e dados dados locais da declividade e do coeficiente de rugsoidade podemos usar as equação de Manning para achar a altura do nível de água e a velocidade.
A equação de Bornschein, 2015 para a vazão mínima Qmin;
Qp/Qmax = exp(-0,2.X) + 0,02 , tanH(X)
Sendo:
Qp= vazão mínima no ponto p a x meteros da brragem (m3/s)
Qmax= vazão máxima do dam break (m3/s)

X= distância adimensional
Tanh= tangente hiperbólica

Exemplo 261.3 Tanque Grande
Qp/Qmax = exp(-0,2.X) + 0,02 , tanH(X)
Qp = 195,6 x exp(-0,2x42,87) + 0,02 , tanH(42,87) = 0,1 m3/s

Ainda conforme Bornschein, 2015 para calcular o tempo que vai a onda de enchente desde o pé da barramento até o ponto p desejado, existe duas equações que depende da vazão máxima Qmax.

Para Qmax< 9000 m3/s

Tp. (g/h)^0,5= 0,06. (x/h)^1,5

Sendo:
Tp= tempo percorrido em segundos desde a barragem até o ponto considerado p
g= aceleração da gravidade =9,81 m/s2
h= altura máxima do reservatório *m(
x= distância em metros desde o pé da barragem até o ponto p considerado

Exemplo 261.4 Calcular o tempo tp desde a barragem do Tanque Grande até a distância de 7000 onde o rio é afluente do rio Baquiru, sendo a vazão Qmax´= 195,6 m3/s

Como 195,6m3/s < 9000 m3/s podemos aplicar a equação:
Tp. (g/h)^0,5= 0,06. (x/h)^1,5
Tp. (9,81/3)^0,5= 0,06. (7000/3)^1,5=6762,5
Tp. 1,8= 6762,6
Tp= 3740 s =52,3 min= 1,04h
Para Qmax >= 9000 m3/s
Tp. (g/h)^0,5= 0,15. (x/h)^1,5
Sendo:
Tp= tempo percorrido em segundos desde a barragem até o ponto considerado p
g= aceleração da gravidade =9,81 m/s2
h= altura máxima do reservatório *m(
x= distancia em metros desde o pé da barragem até o ponto p considerado
Nota: somente mudou o valor 0,06 para 0,15

Exemplo 261.5- Aplicação em três barramentos

Na Tabela (261.1) temos a aplicação do método de Bornschein, 2015 em duas barragens em Guarulhos e outra na Alemanha.

Tabela 261.1- Cálculos em Excel de Bornsschein, 2015 de três barramentos: Alemanha, Tanque Grande e Cabuçu ambos em Guarulhos

			TANQUE	
		Alemanha	Grande	Cabuçu
Altura máxima do reservatório	(m)	40	3	15
Volume do reservatório	(m3)	30000000	80000	2E+06
Qmaximo do Dam Break	(m3/s)	7742	195,6	1489
Distância até o ponto	x (m)	15000	7000	15000
Vazão do Dam Break (m3/s)	Qmax	7742	195,6	1489
Adimensional "X"	X grande	17,3	42,87	43,79
Qmax no ponto (m3/s)	Qmaxp	5288,9	76,2	568,3
Qmin no ponto (m3/s)	Qminp	242,3	0,1	0,3

Tempo até o ponto	**tp (s)**	**879,8**	**3740**	**2346**
Tempo até o ponto	**tp (min)**	**14,7**	**62,3**	**39,1**
Tempo até o ponto	**tp(h)**	**0,24**	**1,04**	**0,65**

261.3 Bibliografia e livros consultados

-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. ***Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica*** **XXX SIC. 2018.**

-BATTEJES. J.A. et al. ***Unsteady flow in open channels*****. Amazon/Kindle, 2017**

-BORNSCHEIN, A. ***A simple method for estimate inundation due to dam break*****. 26 de agosto de 2015. Dresden. Alemanha.**

-CHANSON. HUBERT. ***The hydraulics of open channel flow na introduction*****. 2ª ed. 586 página, ano 2010**

-FROELICH, DAVID.***Embankment dam breach parfameters*** **revisted. ASCE, agosto1995**

-GRAHAM, W.J. ***Procedures for estimating loss of life in*** **dam. Setembro , 1999**

-HEC-RAS. ***Using Hec-Ras for dam break studies*****. Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.**

-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010***. Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.***

-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simpósio Brasileiro de recursos hídricos.

-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*****.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.

-WEST, MARTIN et al. ***Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.*** **Portugal.**

Capitulo 262-Estimativa de enchente devido Dam break conforme Bassegio, 2018

Capítulo 262-Estimativa de enchente devido Dam break conforme Bassegio, 2018

262.1 Introdução

Vou apresentar um trabalho feito em 2015 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul na, que Bassegio, 2018 apresentou um método simples para estimar inundação devido a dam break (falha em barragem, rompimento de barragem).

Trata-se de barragens para controle de enchentes, abastecimento de água, produção de energia elétrica e irrigação. Não inclui barragem de rejeitos.

O método apresentado não evita o uso de softwares conhecidos como Dambreak, Mike e Hecras.

262.2 Vazão de pico devido a brecha na barragem (Q_p)

Pesquisa feita por FROEHLICH, (1995) in *Bureau of Reclamation*, 1998 fornece a vazão de pico devido a brecha na barragem.

$$\mathbf{Q_p = 0{,}607 \times V^{0{,}295} \times h^{1{,}24}}$$

Sendo:

$\mathbf{Q_p}$= vazão de pico devido a brecha na barragem (m^3/s);

V= volume total de água armazenado na barragem (m^3);

h= altura máxima da barragem (m).

Exemplo 262.1-Barragem do Tanque Grande em Guarulhos

Calcular a vazão de pico ocasionada pela brecha na barragem que tem altura de 3,0m e volume de 80.000m^3.

$$\mathbf{Q_p} = 0{,}607 \times V^{0{,}295} \times h^{1{,}24}$$

$$\mathbf{Q_p} = 0{,}607 \times 80000^{0{,}295} \times 3{,}0^{1{,}24} = 66 m3/s$$

262.3 Comprimento a analisar a jusante do barramento

É complicado estimar até onde vai a influência do Dam Break em um canal ou rio. Citamos a barragem na Alemanha de Mohne que foi derrubada pela RAF em 1943 e a onda chegou a a140km de distância com altura de 1,50m.

Não achei a autoria exata de quem fez a fórmula abaixo, que uns atribuem a Graham, 1999, mas procurei o original e não achei tal fórmula em Pereira, 2015. Mas ela funciona.

Dmax= 8,870x10^-8 x Vmax^3 - 2,602x10^-4 xVmax^2 + 2,648x10^-1x Vmax +6,737

Se Vmax > 1000 hm3 então Dmax= 100 Km

Sendo:

Dmax= distância após o barramento (Km). Cuidado não errar

Vmax= volume do reservatório (hm3) Nota: para obter em hm3= V(m3)/1000.000

Exemplo 262.2- Estimar o comprimento a jusante de um barramento com 90.000m3. Barragem do Tanque Grande em Guarulhos.

Primeiramente transformamos o volume em hm3

Vmax= 90.000 m3/1000,000 =0,09 hm3

Dmax= 8,870x10^-8 x Vmax^3 - 2,602x10^-4 xVmax^2 + 2,648x10^-1x Vmax +6,737

Dmax= 8,870x10^-8 x 0,09^3 - 2,602x10^-4 x0,09^2 + 2,648x10^-1x 0,09 +6,737

Dmax= 6,71 km= 6710m

262.4 Vazões estimadas ao longo do comprimento a jusante

Conforme Pereira, 2015*, o Bureau de Reclamation* elaborou as fórmulas que iremos apresentar:

Para volume de reservatório > 6,2 hm = 6,2 x 10^6 m3) temos:

Qx= Qmax x 10 ^-0,02143. X Equação do USBR,1989

Sendo:

Qx= vazão em m3/s a distância x em metros. Cuidado não errar !

Qmax= vazão máxima achada usando Froehlich, 1995

Para volume de reservatório <= 6,2 hm3

Qx= Qmax . a. exp(b.x) Equação do Dams Sector, 2011

Sendo:

a=0,003. LN(Vmax) + 0,9626
b=-0,20047. (Vmax + 25000)^-0,5979

Exemplo 262.3- Tanque Grande Guarulhos
Vmax= 0,09 hm3
Qmax= 69m3/s
Como o volume é menor que 6,2 hm3 teremos:
a=0,003. LN(Vmax) + 0,9626
a=0,003. LN(0,09) + 0,9626= 0,958
b=-0,20047. (Vmax + 25000)^-0,5979
b=-0,20047. (0,09 + 25000)^-0,5979 = - 0,0005
Cálculo da vazão a distância x em metros do barramento
Qx= Qmax . a. exp(b.x)
Qx= 69x0,958.exp(-0,0005.x)

Para efeito de exemplo, vamos usar "x" de 1000m em 1000m até atingir a distância de 6720m.
Nota: abaixo estimaremos a distância de 200m de uma seção transversal do rio.

Celeridade Co (m/s)
Co= (5/3). Qmax^0,4 . So^0,3/ (n^0,6 . bo^0,4)
Sendo:
Co= celeridade (m/s)
Qmax= vazão máxima (m2/s)
So= declividade (m/m)
n= rugosidade de Manning
bo= largura da base do canal (m)
Co= (5/3). Qmax^0,4 . So^0,3/ (n^0,6 . bo^0,4)
Co= (5/3)x 69^0,4 x 0,021^0,3/ (0,25^0,6 x 15^0,4) = 2,2 m/s

Como a celeridade da onda Co=2,2m/s, para percorrer 6761 metros teremos:
Dmax/Co= tempo= 6761m/2,2 m/s= 3073s= 51 min.
Na Tabela (262.1) estão os cálculos, sendo a distância de 1000 em 1000m.
Portanto, a onda para atingir os 6761m leva 51min e a vazão de chegada será 2,7m3/s.
Notar que não consideramos a vazão do rio existente.
A pior condição é quando é um dia de sol com uma vazão mínima (low flow)
Uma regra prática é estimar a vazão mínima por algum método e na prática é adotado 1% (um por cento) da vazão da onda na seção.

T **Tabela 262.1- Cálculos da vazão ao longo do rio**

			Qx (M3/S)	**tempo**
x (km)	a	b	69	(min)
1000	0,958	-0,0005	**41,3**	**7,6**
2000	0,958	-0,0005	**25,8**	**15,2**
3000	0,958	-0,0005	**16,1**	**22,7**
4000	0,958	-0,0005	**10,1**	**30,3**
5000	0,958	-0,0005	**6,3**	**37,9**

6000	0,958	-0,0005	**3,9**	**45,5**
6761	0,958	-0,0005	**2,7**	**51,2**

262.5 Espaçamento entre seções do rio a jusante

Tempo de formação da brecha.

Conforme FROEHLICH, (1995) temos:

V=80.000m^3

h= 3,00m

$$t_f = 0{,}1524 \times V^{0,53} / h^{0,90}$$

$$t_f = 0{,}1524 \times 80.000^{0,53} / 3^{0,90} = 22\text{min}$$

Portanto, o tempo até o pico é de 24min.

Para calcular o intervalo Δ t= tp/5= 22min/5= 4,4min

O intervalo máximo é de 4,4 min, mas adotamos intervalo de 5 min.

Cálculo da Celeridade Co

Co= (5/3).Qo^0,4. So^0,3/ (n ^0,6. bo^0,4)

Sendo:

Co= celeridade (m/s)

Qo= 66 m3/s vazão máxima

So= 0,01 m/m declividade média do rio

n= 0,25

bo= 15m

Exemplo 262.3- Tanque Grande Guarulhos

Co= (5/3).Qo^0,4. So^0,3/ (n ^0,6. bo^0,4)

Co= (5/3).66^0,4x 0,01^0,3/ (0,25 ^0,6x15^0,4) =5,05m/s

Comprimento máximo do trecho

O valor de L ou Δx deve ser menor que a Equação:

$$\Delta x = L \leq 0{,}5 \times c_o \times \Delta t \times (1 + (1 + 1{,}5\, Q_o / (b_o . S_o . c_o^2\, \Delta t))^{0,5})$$

$$\Delta x = L \leq 0{,}5 \times 5{,}05 \times 5\text{min} \times 60\text{s} \times (1 + (1 + 1{,}5 \times 66 / (15 \times 0{,}01 \times 5{,}05^2 \times 5 \times 60))^{0,5})$$

$$x \leq 1665\text{m}$$

Portanto, o comprimento do trecho deve ser menor que1665m e adotamos L= **Δx** =1000m.

Nota: em trabalhos profissionais é comum adotar-se intervalo de 30m devido a pontes, estreitamentos, etc.

262.6 Cálculo da seção transversal

Tendo a vazão em cada seção calculada de 1000m em 1000m temos que calcular a profundidade, a largura e velocidade no rio usando a fórmula de Manning. Em trabalhos profissionais se costuma fazer seções de 30m em 30m devido as interferências como estreitamentos e pontes.

V= (1/n) R^(2/3) S^0,5

O grande problema é dotar o valor da rugosidade de Manning principalmente em seções compostas.. Geralmente adota-se n=0,035 n=0,045 ou n=0,055.

262.7 Coeficiente de rugosidade de Manning para declividade grande

A fórmula mais usada em canais no mundo é ade Manning. Para adotar o coeficiente de Manning no canal principal é fácil, mas adotar a rugosidade quando a agua ultrapassa as margens e forma uma seção composta, é muito mais dificil. No Hec-Ras, 2012 tem a formula de Barret:

n=0,39.S^0,38/ R^0,16

Sendo:
n= coeficiente de rugosidade de Manning
S=declividade (m/m)
R= raio hidráulico em pés (ft). Para transformar metros em pês basta devidir metros por 0,3.

Valor da rugosidade de Manning n em função da rugosidade (m) conforme Batejes, 2017

n=K^(1/6)/ (8,4*g^0,5)

Exemplo 262.4- Dado R=0,90mn e S=0,012m;m. Achar n ?
R=0,9m=0,9/0,3= 3ft
n=0,39.S^0,38/ R^0,16
n=0,39x0,012^0,38/ 3^0,16=0,061

262.3 Qmax de vários autores

Cálculo da vazão máxima de rompimento de barragens. Tomando como base barragem do Tanque Grande em Guarulhos conforme Tabela (262.2)/

Não é usual tomarmos uma média. Geralmente se escolhe uns três métodos e fazem-se os cálculos. Separadamente.

ão

Tabela 262.2- Cálculo da vazão máxima do dam break de diversos autores

AUTOR	VOLUME (M3)	ALTURA (M)	QMAX (M3/S)	
			(m3/s)	
Froehlich, 1995	80000	3	**66,3**	**Q=0,607xV^0,295xH^1,24**
USBR, 1982	80000	3	**146**	**Q=19,1xH^1,85**
MaCdONALD, 1984	80000	3	**190**	**Q=1,154x (VxH)^0,412**
SCS, 1981	80000	3	**127**	**Q=16,6xH^1,85**
Singh, 1984	80000	3	**107**	**Q=13,4xH^1,89**
Evans, 1986	80000	3	**286**	**Q=0,72xV^0,53**
Dornstein, 2015	80000	3	**195,6**	**Q=0,928x(VxH) ^0,4319**

262.8 Bibliografia e livros consultados

-BATTEJES. J.A. et al. ***Unsteady flow in open channels.*** **Amazon/Kindle, 2017**
-CHANSON. HUBERT. ***The hydraulics of open channel flow na introduction*****. 2ª ed. 586 página, ano 2010**
-FROELICH, DAVID.***Embankment dam breach parfameters*** **revisted. ASCE, agosto1995**
-GRAHAM, W.J. ***Procedures for estimating loss of life in*** **dam. Setembro , 1999**
-HEC-RAS. ***Using Hec-Ras for dam break studies*****. Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.**
-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010***. Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.***
-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simposio Brasiuleiro de recursos hidrficos.
-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*****.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.
-WEST, MARTIN et al. ***Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.*** **Portugal.**
-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. ***Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica*** **XXX SIC. 2018**

Capítulo 263-Estimativa de enchente devido Dam Break conforme Canadá, 2015

Capítulo 263-Estimativa de enchente devido Dam Break conforme Canada, 2015

263.1 Introdução

Vou apresentar um trabalho feito em junho 2015 no Canada, que apresentou um método simples gráfico para estimar inundação devido a dam break (falha em barragem, rompimento de barragem).

Trata-se de barragens para controle de enchentes, abastecimento de água, produção de energia elétrica e irrigação. Não inclui barragem de rejeitos.

O método apresentado não evita o uso de softwares conhecidos como Dambreak, Mike e Hecras.

263.2 Método Gráfico

Vamos mostrar usando exemplo as tabelas e gráficos do Dam Safety, junho 2015 do Canada.

Exemplo 263.1 Tanque Grande. Estimar Qmax e vazão a 7 km sendo V=80000m3 e altura h=3,00m,Talvegue com declividade de 1%. Área da superfície do lago= 10ha.

Primeiramente passamos volume para acre-feeet. Nota: 1 acre-feet= 1233 m3.

80.0000m3/1233= 65 ac-ft (acre feet)

Temos então 65 ac-ft

Gráfico da Figura 2 de declividade de 1% para x=7000m para Volume de 65 accr-ft achamos: achamos Qmax/Q=0,28.

Como a área da superfície tem 10ha e a altura do reservatório tem 3m, olhando a Tabela (283.1) na parte superior, achamos Q= 81 m3/s para materiais resistentes.

Q= Qmax x 0,28=81x0,28=22,7 m3/s

Tabela 263.1- Valores de Qmax em função da altura do reservatório e da área da superfície do reservatório em hectares quando o reservatório é feito com material resistente a erosão na parte superior e material sem coesão na parte inferior.;

Dam Breach Discharge Estimates
for Earthfill Dams Constructed of Erosion Resistant Materials

Dam Breach Peak Discharge (m3/s)

Dam Height (meters)	Reservoir Surface Area (hectares)								
	1	2	3	4	5	10	15	20	40
1.2	4.5	7.8	11						
2	8.8	15	21	26	31		Breach Width > 5xDam Height		
3	15	25	34	41	49	81			
4	22	35	46	57	67	110	148	183	
5		45	59	72	84	138	185	228	
6		56	72	88	102	165	221	272	452
7			85	103	119	192	256	315	521
8			98	118	136	218	290	356	587
9				132	153	244	323	396	651
11					184	292	385	471	771
13	Partial Breach					336	443	541	881
15						376	496	605	983

Dam Breach Discharge Estimates
for Earthfill Dams Constructed of Cohesionless Materials

Dam Breach Peak Discharge (m3/s)

Dam Height (meters)	Reservoir Surface Area (hectares)								
	1	2	3	4	5	10	15	20	40
1.2	6.9	12*							
2	14	23	31	39			Breach Width > 5xDam Height		
3	23	38	50	61	72				
4		52	69	84	98	160			
5		67	88	106	123	200	267	329	
6			106	128	149	239	318	391	
7				149	173	277	367	450	
8				170	196	313	414	507	832
9					219	347	459	561	918
11						411	542	661	1077
13	Partial Breach					467	616	752	1221
15							682	832	1351

* This discharge value results from a breach width of 5.2 times the dam height

Figure 4: Hydrograph Attenuation Curves – 0.1% Average Channel Slopes

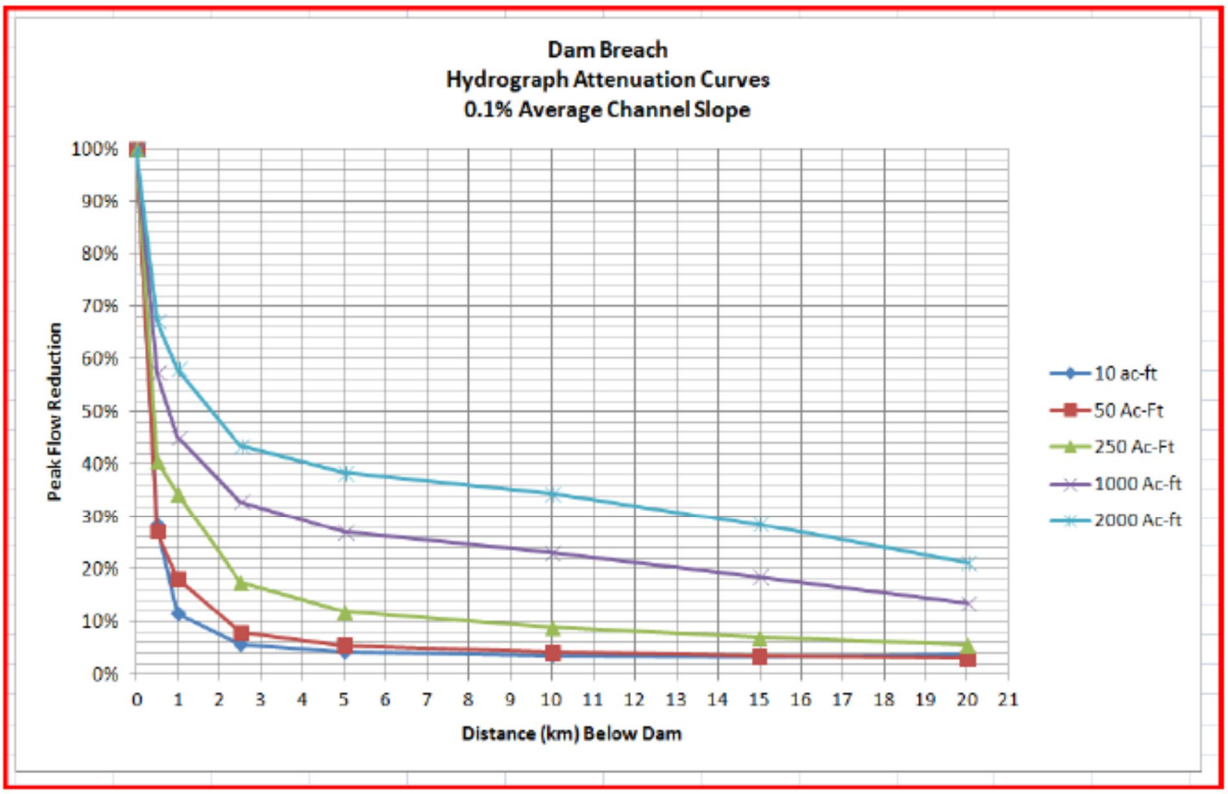


Figure 3: Hydrograph Attenuation Curves – 0.5% Average Channel Slopes

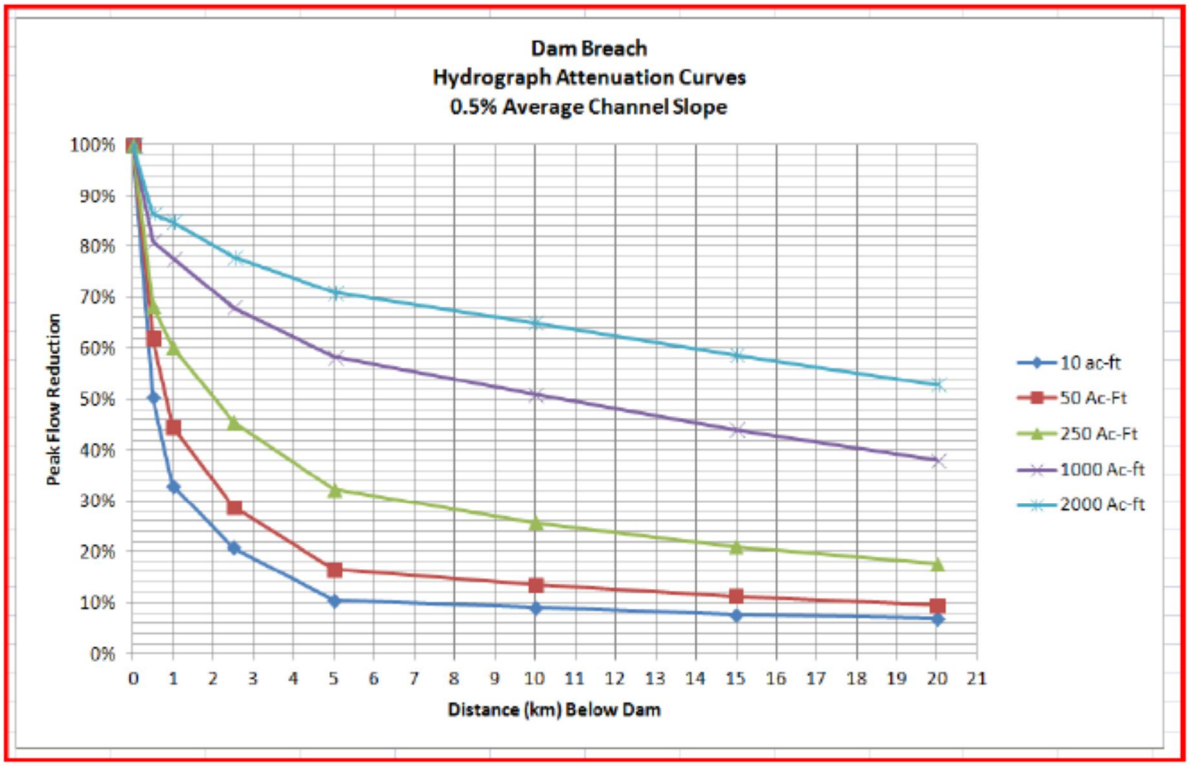


Figure 2: Hydrograph Attenuation Curves – 1% Average Channel Slopes

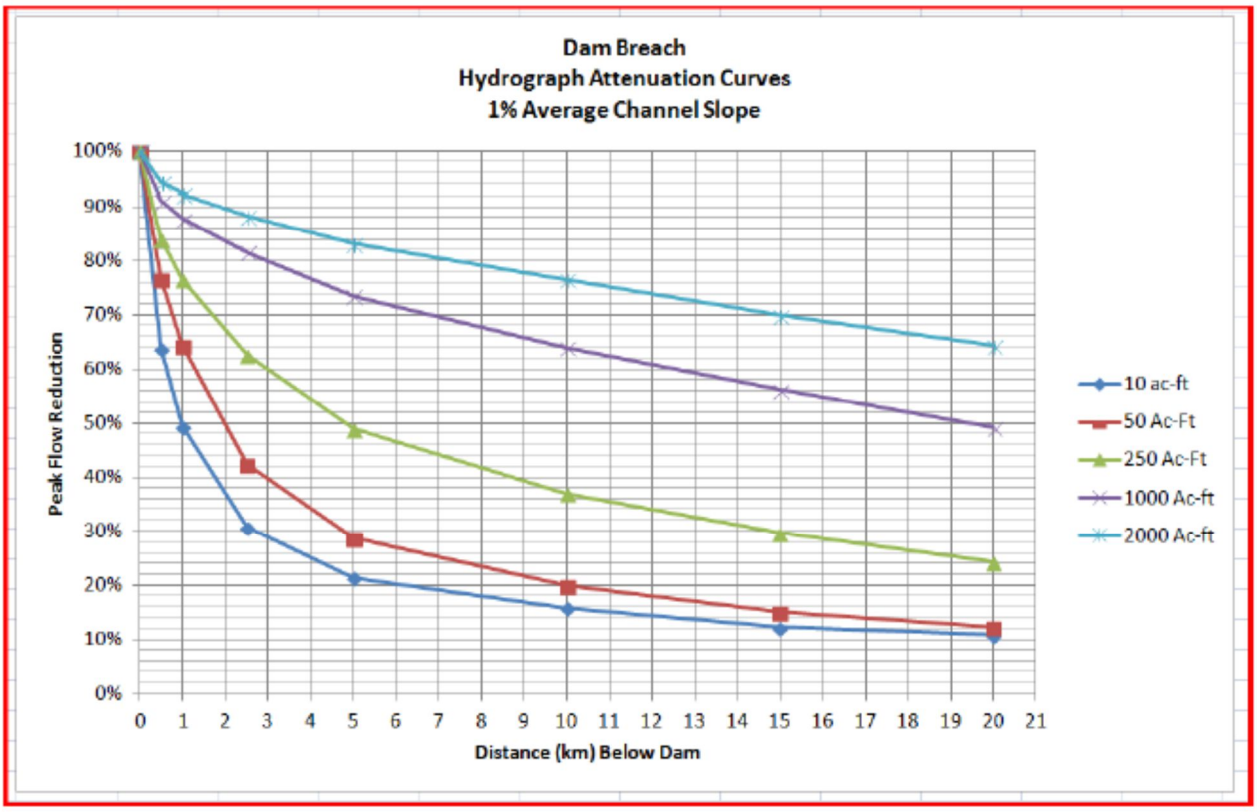
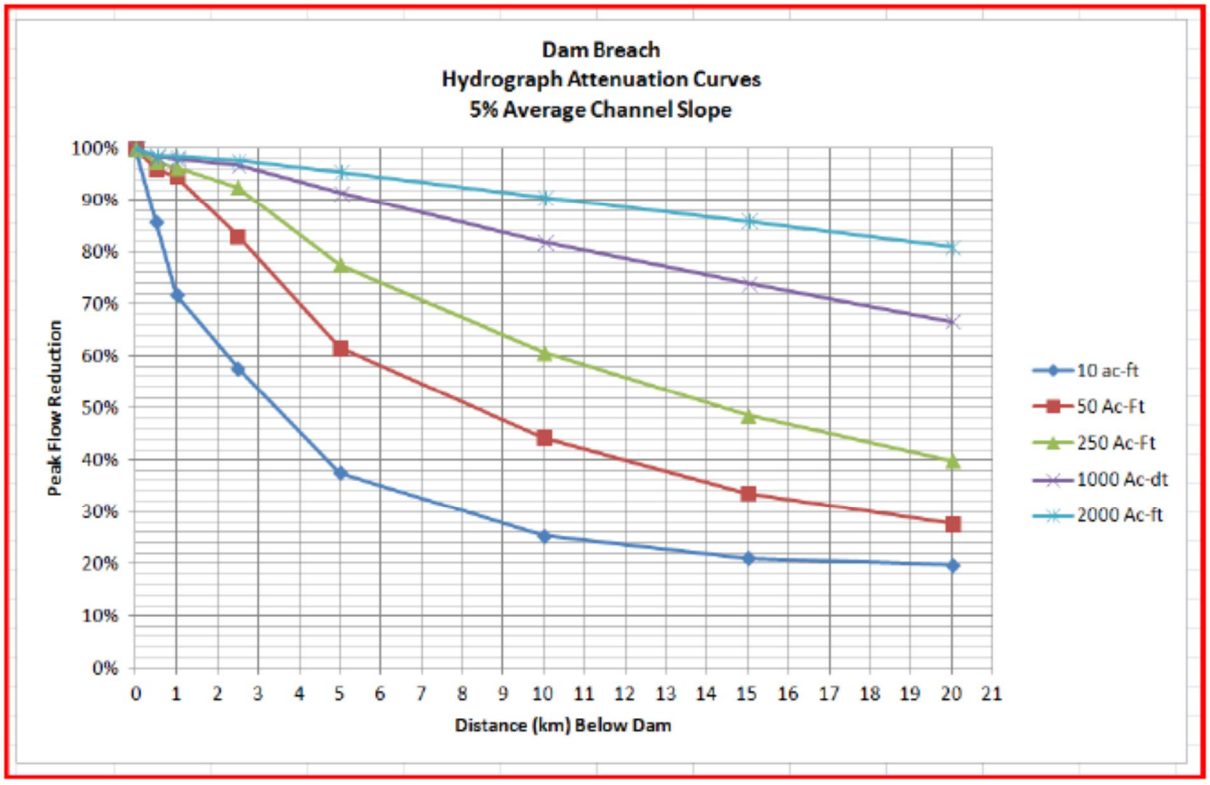


Figure 1: Hydrograph Attenuation Curves – 5% Average Channel Slopes



263.8 Bibliografia e livros consultados

-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. ***Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica*** **XXX SIC. 2018.**

-BATTEJES. J.A. et al. ***Unsteady flow in open channels*****. Amazon/Kindle, 2017**

CANADA. ***Estimating dam break downstream inundatiion.- Dam safety programa. Ministry of forests, laqnds and natural resources*****. Junho de 2015**

-CHANSON. HUBERT. ***The hydraulics of open channel flow na introduction*****. 2ª ed. 586 página, ano 2010**

-FROELICH, DAVID.***Embankment dam breach parfameters*** **revisted. ASCE, agosto1995**

-GRAHAM, W.J. ***Procedures for estimating loss of life in*** **dam. Setembro , 1999**

-HEC-RAS. ***Using Hec-Ras for dam break studies*****. Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.**

-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010***. Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.***

-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simposio Brasiuleiro de recursos hidrficos.

-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*****.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.

-WEST, MARTIN et al. ***Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.*** **Portugal.**

Capítulo 264-Abertura rápida de comporta em canal

Capítulo 264-Abertura rápida de comporta em canal

264.1 Introdução

Vamos apresentar um modelo de Chanson para abertura repentina de uma comporta em um canal com acréscimo de ΔQ. São para pequenos acréscimos e não é uma ruptura de barramento.

O que vamos ver é que temos um canal com determinada vazão e temos o controle a montante de uma comporta. Quando a comporta é aberta de um ΔQ, podemos prever a vazão a jusante a uma determinada distancia da comporta.

Estes estudos estão baseados em Chanson,2010 nas páginas 342 e 368.

264.2 Modelo de Chamson. 2010

Vamos mostrar com um exemplo para facilitar o entendimento.

Exemplo 264.1

Seja um canal retangular de concreto armado com 8,00m de largura e altura de 1,80, com vazão de 18 m3/s, Uma comporta a montante é aberta rapidamente passando de 18m3/s para 18.8 m3/s. Queremos saber qual será a vazão no canal a 5000m a jusante e depois de 1h em que o canal é aberto. Velocidade V=1,25 m/s e So=Sf= 0,00028m/m. O problema pede também a vazão a 15000m;

Houve, portanto, um acréscimo de vazão de ΔQ=0,8 m3/s.

Vamos calcular pelo modelo de Chanson, 2010 de difusão. Primeiramente vamos calcular a celeridade de difusão e o coeficiente de difusão.

Cálculo da velocidade de difusão U

$$U= (3/2) .V. [1 - (2/3) (A/(B.Pw))]$$

Sendo:

U= velocidade de difusão (m/s)
V=velocidade mpedia do canal (m/s)
A= área molhada (m2)
Pw= perímetro molhado (m)
B= largura do canal (m)
Q= A.V
A=8x1,8 =14,4m2
V= Q/A= 18/(1,8 x 8)= 1,25m
Pw= 8 + 2x1,8= 11,2m
U= (3/2) .V. [1 - (2/3) (A/(B.Pw))]
U= (3/2)x1,25 [1 - (2/3) (14,4/(8x11,2))] =1,68 m/s
Calculo do coeficiente de difusão Di

$$Di= [(8g/f) A^2.(Dh/4)] /(2B.Q)$$

Sendo:

Di= coeficiente de difusão (m^2/s)
g=9,81 m/;s^2- aceleração da gravidade
f=coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach ou da fórmula universal=0,017
A= área da seção transversal (m2)=14,4 m2
DH= 4.Rh=4 x 1,285=5,14m
Rh= A/Pw =14,4/11,2= 1,285m
Q= vazão existente no rio (m3/s) = 18 m3/s

$$Di= [(8g/f) A^2.(Dh/4)] /(2B.Q)$$

$$Di= [(8x9,81/0,017) 14,4^2.(5,14/4)] /(2x8x18) =4,02 \times 10^3 \ m2/s$$

Tendo a velocidade de difusão e o coeficiente de difusão, vamos usar a equação de difusão:

$$Q(x,t) = Qo + \Delta Q/2 \{ 1 - erf[(x - U.t)/(4.Di. t)^0,5] - exp([U.x)/(Di . t)].[1 - erf[(x + U.t)/(4.Di. t)^0,5]\}$$

Sendo:

Q(x,t)- vazão no tempo "t" a distancia "x" em m3/s
Qo= vazão do canal= 1u8 m3/s
ΔQ= 0,8 m3/s
X= 5000m
U= velocidade de difusão=1,68m/s
T= 1h= 3600 s

Di=4,02 x 10^3 m2/s = coeficiente de didusao
Erf Observar na fórmula acima o erro de Gauss representado por erf
Existe uma tabela no livro do Chanson que fdrnece o valor de erf. Mas podemos achar no execll pois, existe uma função FUNERRO(...) fornece o valor.
Observar que no segundo erf temos uma soma e no primeiro temos uma subtração.

Q(x,t) = Qo + ΔQ/2 { 1 –erf[(x – U.t)/(4.Di. t)^0,5] –exp([U.x)/(Di . t)].[1 –erf[(x + U.t)/(4.Di. t)^0,5]}
Q(x,t) =18 +0,8/2 { 1 –erf[(5000 –1,68x3600)/(4x4020x3600)^0,5] –exp([1,68x5000)/(4020x3600)].[1 –erf[5000 + 1,68x3600)/(4x4020x3600)^0,5]} = 18,46m
Portanto, com o acréscimo de 0,8m3/s a vazão a 5000m depois de 1h (3600s) passará para 18,46m3/s
A 15000m depois de 1hora, a vazão será 18,02 m3/s.
Nota: voltamos a esclarecer que este método só vale para pequeno acréscimo. Não vale para queda de uma barragem. Cuidado não errar.

Tabela 264.1- Cálculos em excel do levantamento rápido de 0,8m3/s

Dados:	
Vazão (m3/s)=	18,0
Canal retangular	
Largura (m)=B=	8
Altura (m)	1,8
So=Sf= (m/m)	0,00028
V (m/s)=	1,25
f=0,017	0,0175
área A (m2)	14,4
Pw (m)	11,60
Raio hidráulico= Área/P	1,24138
DH=4Rh	4,97
Coeficiente de difusão	3996,92
Celeridade da difusão =U (m/s)	1,68
Delta Q (m3/s)	0,8
Distância (m)	5000
Tempo (s)	3600

erf1=	**-0,137781284**
erf=	**-0,154491314**
Q (x,t) m3/s	**18,46**
erf2=	**1,455904365**
	0,960501901

264.3 Dacy-Weisbach

Vamos recordar o cálculo em canal usado por Chanson , 2010 usando !f" da formula de Darcy-Weisbach ou da formula Universal.

Fórmula Universal ou de Darcy-Weisbach

A fórmula é a seguinte:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2.g} \qquad (4)$$

Sendo:
hf= perda de carga localizada (m)
L= comprimento em metros;
D= diâmetros em metros. Para tubos D=diâmetro da tubulação e para canais com diversas formas D=4R sendo R= raio hidráulico
V= velocidade em metro/segundo;
g= aceleração da gravidade 9,81 m/s^2;
f= coeficiente de atrito(adimensional)
S= declividade do canal (m/m)

Tabela 264.2 Valores de k (mm) da formula de Colebrook-White para canais (guerinne em alemão)

Absolute Rauheit *k* für Rohre und Gerinne (incl. Fließgewässer):

Werkstoff	Art, Form, Zustand	*k* in mm	
Kupfer, Messing	technisch glatte Rohre	0,00135	bis 0,00152
Stahl	aus Blech geschweißte Rohre, neu	0,04	bis 0,10
	aus Blech genietete Rohre, neu	1	bis 9
	Rohre, mäßig verrostet	0,15	bis 0,4
	Rohre, mittelstarke bis starke Verkrustung	1,5	bis 4
	Rohre, bituminiert, gebraucht	0,1	bis 1,5
	Rohre mit Zementmörtelauskleidung	0,03	
	Druckleitung bei Wasserkraftanlagen, gemessen	0,011	bis 0,021
	Stahlspundwand je nach Profiltiefe	20	bis 100
Gusseisen	Rohre, neu	0,2	bis 0,6
	Rohre, gebraucht	1,0	bis 1,5
	Rohre, verkrustet	1,5	bis 4
	Kanalisation (Mittelwert)	1,2	
Kunststoff	Rohre und Gerinne aus Plexiglas, neu	0,0015	
	Polyäthylen, weich und hart, neu; PVC, neu	0,0015	bis 0,01
	gewellte Dränrohre (Richtwert nach DIN 1185)	2,0	
Faser-Zement	Rohre, Gerinne, neu	0,025	bis 0,1
Ton	Dränrohre (Richtwert nach DIN 1185)	0,7	
Steinzeug	Abwasserkanäle	0,25	bis 1,5
Holz	gehobelte Bretterwand	0,3	
	hölzerner Kanal	2,3	
Asphalt	Kanäle mit Asphaltbeton oder Gussasphalt	1,5	bis 2,2

Beton	glatt	1	bis 6
	rau	6	bis 20
	Rohre aus Stahlbeton	0,1	bis 0,15
	Rohrleitung mit Stößen (Mittelwert)	2	
	Schleuderbetonrohre	0,1	bis 0,8
	Spannbetonrohre	0,04	bis 0,25
	Druckstollen	0,5	bis 1,5
	Stahlschalung	1,0	
Stein	Mauerwerk, Ziegel	2	bis 8
	Mauerwerk, Bruchstein	15	bis 40*)
	Felswände oder Stollen, gute Bearbeitung	7,5	bis 75*)
	Fels, torkretiert; Stollen, gebohrt	7	bis 30*)
	raue Natursteinmauer	80	bis 100*)
	Steinschüttung	200	bis 300*)
	Pflasterung	30	bis 50
	Rasengittersteine	15	bis 30
Erde	Sand oder Kies, eben	d_{90} (Korn)	
	Schotter, Grobkies	60	bis 200
	Ackerboden	20	bis 250*)
	Acker mit Kulturen	250	bis 800*)
	Waldboden	160	bis 320*)
	Rasen	60	bis 400*)
	Fließgewässersohle mit Riffeln	Riffelhöhe	
	Fließgewässersohle mit Dünen (*h* = Fließtiefe)	*h*/6 bis *h*/3	
	Fließgewässersohle mit mittl. Unregelmäßigk.	150*)	bis 350*)
	Fließgewässersohle mit erhebl. Unregelmäßigk.	350*)	bis 500*)

A fórmula de Colebrook-White conforme Quintela,1961 pode ser explicitada na velocidade V ficao assim:

$$V= -2 .(2.g.D.S)^{0,5} \log_{10} [K/(D. 3,7) + 2,51 \times \nu / D (2.g.D.S)^{0,5}]$$

Sendo:

V= velocidade média (m/s)

K= rugosidade absoluta (m)

D= diâmetro hidráulico (m)

D= 4 R para qualquer seção inclusive CANAIS conforme Quintela, 1961

Nota: para tubos D=diâmetro do tubo. Cuidado!

g= 9,81 m/s^2 aceleração da gravidade

S= declividade do canal (m/m).

Nota: no caso de tubos S=J que é J= hf/L perda de carga unitária (m/m).

ν= viscosidade cinemática da água= 0,000001 m^2/s

Número de Reynolds Re

R= raio hidráulico (m)
K= rugosidade absoluta do canal (m)

$$\mathbf{Re = V .D/ \nu}$$

ν = viscosidade cinemática (m^2/s)= 0,0000001 m^2/s

Para achar a vazão usamos a equação da continuidade Q= V. A

$$Q -2 A. (2.g.D.S)^{0,5} \log_{10} [K/(D. 3,7) + 2,51 . \nu / D (2.g.D.S)^{0,5}]$$

Método Alemão de Wurtemberg

Para canais os alemães usam conforme Baden-Wurtemburg, 2004 a seguinte equação explicita para f em função de um fator de forma F que depende se a seção é trapezoidal ou retangular.

$$f= 8/[2,5 \times \ln(R/K)+ 2,5 \times \ln(14,83 \times F)] \ ^2$$

Sendo:
F= fator de correção de Bock
Nota: conforme Martens, 1996 F=0,83 para seção trapezoidal e para outras seções como retangular F= 0,74.
Existem equações para determinar um valor mais exato de F, mas preferimos adotar valores práticos aproximados.

METODO DIRETO DE ACHAR Q	
Canais com Colebrook white bom	
Base do canal (m)=	8
Talude z	0
Área molhada (m2)	14,4
Altura agua y (m)=	1,8
Perímetro molhado (m)	**11,60**
Raio Hidráulico (m)	**1,24**
Diâmetro hidráulico (m) D=4R	4,97
Viscosidade cinemática (m2/s)=	0,000001

Declividade (m/m)	0,00028
Rugosidade Ks (m) concreto	0,003
Vazã0 (m3/s)=	17,98
V(m/s)	1,25
Re=	2247606
f=	**0,0176**

264.4 Bibliografia e livros consultados

-BATTEJES. J.A. et al. ***Unsteady flow in open channels.*** **Amazon/Kindle, 2017**

-CHANSON. HUBERT. ***The hydraulics of open channel flow na introduction*****. 2ª ed. 586 página, ano 2010**

-FROELICH, DAVID.***Embankment dam breach parfameters*** **revisted. ASCE, agosto1995**

-GRAHAM, W.J. ***Procedures for estimating loss of life in*** **dam. Setembro , 1999**

-HEC-RAS. ***Using Hec-Ras for dam break studies.*** **Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.**

-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010. ***Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.***

-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simposio Brasiuleiro de recursos hidrficos.

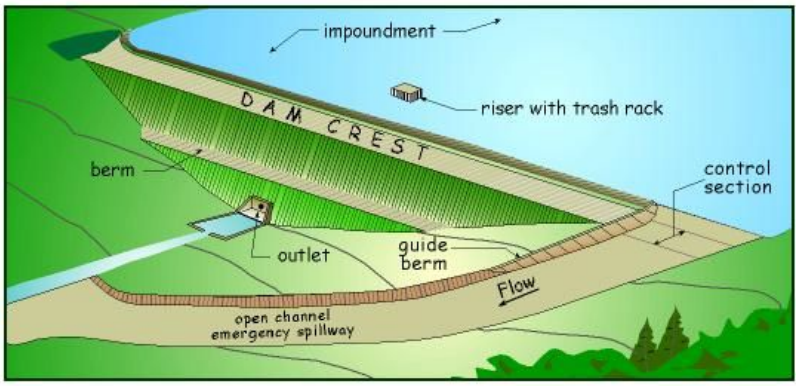
-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*****.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.

-WEST, MARTIN et al. ***Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.*** **Portugal.**

-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. ***Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica*** **XXX SIC. 2018**

Capítulo 265
Falhas em pequenas barragens

"O acesso à água e ao saneamento reduz, em média, 55% da mortalidade infantil"
TUCCI, (2001)



1 acrefeet= 1233 m3

Capítulo 265 - Falhas em pequenas barragens

265.1 Introdução

Existem dezenas maneiras de se calcular a vazão máxima devida a ruptu4ra de uma barragem.

O próprio Froehlich fez uma em 1995 e outra em 2008. Como todas são semelhantes, vou adotar somente a de Froelich, 1995 a favor da segurança. Na prática adotaq-se no mínimo três fórmulas e verifica-se a sensibilidade das mesmas.

A **barragem** é uma barreira artificial com o objetivo de armazenamento, desvio de água, controle de cheias, geração de energia, navegação, lazer, etc. A barragem de *Sadl el-Kafara,* localizada no Egito com 18,6m de altura e construída de terra e pedra é a mais antiga do mundo datando de 2850 aC. Depois dela temos em 700aC as barragens construídas pelo rei assírio Senaqueribe.

Conforme Portaria 717/1996 do DAEE, **Barramento** é todo maciço cujo eixo principal esteja num plano que intercepta um curso d´água e respectivos terrenos marginais, alterando suas condições de escoamento natural, formando reservatório de água a montante, o qual tem finalidade única ou múltipla.

Os barramentos mais comuns são em terra, concreto e gabião.

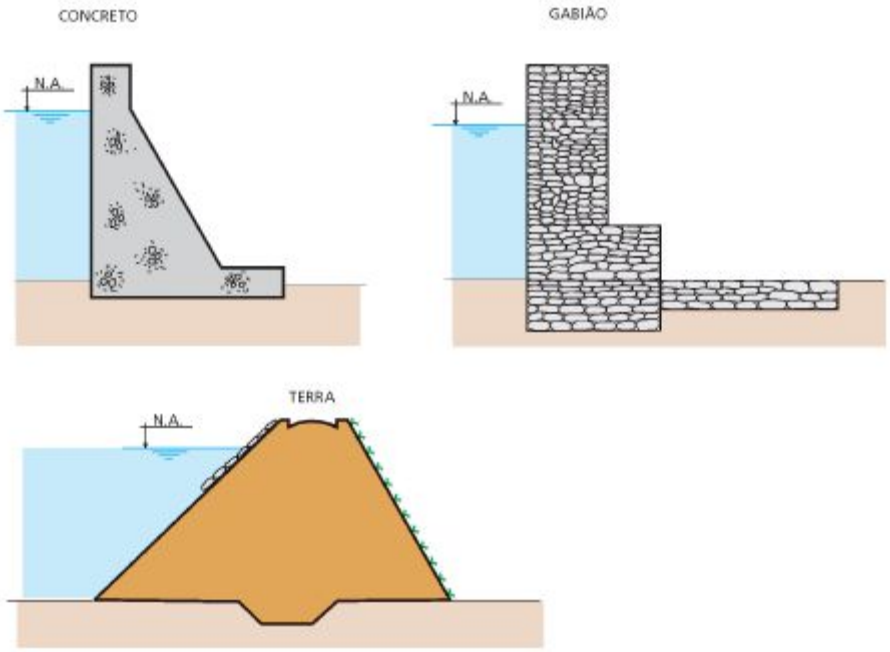


Figura 265.1- Tipos de barramentos: concreto, gabião e terra
Fonte: DAEE, 2005.

Risco

Risco é a possibilidade de ocorrências indesejáveis e causadoras de danos para a saúde, para os sistemas econômicos e para o meio ambiente. Os riscos em obras tecnológicas são chamadas de ***falhas***.

Perigo

Perigo é ameaça em si não mensurável e não totalmente evidente.

Falha

A *falha* em uma barragem é o escoamento espontâneo da água resultando de uma operação imprópria ou da ruptura ou colapso de uma estrutura. A falha em uma barragem causa a jusante inundações rápidas, danos as vidas e propriedades, forçando as pessoas a evacuarem dos locais onde moram.

As zonas de inundações são estimadas de duas maneiras básicas: a primeira é quando há uma brecha na barragem num dia de sol ou uma operação irregular causando uma inundação a jusante e a segunda é num dia de chuva muito forte onde há o colapso da estrutura da barragem.

Os efeitos secundários das inundações provocadas por falhas nas barragens são os danos no abastecimento de água, na entrega de suprimentos, nos danos nos edifícios, enfim são mecanismos que atrapalham toda a vida na cidade.

As causas principais das falhas estão na Tabela (265.1). Nas Figuras (265.2) e (265.3) está a brecha numa barragem de terra onde se nota aproximadamente a forma trapezoidal.

Na Tabela (265.1) estão as porcentagens de falhas nas barragens, mostrando que a maioria é *overtopping*, isto é, quando a água ultrapassa o topo da barragem.

As falhas de ***overtopping*** atingem de 0,15m sobre a barragem até 0,61m, conforme *BUREAU DE RECLAMATION,* 1998. No que se refere a perda de vidas (fatalidades) é 19 vezes maior quando não há aviso à população a jusante da barragem e sujeita a risco.

Os vazamentos no maciço das barragens devido a vários motivos são 33% das falhas, isto é, a segunda causa de falha nas barragens.

Tabela 265.1 - Porcentagem das falhas nas barragens

Localização das falhas nas barragens	**Porcentagem da falhas nas barragens**
Overtopping	38%
Vazamento no maciço e nas tubulações (piping(	33%
Defeitos nas fundações	23%
Outros	6%
Total	100%

Fonte: ESTADO DE MARYLAND, (2001)

As maiores falhas em barragens são overtoppipng (Figura 265.1) e piping (Figura 265.2).

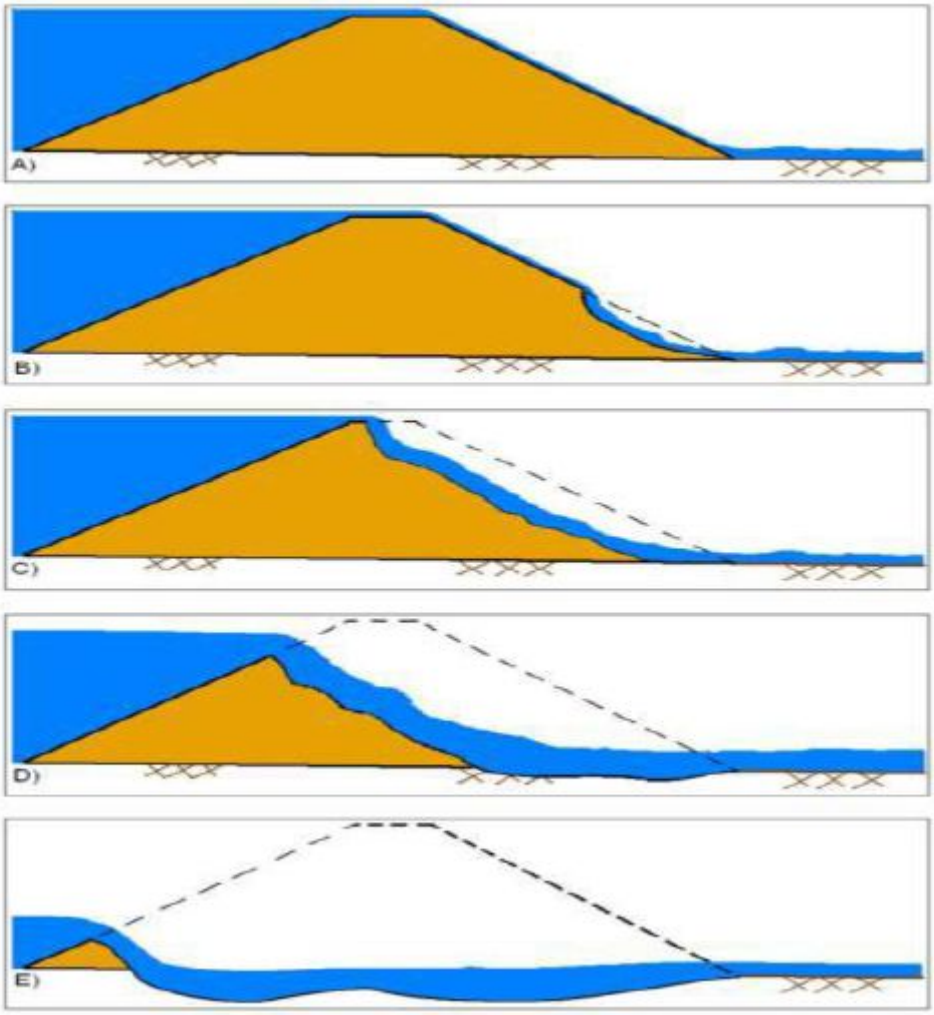


Figura 265.2 – Barramento com overtopping. Fonte:HECRAS,2014

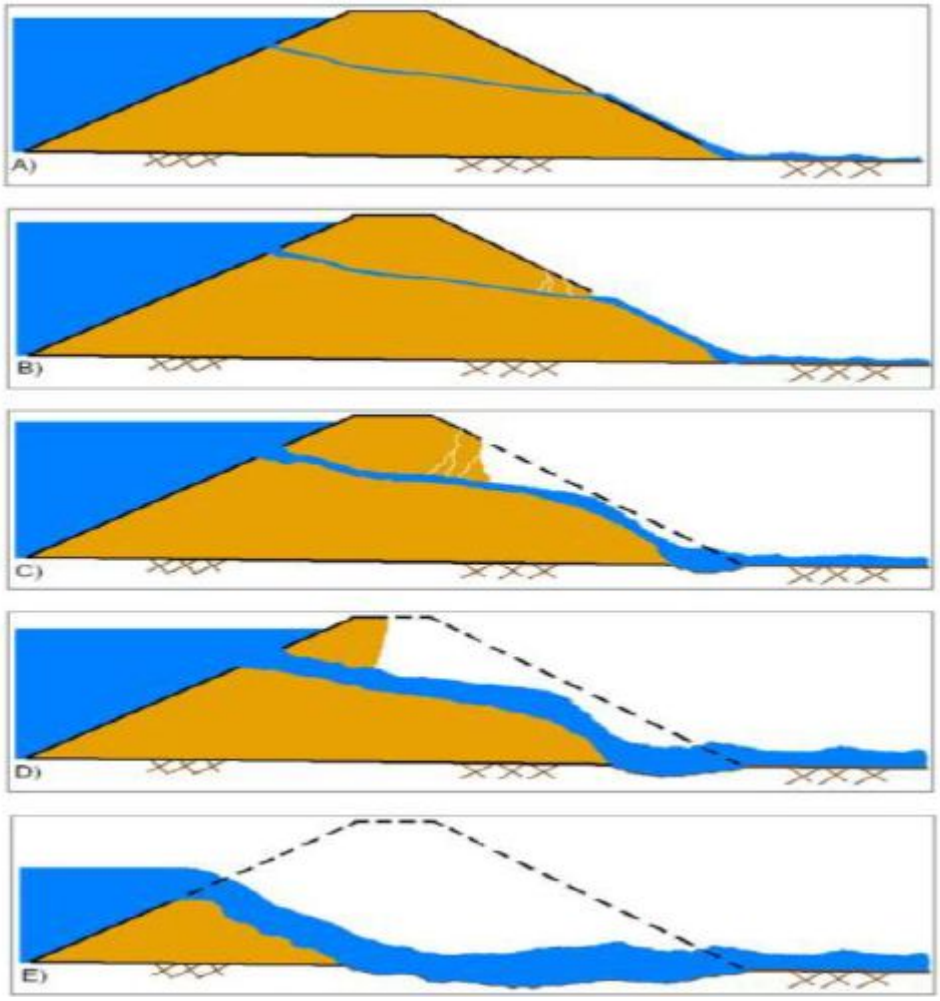


Figura 265.3– Barramento com pçiping. Fonte: HECRAS,2014

Conforme ww.ib.usp.br, 2009 o Comitê Brasileiro das Grandes Barragens (CBGB) vinculado ao *The International Comissiono on Large Dam* considera uma grande barragem quando:

1. Tem mais de 15m de altura entre o ponto mais baixo da fundação até a crista.
2. Com altura entre 10m e 15m, mas que possua uma ou mais das seguintes características:

a) mínimo de 500m de comprimento de crista
b) mínimo de 100.000 m^3 de água acumulada
c) acima de 2000m^3/s de vazão
d) barragem com projeto não convencional

Conforme Straskaraba e Tundisi, 1999 a categoria do tamanho dos reservatórios é dado pela Tabela (265.2).

Tabela 265.2- Categoria do tamanho de reservatórios segundo Straskraba e Tundisi

Categoria	Volume (m^3)	Área (km^2)
Reservatório pequeno	**10^6 a 10^8**	**1 a 100**
Reservatório médio	**10^8 a 10^{10}**	**100 a 10.000**
Reservatório grande	**10^{10} a 10^{11}**	**10.000 a 1.000.000**

A Figura (265.3) mostra esquema do barramento com seçoes no rio a jusante.

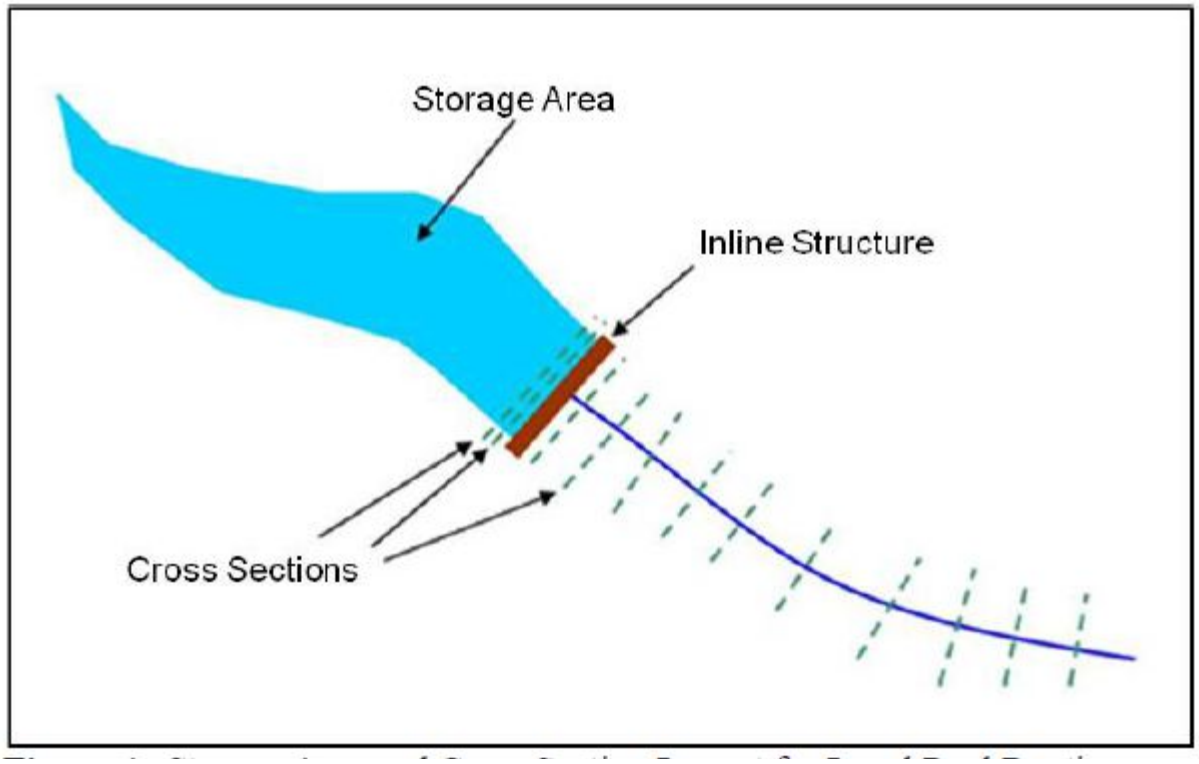


Figura 265.4 – Barramento com seções a jusante. Fonte: HECRAS,2014

).

O DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo adota período de retorno de 100anos para barramentos com alturas iguais ou menores que 5m e comprimento da crista iguais ou menores que 200m e borda livre f ≥ 0,50m.

Observar nas Figuras (265.5) e (265.6) falha em forma trapezoidal.

Figura 265.5 - Falha na barragem de *Loveton* em 1989. Observar o tamanho do homem.
Fonte: ESTADO DE MARYLAND, (2001)

Figura 265.6 - Falha na barragem de *Loveton* em 1989. Observar a forma trapezoidal
Fonte: ESTADO DE MARYLAND, (2001)

Para detenção de volumes de água para enchentes em áreas urbanas, geralmente os volumes armazenados são pequenos, bem como as alturas das barragens, levando-se em conta as barragens para produção de energia elétrica, abastecimento de água, irrigação e outras.

Não devemos esquecer que as previsões de brechas nas barragens, vazões, etc., apresentam grandes incertezas e ***são consideradas uma aproximação***.

O período de retorno para estas pequenas barragens deve ser **Tr= 100anos** para o dimensionamento do vertedor.

A Figura (265.7) mostra o esquema trapezoidal de uma falha em uma barragem observando-se que varia a altura, largura e a inclinação.

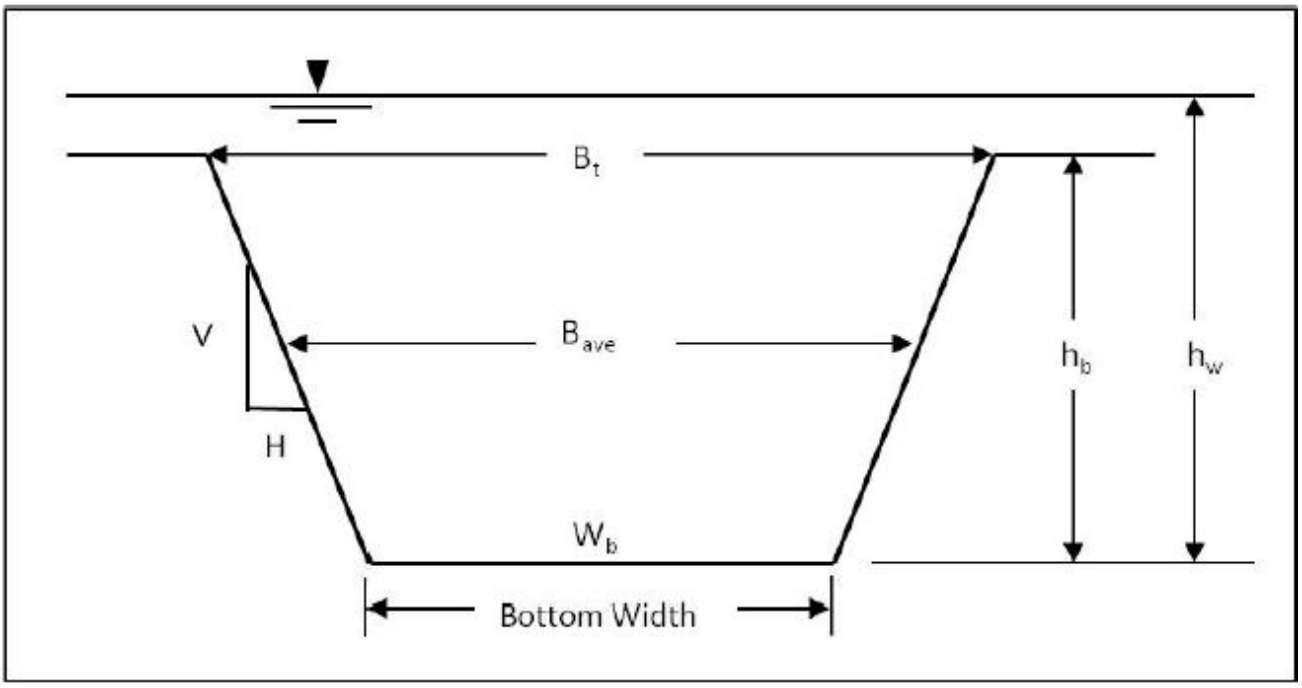


Figura 265.7 - Perfil típico de uma brecha em maciço de terra. Fonte:HECRAS,2014

As variáveis usadas em pequenas barragens são:
h= altura máxima da barragem (m)
W= comprimento da barragem (m)
b= largura da base do trapézio da brecha (m)

B= largura média da brecha (m)
V= volume de água armazenado na barragem (m^3)
W_b= largura do topo da brecha (m)
D= profundidade máxima da brecha (m)
Z= talude da brecha Z (H) : 1 (V)
A= área da superfície do reservatório formado pela barragem (m^2)
L= comprimento do reservatório desde a barragem até a montante (m)
Q_p= vazão de pico da brecha (m^3/s)
t_f= tempo de formação da brecha (min)

A Figura (265.8) mostra a forma trapezoidal de uma brecha em uma barragem de terra.

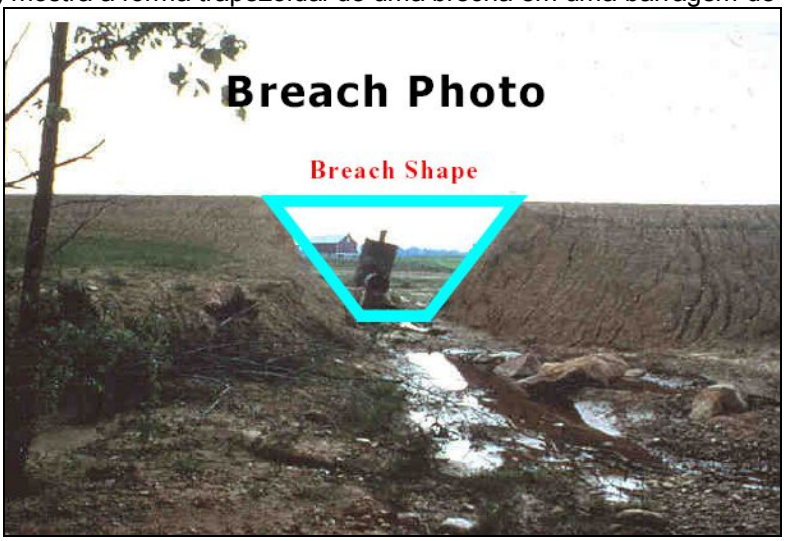


Figura 265.8- Brecha na barragem de terra comprovando a forma trapezoidal da mesma.

265.2 Tempo de formação da brecha de barragem de terra

O tempo para abertura de uma brecha em uma barragem varia aproximadamente de 15min a 60min.

O tempo de formação da brecha é definido como o tempo que começa com a primeira brecha na barragem na face de montante até atingir a face de jusante. Para falhas devida ao *overtopping* o início se dá quando a brecha é formada a jusante após a erosão do topo da barragem e alcança a barragem a montante.

Froehlich, 1995 *in* BUREAU DE RECLAMATION, (1998) é citada a Equação do tempo de formação da brecha:

$$\mathbf{t_f = 0{,}1524 \times V^{0{,}53} / h^{0{,}90}}$$

Sendo:
V= volume armazenado de água na barragem (m^3);
h= altura da barragem (m) e
$\mathbf{t_f}$ = tempo de formação da brecha (min).

Exemplo 265.1

Calcular o tempo de formação da brecha de uma barragem com 90.000m^3 de volume e altura máxima de 3,00m.

$$\mathbf{t_f} = 0{,}1524 \times V^{0{,}53} / h^{0{,}90}$$
$$\mathbf{t_f} = 0{,}1524 \times 90000^{0{,}53} / 3^{0{,}90} = 24\text{min}$$

265.3 Largura média da brecha em barragem de terra

Pesquisas feitas por FROEHLICH, (1995) in *Bureau of Reclamation*, 1998 fornecem a largura média da brecha (B), que tem forma trapezoidal.

$$\mathbf{B = 0{,}1803 \times K_o \times V^{0{,}32} \times h^{0{,}19}}$$

Sendo:
B= largura média da brecha na barragem (m);
V= volume total armazenado de água na barragem (m^3);
h= altura máxima da barragem (m);
K_o=coeficiente adimensional.

K_o= 1,4 para *overtooping* e
K_o= 1,0 para outros casos.

Exemplo 265.2-Barragem do Tanque Grande em Guarulhos

Calcular a largura média da brecha em uma barragem com volume de 90.000m^3 e altura máxima de 3,00m.

No caso K_o= 1,0

$$B= 0,1803 \times K_o \times V^{0,32} \times h^{0,19}$$

$$B= 0,1803 \times 1,00 \times 90000^{0,32} \times 3,0^{0,19}= 8,6m$$

A Figura (265.6) mostra o *overtopping* e a evolução da brecha trapezoidal em uma barragem.

265.4 Tamanho e classificação dos perigos de uma barragem

A lei brasileira 12.334 de 20 de setembro de 2010 estabelece a política nacional sobre segurança de barragens. Para isto estão enquadradas barragens que tenham altura igual ou maior que 15m ou capacidade igual ou maior que 3.000.000m^3 (três milhões de metros cúbicos) ou contenha resíduos perigosos ou esteja na categoria de dano potencial médio ou alto em termos econômicos, sociais, ambientais e perdas de vidas humanas.

Portanto, há necessidade de estudos especiais quando a barragem:

- **Tiver altura maior ou igual a 15m**
- **Maior ou igual 3 milhões de m^3**
- **Contenha resíduos perigosos**
- **Risco médio e alto**

Na lei 12.334/2010 a população deve ser informada e estimulada a participar nas ações preventivas e emergências.

O critério de risco será estabelecido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

As barragens que existem terão dois anos a partir da publicação da lei 12.334/2010 para se enquadrarem na lei,

Desde 1982 o *US Corpy of Engineers* utiliza o critério abaixo que foi adaptado e usado na maioria dos estados americanos:

Tabela 265.3 - Tamanhos e classificação dos perigos de uma barragem

Categoria	Volume (m^3)	Altura da barragem (m)
Tamanho da barragem		
Barragem pequena	61.675 m^3 a 1.233.490m^3	7,5m a 12,0m
Barragem média	1.233.490 m^3 a 61. 675.000m^3	12,0m a 30,0m
Barragem grande	>61.675.000m^3	> 30,0m
Classificação de perigos de uma barragem	Perda de vida	Perdas econômicas
Baixa	Não existem habitações permanentes no local.	Praticamente não existem estruturas agrícolas.
Média	Existe pequeno número de habitantes	Existem indústrias e estruturas agrícolas
Alta	Existem muitos habitantes.	Existe comunidade extensiva.

Fonte: MAYS, (2001)

A segurança de uma barragem conforme *US Army Corps of Engineers* deve obedecer aos quatro princípios da Tabela (265.5).

Tabela 265.4- Princípios para projetos de barragens do *US Army Corps of Engineers* de 1991

Ordem	Princípios
1	O projeto da barragem e dos vertedores deve ser de um tamanho tal que assegure que a barragem não vai ser ultrapassada por inundações.
2	O projeto da barragem e de suas estruturas se forem ultrapassadas por enchentes não devem causar danos e nem falhas no funcionamento da mesma.
3	O projeto da barragem e suas estruturas devem ser projetadas de maneira que se houver um enchente que ultrapasse a mesma, as falhas que resultarem deverão produzir vazões lentas de maneira a não causar impactos a jusante e que seja fácil o reparo da barragem.
4	Mantenha a barragem baixa o suficiente e com pouco volume de água para evitar de danos a jusante no caso de uma brecha na barragem e que a correção da brecha não seja de vulto e seja simples.

Conforme Wes, Martin et al, em Portugal se adota a Tabela (265.11) e o período de retorno depende se a mesma será construída em concreto ou terra, depende da altura da barragem e do risco.

Tabela 265.5- Padrão de período de retorno usado em Portugal

Altura da barragem (m)		Periodo de retorno (anos)	
Concreto	Terra	Risco elevado	Risco significativo
≥100	≥50	5.000 a 10.000	1.000 a 5.000
50 ≤ h< 100	15 ≤ h< 50	1.000 a 5.000	1.000
15 ≤ h< 50	< 15	1.000	1.000
<15		1.000	500

Levando-se em consideração a velocidade da água causada pela inundação, as zonas de perigos podem ser: baixa, média e alta tanto para veículos, como para casas e adultos. Isto está nas Figuras (265.8) a (265.10).

Na Figura (265.9) a velocidade das águas de enchentes com velocidade de 2m/s e altura de 0,50m colocará o veículo numa zona de risco médio.

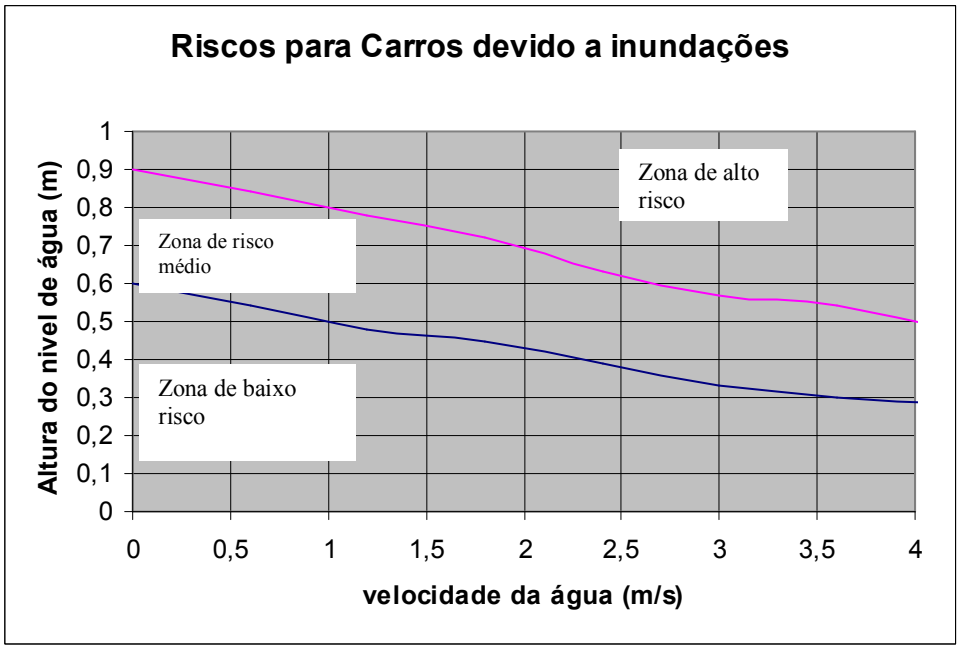


Figura 265.9 - Diversas zonas de perigo: baixo, médio e alto para inundações tendo como objetivo os carros.

Na Figura (265. 8) a velocidade das águas em 4m/s e altura de 1,20m colocará a casa em zona de alto risco.

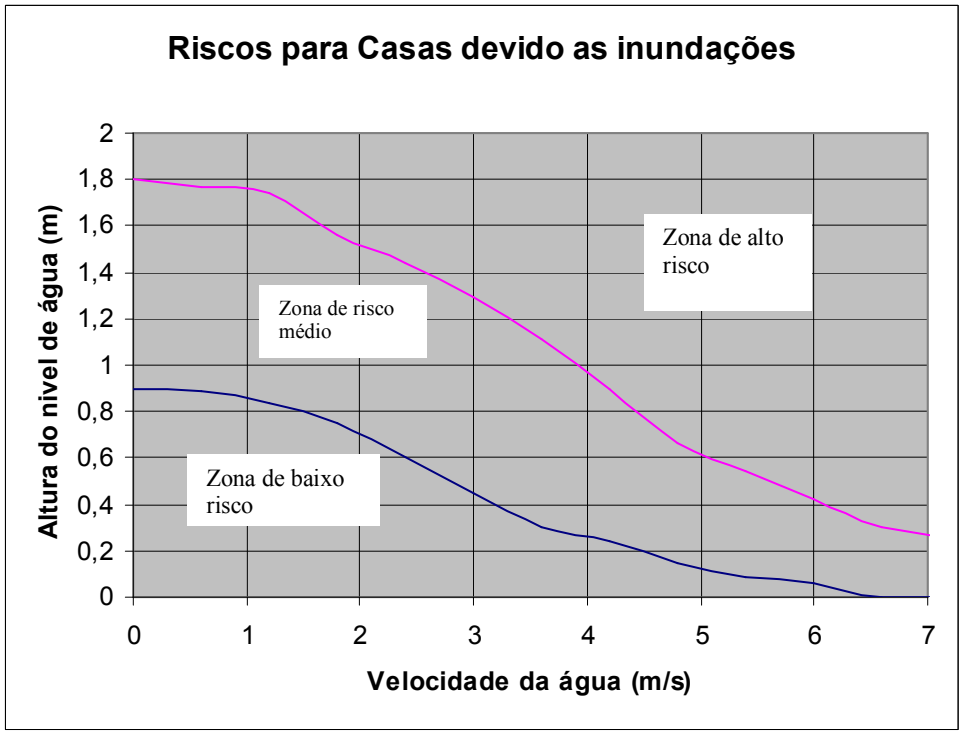


Figura 265.10 - Diversas zonas de perigo: baixo, médio e alto para inundações tendo como objetivo as casas.

Na Figura (265.10), uma velocidade das águas de 2m/s, que é comum, e altura de 0,50m colocará uma pessoa adulta em zona de alto risco, podendo a mesma ser facilmente levada pela correnteza.

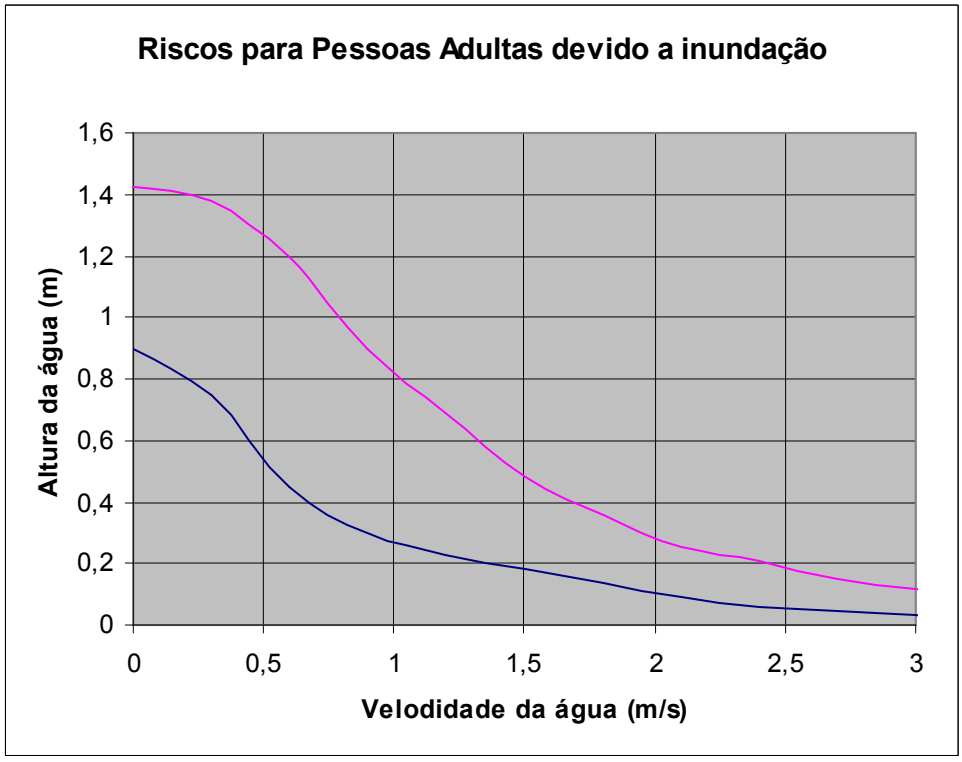


Figura 265.11 - Diversas zonas de perigo: baixo, médio e alto para inundações tendo como objetivo pessoas adultas.

Um critério prático para pequenas barragens com menos de 6m de altura e volume menor que 1milhão de m^3 as enchentes que podem ser admitidas são 0,15m de altura para casas e prédios e 0,45m para estradas.

O *U.S. Army Corps of Engineers* em 31 de outubro de 1997 no trabalho "*Hydrologic Engineering Requirements for reservoir*" faz recomendações para alguns critérios de condições não perigosas e inundações que são:

- A profundidade da inundação tanto na área urbana como rural não deve ser maior que 0,60m.
- A profundidade da inundação não deve causar prejuízos às propriedades urbanas.
- A duração da inundação não deve exceder de 3h nas áreas urbanas e 24h nas áreas rurais.
- A velocidade da água da inundação não deve exceder 1,20m/s.
- O potencial de resíduos e erosão deve ser o mínimo possível.
- A inundação deve ser não frequente sendo aconselhável a frequência ser menor que 1%, ou seja, chuva de período de retorno de 100anos).

CIRIA- ***CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION***

Segundo Nania e Gómez, 2002 in Balmforth et al, 2006 da CIRIA, a profundidade de inundação de uma rua para não interromper o tráfego é de 0,30m ou 0,20m quando o rio ou o canal passar ao lado.

O risco de um pedestre ser levado pela água é dado pelo produto da velocidade em (m/s) pela profundidade em (m) e está limitado a **0,5 m^2/s.**

O risco de um pedestre escorregar com a água é dado pelo produto da profundidade (m) pela velocidade $(m/s)^2$ e não deverá ser maior que **1,23 m^3/s^2**

265.5 ***Probable Maximum Flood*** **(PMF)**

A provável máxima enchente, denominado em inglês de PMF, é aquela enchente que pode ser considerada a mais severa nas combinações metereológicas e hidrológicas que pode ser possível em uma determinada área.

A PMF é a maior enchente que fisicamente pode ocorrer na área de interesse. É um evento extremamente raro e que está de alguma maneira associado à máxima precipitação provável **(PMP-** *Probable Maximum Precipitation*).

Devido a ser rara na natureza, é difícil de entender o significado econômico de se usar a PMF.

Os hidrologistas usam vários métodos para determinar a máxima precipitação provável (PMP) e a máxima enchente anual PMF através de modelos matemáticos. Portanto, há uma grande dificuldade de se avaliar corretamente os eventos denominados de provável enchente máxima PMF.

Há três maneiras de avaliação que é a estimativa da provável precipitação máxima PMP, estimativa da provável máxima enchente PMF e análise da frequência das enchentes.

Vamos mostrar na Tabela (265.8) onde estão os perigos, tamanho das barragens e os critérios para determinar a máxima vazões nos vertedores e canais das barragens.

Tabela 265.6 - Sugestões para o dimensionamento do vertedor de barragens

Perigos da barragem	Tamanho da barragem	Enchentes para projetos dos vertedores das barragens
Baixo	**Pequena**	100anos de frequência
	Média	100anos a ½ da provável máxima enchente (PMF)
	Grande	½ provável máxima enchente (PMF) a PMF
Significante	**Pequena**	100anos a ½ da provável máxima enchente (PMF)
	Média	½ provável máxima enchente (PMF) a PMF
	Grande	Provável máxima enchente (PMF)
Alto	**Pequena**	½ da provável máxima enchente (PMF) a PMF
	Média	Provável máxima enchente (PMF)
	Grande	Provável máxima enchente (PMF)

Adotaremos para dimensionamento do vertedor da barragem pequena em área urbana para áreas menores que 100ha o período de retorno de 100anos.

O *Corps of Engineer*s conforme Mays, 2001, adota a Tabela (265.9).

Tabela 265.7 - Sugestões para o dimensionamento do vertedor de barragens

Perigos da barragem	Tamanho da barragem	Enchentes para projetos dos vertedores das barragens
Baixo	**Pequena**	50anos a 100anos
	Média	100anos a ½ da provável máxima enchente (PMF)
	Grande	½ provável máxima enchente (PMF) a PMF
Significante	**Pequena**	100anos a ½ da provável máxima enchente (PMF)
	Média	½ provável máxima enchente (PMF) a PMF
	Grande	Provável máxima enchente (PMF)
Alto	**Pequena**	½ PMF a PMF
	Média	PMF
	Grande	PMF

Fonte: Corps of Engineers, Mays, 2001.

O DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) conforme Intrução DPO Número 002 de 30/07/2007 adota para as outorgas a Tabela (265.10).

Tabela 265.8- Recomendações para valores mínimos de períodos de retorno do DAEE- São Paulo DPO 11/2017

Obra	Dimensões: Altura da barragem H (m)	Período de retorno Tr (anos)	
		Sem risco para habitações ou pessoas	**Com riscos para habitações ou pessoas**
Barramento	**H≤5**	100	500
	5 < H ≤ 10	500	1.000
	H >10	1.000	10.000

Fonte: DAEE, 2007

Tabela 265.9- Recomendações para valores mínimos de períodos de retorno do DAEE- São Paulo de DPO 11 2017

Obra hidráulica	Tipo/características	Folga sobre dimensionamento (f)
Canalização	**Seção aberta**	**f≥ 0,20 h_{TR}**
Canalização	**Seção em contorno fechado**	**f≥ 0,20 H**
Travessia	**Aérea (pontes)**	**f≥ 0,20 h_{TR} com f>= 0,4m**
Travessia	**Intermediaria (galerias)**	**f≥ 0,20H**
Travessia	**bueiro**	**Previsto para trabalhar em carga**
Barramento	**De qualquer tipo, excepto de soleiras submersíveis**	**f≥ 0,10H_M com f≥ 0,50m**

H_{TR}= profundidade da lâmina de água correspondente a vazão maxima de projeto associado a um periodo de retorno Tr
H= altura máxima da seção (m)
H_M= maior altura do barramento (desnível entre a cota de coroamento do maciço e o talvegue na seção da barragem**)**

Nível máximo *maximorum*: é o nível mais elevado que poderá atingir o reservatório na ocorrência de cheia de projeto (DAEE, 2005). Geralmente é a cota do nível de água da coluna de água sobre o vertedor.

Borda livre: é a distância vertical entre o nível de água máximo *maximorum* e a crista da barragem. É uma faixa de segurança destinada a absorver o impacto de ondas geradas pela ação dos ventos na superfície do reservatório, evitando danos e erosão no talude de jusante (DAEE,2005). Geralmente é representado pela letra "f" e no caso de pequenas barragens deve ser no mínimo de 0,50m.

Tabela 265.10- Recomendações para valores da rugosidade de Manning- DAEE- São Paulo DPO 11/ 2017

Tipo de superfície ou de revestimento		Coeficiente de rugosidade de Manning n
Terra		0,035
Grama		0,035
Rachão		0,035
Gabião		0,028
Pedra argamassada		0,025
Aço corrugado		0,024
Concreto		0,018

Tabela 265.13- Recomendações para coeficientes de escoamento superficial e numero da curva CN- DAEE- São Paulo DPO 11/2017

Coeficiente /Parâmetro	Valor minimo
Coeficiente de escoamento superficial direto C	0,25
Número da curva CN	60

265.6 Análise das brechas ou falhas nas barragens

Para a análise das ondas de enchentes causadas por brechas em uma barragem são usadas as Equações de *Saint-Venant*.

Muitos softwares americanos estão disponíveis no mercado, como o FLDWAV, SMPDBK, DAMBRK e HECRAS.

O *US National Weather Service* elaborou o modelo FLDWAV sendo a versão mais nova a de junho de 2000 baseado nas equações de *Saint Venant* para movimento variado com uma dimensão cuja solução numérica é a diferença implícita dos quatro pontos. O FLDWAV analisa as enchentes causadas por brechas nas barragens e pode ser usado também para fluídos newtoniano e não-newtoniano (lama).

O software Dambrk é muito usado também.

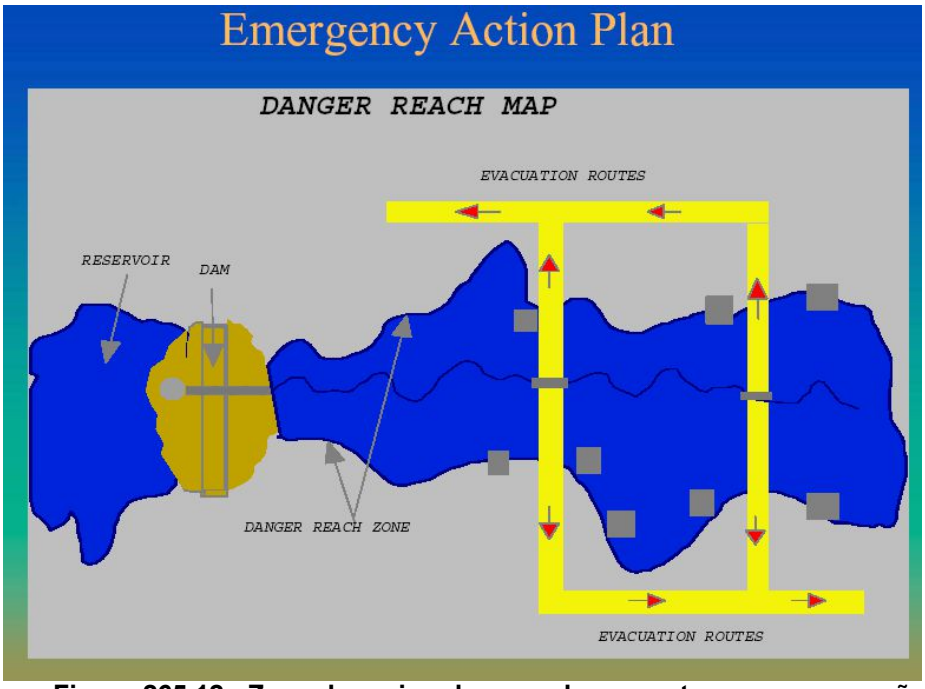


Figura 265.12 - Zona de perigo demarcada e as rotas para evacuação.

Baseado neste modelo, os americanos fazem mapas de inundação, conforme Figura (265.10) devida a falhas, que são distribuídas as populações a jusante e que funcionam desde 1980, exigidas pelo *US Bureau of Reclamation* e evitam muitos problemas servindo de base para:

- *ações de emergência e planos de evacuação que devem ser tomados;*
- *determinar o risco das populações;*
- *classifica os perigos da barragem e*
- *auxilia na seleção das alternativas para redução dos riscos.*

265.7 Bibliografia e livros consultados

-BATTEJES. J.A. et al. *Unsteady flow in open channels*. Amazon/Kindle, 2017
-CHANSON. HUBERT. *The hydraulics of open channel flow na introduction*. 2ª ed. 586 página, ano 2010
-FROELICH, DAVID.*Embankment dam breach parfameters* revisted. ASCE, agosto1995
-GRAHAM, W.J. *Procedures for estimating loss of life in* dam. Setembro , 1999
-HEC-RAS. *Using Hec-Ras for dam break studies*. Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.
-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010*. Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.*
-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simposio Brasiuleiro de recursos hidrficos.
-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.
-WEST, MARTIN et al. *Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.* Portugal.
-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. *Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica* XXX SIC. 2018

Capítulo 266-Ondas de enchente em rios

Capítulo 266- Ondas de enchentes em rios

266.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é mostrar o uso de ondas longas em canais usando o método da difusão.

O interesse surgiu ao saber que em 1943 foi bombardeada pela RAF, a represa de Mohne na Alemanha, que produzia energia elétrica para a zona industrial do Rhur. A onda de cheia foi do rio para o rio Reno e a 140 km de distância tinha 1,5m de altura conforme Figura (266.1).

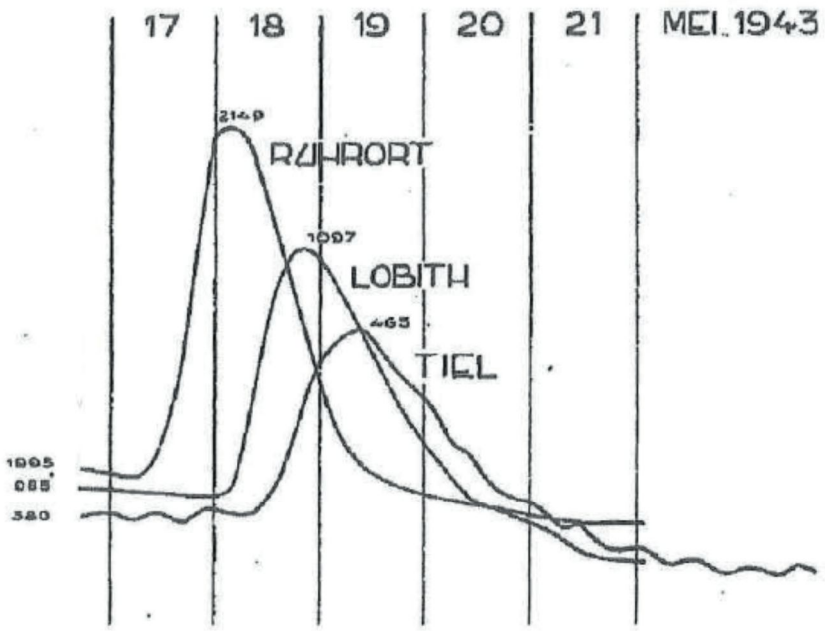


Figure 9.5: Water level recordings in the Rhine/Waal river following the collapse of the Möhne dam, source: Wemelsfelder [4]

Figura 266.1- Esquema do nível de agua no rio Reno em 1943.

Na parte baixa do rio Reno a declividade é de $S=0{,}0001$ m/m.
O volume da barragem de Mohne tinha 110 hm3 , 1hm3=1000.000mn3, ou seja, 110 x 10^6 m3;
A base de nosso estudo está no livro *Unsteady flow in open channels* de Batteghes,2017.

266.2 Larguras Bc e B de um rio

A largura do rio no seu leito normal Bc e largura estendida quando há uma inundação B conforme Figura (266.2) e temos uma seção composta.

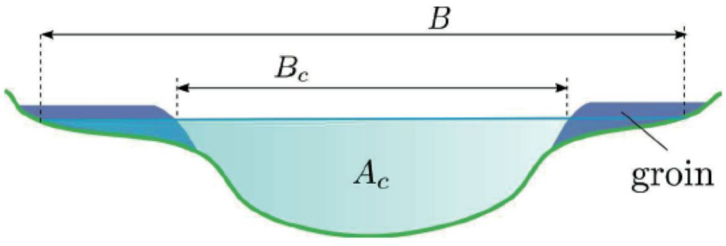


Figure 2.5: River cross-section with groins

Figura 266.2- Seção transversal do um rio notando-se largura Bc e largura B

266.2 Perfil longitudinal de um rio com a onda

A Figura (266.3) mostra o perfil longitudinal de um rio com profundidade normal "do", altura h variaável e declividade ib da base do rio.

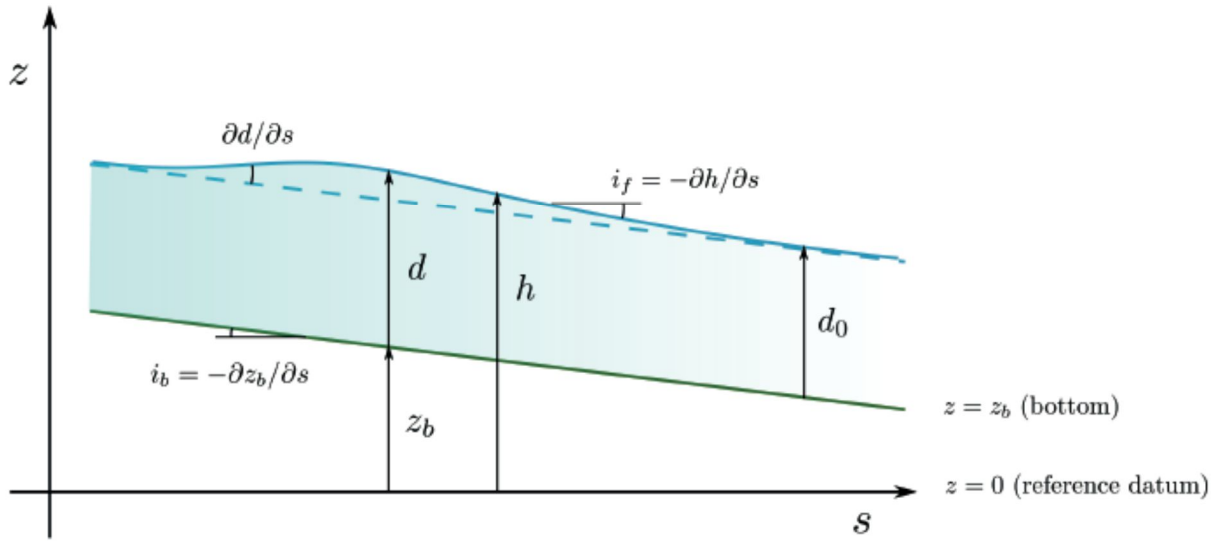


Figure 9.2: Longitudinal profile flood wave

Figura 266.3- Perfil longitudinal do rio com onda

266.4 Coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach "f".

Aqui é representando pelos autores como "cf=8f" para canais conforme Battejes, 2017 e D= 4.R. Battejes,m 2017 cita experiências de James Williamson em 1951 na Escócia em tubos grandes de aqueduto de concreto onde achou alguns dados incompatíveis com as experiências de Nikuradise e válida para tubos maiores que 6m de diâmetro. Isto conforme Battejes, 2017 pode ser aplicado aos canais onde foi introduzido cf=8f.

f= 0,180x(K/D)^0,333 Williamson, 1951

Fazendo D=4R temos:

f= 0,113x(K/R)^0,333 Williamson, 1951

mas, segundo Battejes, 2017:
cf=8f Nota: justificativa para esta igualdade está logo abaixo
D=4R
Substituindo teremos:

cf=0,0142*(K/R)^0,333

Sendo:

cf=coeficiente de atrito adimensional
K= rugosidade do canal (m)
R= raio hidráulico do canal (m)

A equação de Williamson, 1951 é boa para ser aplicada em movimento *unsteady state* e em canais com marés.

Fórmula de Darcy-Weisbach ou fórmula Universal.

hf= f . L/D . V^2/2g
hf/L= f . 1/4R . V^2/2g
ib= (f/(4x2)) x V^2/g
ib .g.R= cf x V^2/
V=(ib.g.R/cf)^0,5
Q= Ac. (gRib/cf)^0,5

Em canais D= 4R

$$Q = A_c\sqrt{gRi_b/c_f}$$

Conforme Battejes, 2017 temos:

U= 8,4 . (R/k)^(1/6 . (g.R. ib)^0,5

Sendo:
U= velocidade da água no canal (m/s)
R= raio hidráulico no canal (m)
K= rugosidade no canal (m)
g=9,81 m/s2
ib= declividade do canal (m/m)

Valor da rugosidade de Manning para canais com agua limpa e canais retos. Conforme Battejes. 2017:

n=0,031.D75 ^(1/6)

Sendo:
n= coeficiente de rugosidade de Manning para canais

D75= diâmetro da partícula em pés (ft)
Ainda conforme Battejes, 2017 o valor da rugosidade do canal k é aproximadamente: K=3.D84= 4.Dm
K= 4,75.(2g)^0,5/Dm^(1/6)
Sendo:
Dm= rugosidade média de areia, pedregulho etc (m)
K= rugosidade (m)
Valor de n em canal com muita vegetação
n= 0,075 a n=0,150 com muita vegetação

266.5 Coeficiente de difusão "K"

No estudo das ondas longas de difusão, definimos o coeficiente de difusão "K" em m2/s.

$$K \equiv \frac{Q_u}{2 i_b B}$$

Sendo:
K= coeficiente de difufsaõ (m2/s)
B= largura expandida do rio (m)
Ib= declividade do talvegue do rio (m/m)
Qu= vazão do rio no local (m3/s)

$$Q_u = B_c\, d \sqrt{\frac{g d i_b}{c_f}}$$

$$Q = Q_u \equiv A_c \sqrt{\frac{g R i_b}{c_f}} \qquad \text{and} \qquad U = U_u \equiv \frac{Q_u}{A_c} = \sqrt{\frac{g R i_b}{c_f}}$$

$$i_f \equiv c_f \frac{Q^2}{g A_c^2 R} = c_f \frac{U^2}{g R}$$

266.5- Velocidade de difusão

Uma outra variável importante, além do coeficiente de difusão, é a velocidade de difusão.

$$c_{HW} = \frac{1}{B}\frac{\mathrm{d}Q_u}{\mathrm{d}d} = \frac{3}{2}\frac{B_c}{B}U$$

Sendo:
cHw= velocidade da onda de difusão (m/s). Pode ser maior ou igual a velocidade do curso de água "U".
B= largura expandida do canal com a enchente (m)
Bc= largura normal do canal (m)
U= velocidade da água no canal (m/s)

266.6 Equações básicas das ondas de difusão

As equações básicas da difusão no rio em relação a altura do existente do. É um acréscimo ao longo da distância "s" em metros e do tempo "t" em segundos.

$$d(s,t) = d_0 + \frac{V/B}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_s(t)} \exp\left(-\frac{(s - c_{HW}t)^2}{2{\sigma_s}^2(t)}\right)$$

$$\sigma_s(t) = \sqrt{2K_0 t} \qquad \text{and} \qquad K_0 = \frac{Q_0}{2i_b B} = \frac{U_0 d_0}{2i_b}\frac{B_c}{B}$$

Sendo:
do= altura normal do nível de água do rio inicial antes do rompimento da barragem (m)
V= volume de água máximo existente no barramento (m3)
B= largura máxima do rio (m)
s= distância em metros da barragem até o ponto que escolhermos.
Ko= coeficiente de difusão considerado constante ao longo do rio.
t= tempo em segundo a partir do rompimento da barragem

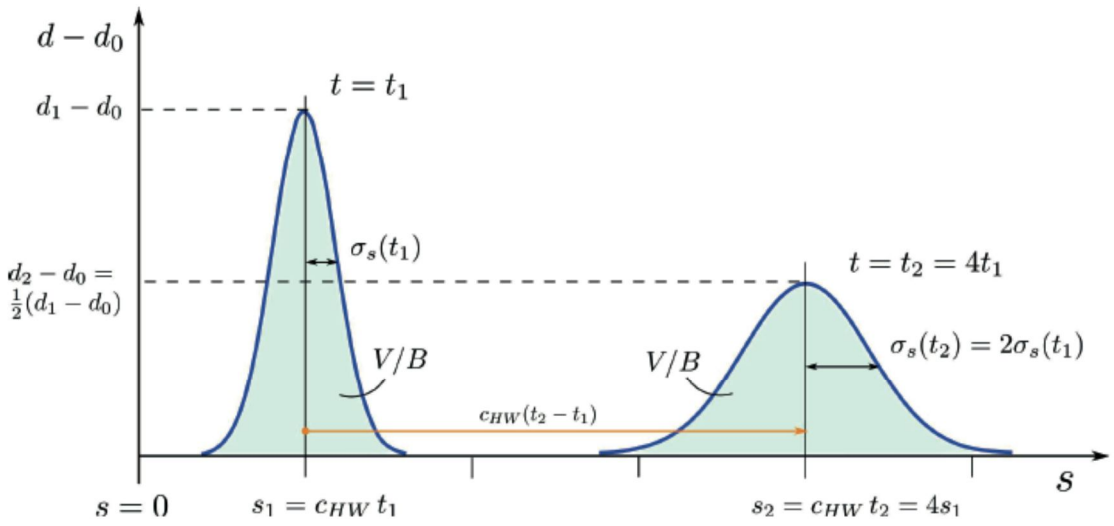


Figure 9.4: Elementary solution of the advection-diffusion equation

Figura 266.4- Notar que temos tempo t1 e t2 =4 t1. Notar que a área V/B é constante.

Notar que do é altura do rio antes da ruptura da barragem.

Exemplo 266.1
Calcular a onda da onda longa por difusão da represa do Tanque Grande que tem V=80000m3 e declividade do rio ib=0,01m/m, sendo B=30m, Bc=15m e K=0,19m (estimado).

Primeiro vamos achar a profundidade normal

y	area	Pw	Rh	V(m/s)	Q(m3/s)	Froude
1,00	**15**	**32**	**0,47**	2,091511	**31,37**	0,67

Supondo do=1,00m temos e largura Bc=15m achamos o raio hidráulico R=0,47m e a vazão Qo=31,37 m3/s.

Agora vamos calcular cf=f.

cf=0,0142*(K/R)^0,333cf=0,0142*(0,19/0,47)^0,333= 0,015

Cálculo do coeficiente de difusão K

$$K \equiv \frac{Q_u}{2 i_b B}$$

Qu= 31,37 m3/s ib=0,01 m/m B=39m
K= 31,37/(2 x 0,01 x 30)= 52 m2/s

Calculo da velocidade de progaçao da onda de difusão chw

$$\boxed{c_{HW} = \frac{1}{B}\frac{\mathrm{d}Q_u}{\mathrm{d}d} = \frac{3}{2}\frac{B_c}{B}U}$$

Bc= 15n B= 30m U=2,09 m/s
Chw= (3/2) x *15/30) x2,09= 0,10 m/s

Tendo K e chw podemos usar as equações da difusã>

$$d(s,t) = d_0 + \frac{V/B}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_s(t)} \exp\left(-\frac{(s - c_{HW}t)^2}{2{\sigma_s}^2(t)}\right)$$

$$\sigma_s(t) = \sqrt{2K_0 t} \qquad \text{and} \qquad K_0 = \frac{Q_0}{2 i_b B} = \frac{U_0 d_0}{2 i_b}\frac{B_c}{B}$$

Vamos supor que do=0, para mostrar somente a influência da onda de difusão devido a ruptura da barragem.

Adotando espaço entre as seções transversais no rio de 1000m em 1000m até atingir 7000m que é o rio abaixo chamado Rio Baquirivu.

A velocidade é o espaço "s" dividido pelo tempo "t". Tendo a velocidade da onda chw o tempo será:

t= s/chw em segundo

U= velocidade do rio (m/s) conforme Darcy-Weisbach

U= (9,81*R*ib /cf)^0,5

Para a primeira linha:

U= (9,81*R*ib /cf)^0,5

U= (9,81*0,99*0,01 /0,015)^0,5=3,04m/s

Q= AxU

Q= Área x velocidade= 31,9 x 3,04= 97,17 m3/s

Na Tabela (266.1) estão os cálculos feitos em Excell:

Tabela 266.1- Cálculos sendo B=30m

S (M)	T (S)	Y	AREA (M2)	PW (M)	RH (M)	U (M/S)	Q (M3/S)
1000	9562	**1,06**	**31,9**	**32,1**	**0,99**	3,044736	**97,17**
2000	19125	**0,75**	**22,6**	**31,5**	**0,72**	2,585506	**58,35**
3000	28687	**0,61**	**18,4**	**31,2**	**0,59**	2,346573	**43,24**
4000	38250	**0,53**	**16**	**31,1**	**0,51**	2,189509	**34,94**
5000	47812	**0,48**	**14,3**	**31**	**0,46**	2,074463	**29,61**
6000	57375	**0,43**	**13**	**30,9**	**0,42**	1,984691	**25,86**

7000	66937	**0,40**	**12,1**	**30,8**	**0,39**	1,911657	**23,06**

266.7 Bibliografia e livros consultados

-BASSEGIO, PEDRO GUIDO MOTTES. ***Influencia a jusante causadas pelo uso de diferentes equações empriricads de previsão de vazão máxima proveniente de ruptura de barragens. UFRGS. Salao de iniciação cientifica*** **XXX SIC. 2018**

-BATTEJES. J.A. et al. ***Unsteady flow in open channels*****. Amazon/Kindle, 2017**

-CHANSON. HUBERT. ***The hydraulics of open channel flow na introduction*****. 2ª ed. 586 página, ano 2010**

-FROELICH, DAVID.***Embankment dam breach parfameters*** **revisted. ASCE, agosto1995**

-GRAHAM, W.J. ***Procedures for estimating loss of life in*** **dam. Setembro , 1999**

-HEC-RAS. ***Using Hec-Ras for dam break studies*****. Agosto de 2014, US Army Corps of Engineers.**

-LEI FEDERAL 12.334 DE 20 DE SETEMBRO DE 2010***. Estabelece a politica nacional de segurança de barragens.***

-PEREIRA, CARLOS EUGENIO et al. Aplicação do método simplificado a barragens do Estado de Minas Gerais, 2015, XXI Simposio Brasiuleiro de recursos hidrficos.

-PORTO, RODRIGO DE MELO. ***Hidráulica básica*****.** EESC USP, 2ª ed. 2003, 519 p.

-WEST, MARTIN et al. ***Avaliação de segurança de barragens. Uma comparação entre as abordagens britânicas e portuguesa.*** **Portugal.**

--ZIDAN, ABDEL KUSIK AHMED. *Review of friction formulae in open channel* flow.14 de março de 2015 com 14 páginas.