Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2018

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DE SEGURANÇA DE UMA PEQUENA BARRAGEM DE TERRA NO MUNICIPIO DE POTÉ - MG

Madson Cerqueira[1]; Werner Kriebel[2]; Izabel Cristina Marques[3]; Pedro Emílio Amador Salomão[4]

Resumo

Este trabalho visa analisar os elementos de segurança de uma pequena barragem de terra já existente, dimensionada e construída de forma empírica e fazer o dimensionamento de um perfil hipotético através de métodos científicos, constituído do mesmo material e possuindo mesma altura normal, ou seja, com mesma capacidade de armazenamento de água. Dessa forma, objetiva-se uma análise crítica dos elementos de segurança deste tipo de estrutura. Através dessa análise torna-se possível a orientação na construção e dimensionamento de futuras pequenas barragens de terra, além de levar o conhecimento em relação à importância e simplicidade do dimensionamento deste tipo de estrutura. Para o projeto de um perfil hipotético utilizou-se métodos técnico-cientifico, foi necessário realizar medições da barragem em estudo para verificar a altura normal do nível da água assim como os principais elementos constituintes. Foi utilizado também o software Google Earth ® para estimativa de áreas. Com isso, verificou-se que a barragem analisada apresenta dimensões inferiores às mínimas sugeridas para o talude de montante, talude de jusante e altura de enchente. Observou-se também que a mesma não possui extravasor, principal elemento para garantir a segurança da estrutura. Ao final, são feitas algumas sugestões para melhorar a estabilidade e nível de segurança da barragem, conforme recomendações da literatura especializada.

Palavras-chave: Pequenas Barragens de Terra. Elementos de Segurança. Dimensionamento de barragem.

1 Aluno do 10º período do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni – MG – e- mail: madsoncerqueira14@gmail.com
2 Docente da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni – MG – e-mail: kriebel275@hotmail.com
4 Docente da UFVJM – Teófilo Otoni – email: izabel.marques@ufvjm.edu.br
3 Docente da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni – MG – e-mail: pedroemilioamador@yahoo.com.br

Abstrac

This work aims at lowering the safety elements of a small earth dam already existing, dimensioned and constructed in an empirical way and making the sizing of a hypothetical profile by scientific methods, made of the same material and having the same height of normal, oube, with the same water storage capacity. In this way, they aim at a critical analysis of the security elements of

the structure type. Through analysis and development of dimensions, it is possible to create a property disclosure document. For the design of a hypothetical profile, use scientific-technical methods, it is necessary to perform dam measurements under study to verify the normal height of the water level as well as the main constituent elements. Also Google Earth ® software was used to estimate areas. With this, it was verified that the analyzed dam presents dimensions smaller than the minimum suggested for the slope of upstream, slope of downstream and height of flood. It was also observed that it has no extravasor, the main element to guarantee a structure safety. At the end, some suggestions are made to improve safety, according to the literature.

Keywords: Small Earth Dams. Elements of Safety. Sizing of dam.

1 Introdução

Ao longo dos últimos cinco mil anos, desde o surgimento dos seus primeiros exemplares no Egito, diante à escassez de água em períodos secos, as barragens vêm sendo a fonte mais confiável de água para a sociedade. Segundo Euclydes (2011) o barramento de cursos d'água são dotados de mecanismos com a finalidade de obter a elevação do nível de água ou criar um reservatório de acumulação de água ou de regularização de vazão.

O tipo de barragem pode variar de acordo com a forma que será construída ou o material utilizado na construção de seu corpo principal, sendo as convencionais: Barragem de Concreto, Barragem de Enroscamento e Barragem de Terra.

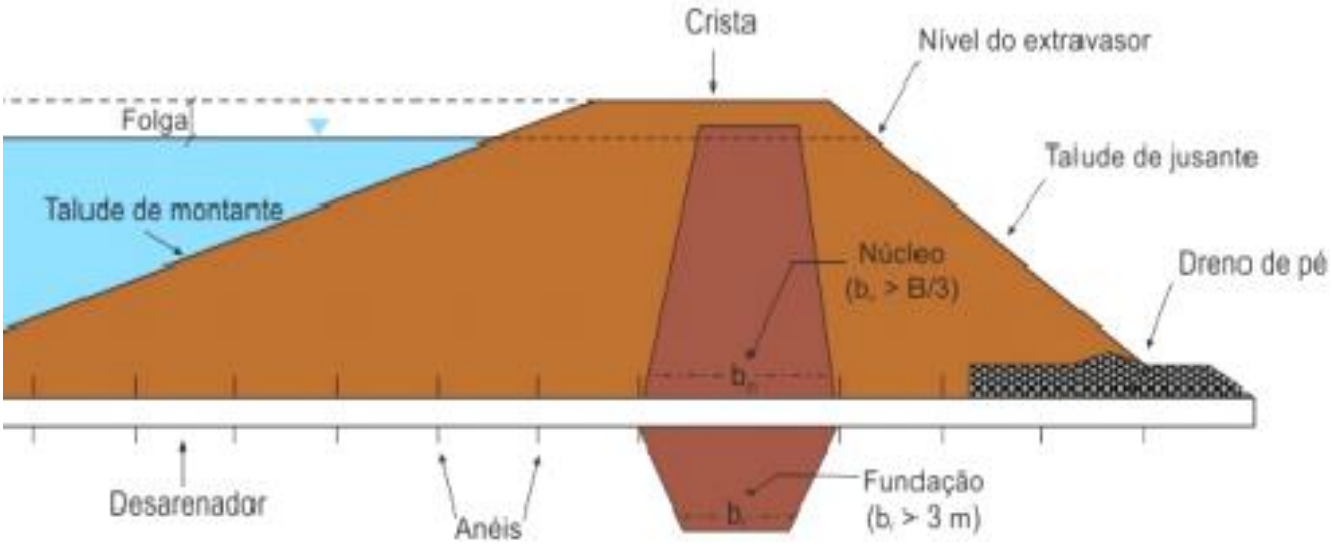
Pequenas barragens de terra são aquelas que utilizam o solo como elemento principal em sua estrutura e apresentam altura inferior a 10 metros. São de fácil obtenção e compactação do material terroso e suas finalidades são as mais diversas, desde irrigação, agropecuária, pisciculturas, até abastecimento urbano e industrial. São estruturas de baixo custo e mão de obra, com simplicidade de projeto e menos agressivas ao meio ambiente, porém possuem facilidade em ser modificada por água corrente e necessitam de manutenção contínua (MASSAD, 2010).

Por sua simplicidade, na maioria das vezes seu dimensionamento e construção são realizados de modo empírico. Assim não é dada a devida importância aos elementos essenciais para sua segurança, que são (FIG.1):

- O talude de montante – que é a lateral inclinada do maciço que fica em contato com a água;
- O talude de jusante - que é a lateral inclinada do maciço oposta ao talude de montante;
- O extravasor – conhecido também como sangradouro, vertedouro ou ladrão, é a estrutura mais importante em relação à segurança da barragem; proporciona escoamento da vazão máxima de enchente;
- O desarenador – estrutura utilizada para esvaziamento e eliminação dos depósitos do fundo da represa, é a estrutura responsável por conduzir a água de montante à jusante da barragem;
- O núcleo impermeável – responsável por impedir que a água percolepor dentro do maciço, interrompendo o fluxo de água e evitando que o mesmo atinja o talude de jusante provocando seu rompimento.

A FIG. 01 ilustra os elementos que constituem uma pequena barragem de terra.

FIGURA 01 – Elementos de uma pequena barragem de terra.



Fonte: Euclydes, 2011.

Desta forma, acabam por utilizar estruturas com dimensões abaixo do exigido para sua segurança ou até mesmo deixando de construir algumas delas. Assim, as chances de um acidente de grandes proporções e prejuízos econômicos, social e ambiental são bem maiores.

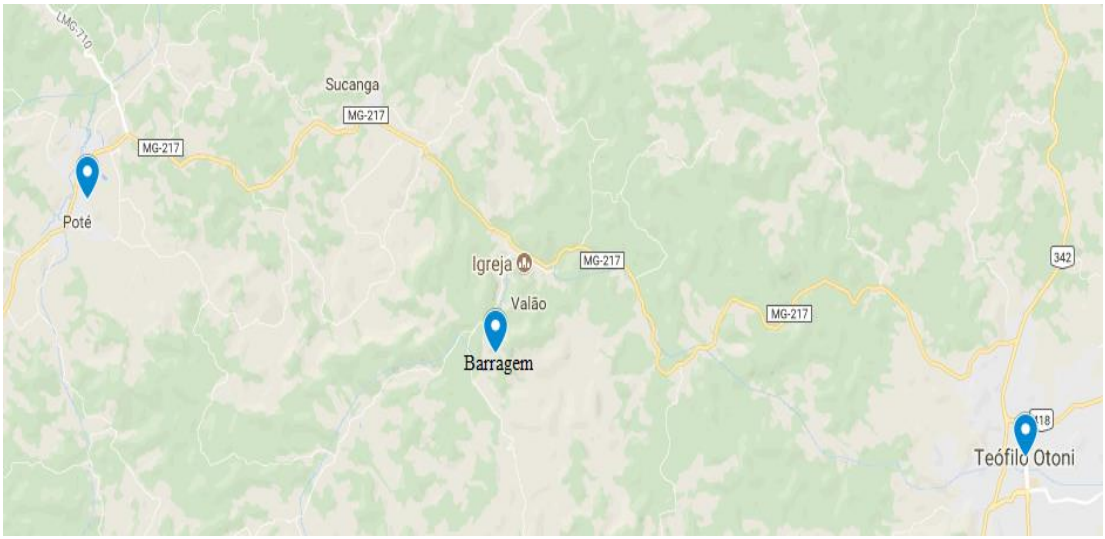
Estima-se que grande parte das pequenas barragens de terra localizadas na região de Teófilo Otoni – MG possuem problemas quanto a seu dimensionamento e construção. Sendo assim, foi feito uma análise em uma pequena barragem de terra já existente no distrito de Valão, localizado no Município de Poté – MG. Esta barragem é destinada à piscicultura e se localiza geograficamente em um nível de elevação maior que o distrito de Valão e deságua em um afluente do Rio Todos os Santos que corta a cidade de Teófilo Otoni – MG, também localizado a jusante da barragem.

Esta pesquisa tem como objetivo verificar as estruturas de segurança da pequena barragem de terra analisada no município de Poté – MG, à qual foi construída de modo empírico, e, então verificar-se a mesma, apesar do modo empírico de construção, atende-se às dimensões mínimas para sua segurança de acordo com as literaturas utilizadas. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para melhor entendimento do modo técnico-científico para dimensionamento de uma pequena barragem de terra. Posteriormente, foram realizadas algumas medições no local a fim de coletar medidas para futura comparação. Através da altura do nível de água (Hn), foi possível dimensionar tecnicamente um perfil hipotético, utilizando valores mínimos de segurança.

2 Materiais e métodos

O trabalho foi realizado em uma Barragem no distrito de Valão, localizada no município de Poté-MG, situada nas coordenadas Latitude Sul 17°48'25”e Longitude Oeste 41°47'9”, conforme apresentado na FIG. 02, distante a18 km do centro de Poté e a 22 km da cidade de Teófilo Otoni– MG situada nas coordenadas Latitude Sul 17°51'15”e Longitude Oeste 41°30'23”.

FIGURA 02 – Localização da Barragem no distrito de Valão-MG.



Fonte: Elaboração própria sobre imagem do Google Maps (2017)

A escolha da barragem se deu pelo fato da mesma se enquadrar nos parâmetros de uma pequena barragem de terra, assim como seu considerável volume de água acumulado.

Inicialmente, por meio de pesquisa bibliográfica, foi possível aprofundar o conhecimento sobre o tema proposto. Desta forma foi adquirido todo conhecimento cientifico que possibilitou a realização deste trabalho.

Os softwares, Google Earth2017 e Google Maps 2017, foram utilizados para: localização da barragem, definir a área de contribuição, definir as áreas com diferente cobertura vegetal e obtenção dos perfis de elevação do terreno.

Para obter as dimensões do talude de montante, talude de jusante e da crista da barragem existente foi utilizado uma trena de fibra de vidro. Para a obtenção da altura total (Hn) utilizou-se uma trena de aço, submergida verticalmente até o fundo do reservatório dentro do monge, que é a estrutura responsável por manter a altura de água desejada. Também se utilizou de uma trena de aço para verificação das medidas do desarenador e do monge. Não foram conferidas as medidas para do extravasor, pela inexistência do mesmo.

Após a obtenção das dimensões da barragem em estudo, os elementos básicos foram dimensionados de maneira hipotética, sendo estes: Altura do Extravasor (H_{ext}); Comprimento do Extravasor (L_{ext}); Talude de Montante (M); Talude de Jusante (J); Comprimento (L_d) e Diâmetro (D) do desarenador.

O dimensionamento foi feito tomando como base a altura da barragem em análise, uma vez que o perfil hipotético será dimensionado para acumular a mesma quantidade de água, apresentando os valores mínimos a serem considerados para os elementos fundamentais de segurança, para uma posterior comparação. Os cálculos foram realizados utilizando-se dos procedimentos indicados por Lopes e Lima (2005) e Euclydes (2011).

Para a elaboração dos desenhos da barragem hipotética, e, dos elementos dimensionados foi utilizado o software AUTOCAD 2016.

Quanto à altura de enchente, altura de folga e largura da crista foram considerados os valores indicados pelos autores de acordo com a altura normal (Hn) de água da barragem existente.

Para o dimensionamento do talude de montante (M) e do talude de jusante (J) foram considerados a proporção de 2,5:1 e 1,5:1, respectivamente, ou seja, no caso do talude de montante, para cada metro na vertical usou-se dois metros e meio na horizontal e para o talude de jusante, para cada um metro na vertical, usou-se um metro e meio na horizontal.

O dimensionamento da base do maciço serve como orientação para a marcação e construção da barragem. Consiste na soma das medidas do talude de montante, da crista e do talude de jusante, dado pela FÓRM.01 descrita abaixo:

$$B = [(M + J)\ .\ H] + C \text{(Fórmula 01)}$$

Onde:

B = base do maciço de terra;

M = inclinação do talude de montante;

J = inclinação do talude de jusante;

H = altura total da barragem;

C = crista da barragem.

No dimensionamento do extravasor foram calculados: a altura (H_{ext}), apresentado na TAB. 01 e o comprimento (L_{ext}), utilizando a FORM. 02 abaixo descrita.

$$L_{ext} = \frac{Q_{max}}{1{,}55\ X\ H_{ext} X\ \sqrt{H_{ext}}}$$ (Fórmula 02)

Onde:

L_{ext}= largura da base do extravasor;

Q_{max}= vazão máxima de enchente, em m^3/s;

H_{ext}= altura do extravasor, em m.

TABELA 01 - Altura do Extravasor em função da altura da Barragem.

Altura da barragem (m)	Altura do extravasor " H_{ext} " (m)
até 5	de 0,7 a 0,8 + folga
entre 5 e 7,5	de 0,8 a 1,0 + folga
entre 7,5 e 10	de 1,0 a 1,2 + folga

Fonte: Lopes e Lima, 2005.

Para o cálculo do comprimento do extravasor (L_{ext}) foi necessário realizar o cálculo da vazão máxima, fórmula 03, e para tanto, calculou-se a área de contribuição (Ac); o coeficiente de escoamento (C) e intensidade de precipitação (Ip).

A vazão máxima de enchente foi calculada pela FORM. 03 a seguir:

$$Q_{MAX} = \frac{C\ .\ Ip\ .\ Ac}{360}$$ (Fórmula 03)

Onde:

Q_{max}= vazão máxima de enchente que passará pelo desarenador em m^3/s;

C = coeficiente de escoamento, adimensional;

Ip= intensidade de precipitação, em mm/h;

Ac = área de contribuição da micro bacia, em ha.

Para o cálculo do coeficiente de escoamento(c), a fim de alcançar um valor mais preciso, foi feita uma média ponderada de acordo com o percentual de diferença na vegetação e inclinação do terreno na área de contribuição, baseado na TAB. 02. Já o índice de precipitação (Ip) foi definido de acordo com o tamanho da área de contribuição pela TAB. 03.

TABELA 02 – Valores para coeficiente de escoamento

Tipo de cobertura	Tipo de solo	Classes de topografia e da declividade do terreno					
		Plana	Suavemente ondulada	Ondulada	Fortemente ondulada	Amorreada	Montanhosa
		0 a 2,5 %	2,5 a 5 %	5 a 10 %	10 a 20 %	20 a 40 %	40 a 100%
Culturas anuais	Argiloso	0,50	0,60	0,68	0,76	0,85	0,95
	Arenoso	0,44	0,52	0,59	0,66	0,73	0,81
	Roxo	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,75
Culturas permanentes	Argiloso	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,754
	Arenoso	0,34	0,41	0,46	0,52	0,56	0,64
	Roxo	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59
Pastagens limpas	Argiloso	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59
	Arenoso	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,50
	Roxo	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46
Capoeiras	Argiloso	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41
	Arenoso	0,19	0,23	0,25	0,28	0,32	0,35
	Roxo	0,17	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32
Matas	Argiloso	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
	Arenoso	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24
	Roxo	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

Fonte:Lopes e Lima, 2005.

TABELA 03 -Intensidade de precipitação em relação a área de contribuição.

Área de contribuição da bacia (ha)	Intensidade de precipitação (mm/h)
até 10	300
De 10 a 20	270
De 20 a 50	250

De 50 a 100	200
De 100 a 200	180
De 200 a 300	150
De 300 a 400	135
De 400 a 500	120

Fonte:Lopes e Lima, 2008.

O dimensionamento do desarenador consiste em calcular: o valor do comprimento (Ld), dado pela fórmula 04; o valor da vazão que passa pelo desarenador (Q), dada pela fórmula 05; o volume de água acumulada (Vol), dada pela fórmula 06 e o diâmetro da tubulação (D), calculado pela fórmula 07.

$$L_d = M + J + C + 3$$ (Fórmula 04)

Onde:

Ld – comprimento do desarenador (m);

M – talude de montante (m);

J – talude de jusante (m);

C – crista (m).

$$Q = \frac{Vol + Q_n}{86400\ .\ t}$$ (Fórmula 05)

Onde:

Q = vazão que passa pelo desarenador;

Vol = volume de água acumulado, em m^3;

Qn = Vazão da água que sai da barragem em m^3/s

t = Tempo de esvaziamento de 30 dias

$$Vol = \left(\frac{Área\ .\ H_n}{2}\right)$$ (Fórmula 06)

Onde:

Vol = volume de água acumulado, em m^3;

Área = área alagada, em m^2;

Hn = altura normal da água, em m.

$$D = \left(\frac{K_1 .Q}{C_{HW}}\right)^{0,38}$$ (Fórmula 07)

Onde:

D = Diâmetro do desarenador em mm;

K1 = parâmetro de multiplicação, obtido na tabela 05

Q = vazão que passará pelo desarenador, quando ele se encontrar totalmente aberto, em m^3/s;

C_{HW} = coeficiente adimensional (coeficiente da fórmula de Hazen- Willians), obtido em função do material da tubulação, de acordo com a tab. 04.

A vazão de água que sai da barragem (Q_n) é dada de acordo com a utilização da represa. Em represas utilizadas para piscicultura, como a represa em estudo, aconselha se manter vazão mínima de 10 litros por hectare por segundo (Ribeiro, 2001). Sendo assim, a vazão de água que sai da barragem pode ser calculada de acordo com a fórmula 08.

$$Q_n = A.V$$ (Fórmula 08)

Onde:

Qn= vazão que passará pelo desarenador;

A= área alagada em hectare (ha);

V= vazão adotada para a represa de acordo com sua utilidade em metro cubico (l/s).

TABELA 04 – Valores do coeficiente adimensional C_{HW} (coeficiente da Fórmula de Hazen- Willians) e $C_{HW}^{0,38}$, para diferentes materiais que podem ser utilizados na tubulação do desarenador.

Material	CHW	$C_{HW}^{0,38}$
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	4,7391
Aço em uso e ferro fundido em uso	90	5,5286
Galeria de tijolos com bom acabamento	100	5,7544
Aço revestido novo, manilha cerâmica	110	5,9666

Concreto com acabamento comum	120	6,1672
Aço galvanizado	125	6,2636
Ferro fundido, novo ou revestido de cimento	130	6,3577
Concreto com bom acabamento	130	6,3577
Plástico, cimento-amianto	140	6,5393

Fonte: Lopes e Lima, 2005.

Quadro 1- Dimensões de uma pequena barragem de terra

Dimensões	Como determinar
Altura normal (Hn)	Em função do objetivo para o qual a represa se prestará e das condições topográficas locais.
Altura de enchente (He)	Deverá ser igual à altura considerada para o extravasor de água, que deverá estar entre 70 cm e 1,2 m mais a folga.
Altura de folga (Hf)	Deverá ser entre 50 e 80 cm.
Inclinação do talude de montante (m)	Deverá ser determinada em função da altura da barragem e do tipo de material que constituirá o maciço de terra.
Inclinação do talude de jusante (j)	deverá ser determinada em função da altura da barragem.
Posição do desarenador	Deverá ser definida com base nas condições do local onde a barragem será construída.
Posição da tomada d' água	Deverá ser definida com base nas condições do local onde a barragem será construída e no uso da água represada.
Dimensionamento do extravasor de água	Deverá ser feito para atender à vazão máxima de enchente estimada.

Fonte: Lopes e Lima, 2005

Os resultados foram apresentados na forma quantitativa por meio de tabelas e figuras, bem como análise descritiva por textos.

Inicialmente foram apresentados os valores dos componentes básicos de uma pequena barragem de terra de acordo com as tabelas apresentadas. Em seguida apresentou os valores encontrados para cada elemento de segurança separadamente junto com o valor encontrado no perfil calculado e uma breve comparação e sugestão das adequações devidas caso necessário.

Tabela 05 – Valores de K1 para diferentes valores de Hn e de Ld.

TABELA 05 - Valores de K_1 para diferentes valores de Hn e de L.d.

Hn	Valores de L.d																							
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62
2,0	270,5369	279,2312	286,9881	294,0089	300,4346	306,3682	311,8874	317,0524	321,9107	326,5005	330,8532	334,9947	338,9470	342,7284	346,3548	349,8399	353,1954	356,4318	359,5582	362,5828	365,5127	368,3543	371,1135	373,7954	376,4048	378,9460
2,5	258,4286	266,7338	274,1435	280,8501	286,9881	292,6562	297,9284	302,8622	307,5030	311,8874	316,0453	320,0015	323,7769	327,3891	330,8532	334,1822	337,3876	340,4791	343,4666	346,3548	349,1536	351,8680	354,5023	357,0656	359,5582	361,9857
3,0	248,9388	256,9390	264,0767	270,5369	276,4496	281,9095	286,9881	291,7408	296,2112	300,4346	304,4398	308,2507	311,8874	315,3670	318,7093	321,9107	324,9983	327,9763	330,8532	333,6363	336,3322	338,9470	341,4859	343,9537	346,3548	348,6931
3,5	241,1877	248,9388	255,8542	262,1133	267,8419	273,1318	278,0523	282,6569	286,9881	291,0800	294,9605	298,6528	302,1763	305,5475	308,7805	311,8874	314,8789	317,7642	320,5515	323,2479	325,8600	328,3933	330,8532	333,2442	335,5705	337,8360
4,0	234,6687	242,2103	248,9388	255,0287	260,6025	265,7494	270,5369	275,0171	279,2312	283,2125	286,9881	290,5806	294,0089	297,2889	300,4346	303,4575	306,3682	309,1755	311,8874	314,5110	317,0524	319,5173	321,9107	324,2370	326,5005	328,7047
4,5	229,0650	236,4265	242,9943	248,9388	254,3795	259,4035	264,0767	268,4499	272,5634	276,4496	280,1350	283,6417	286,9881	290,1899	293,2604	296,2112	299,0523	301,7926	304,4398	307,0007	309,4814	311,8874	314,2236	316,4944	318,7039	320,8555
5,0	224,1657	231,3698	237,7972	243,6145	248,9388	253,8554	258,4286	262,7083	266,7338	270,5369	274,1435	277,5752	280,8501	283,9833	286,9881	289,8758	292,6562	295,3379	297,9284	300,4346	302,8622	305,2168	307,5030	309,7253	311,8874	313,9930
5,5	219,8242	226,8887	233,1916	238,8963	244,1174	248,9388	253,4235	257,6202	261,5678	265,2972	268,8340	272,1993	275,4107	278,4832	281,4299	284,2616	286,9881	289,6179	292,1583	294,6158	296,9965	299,3055	301,5474	303,7266	305,8469	307,9117
6,0	215,9341	222,8736	229,0650	234,6687	239,7975	244,5335	248,9388	253,0613	256,9390	260,6025	264,0767	267,3823	270,5369	273,5551	276,4496	279,2312	281,9095	284,4927	286,9881	289,4022	291,7408	294,0089	296,2112	298,3518	300,4346	302,4628
6,5	212,4164	219,2429	225,3334	230,8458	235,8910	240,5499	244,8834	248,9388	252,7533	256,3571	259,7747	263,0265	266,1297	269,0987	271,9461	274,6824	277,3170	279,8582	282,3129	284,6877	286,9881	289,2193	291,3857	293,4915	295,5403	297,5335
7,0	209,2106	215,9341	221,9326	227,3619	232,3310	236,9195	241,1877	245,1818	248,9388	252,4882	255,8542	259,0569	262,1133	265,0375	267,8419	270,5369	273,1318	275,6346	278,0523	280,3912	282,6569	284,8544	286,9881	289,0621	291,0800	293,0452
7,5	206,2696	212,8986	218,8128	224,1657	229,0650	233,5890	237,7972	241,7352	245,4393	248,9388	252,2575	255,4152	258,4286	261,3117	264,0767	266,7338	269,2922	271,7598	274,1435	276,4496	278,6835	280,8501	282,9538	284,9986	286,9881	288,9256
8,0	203,5560	210,0977	215,9341	221,2166	226,0514	230,5159	234,6687	238,5549	242,2103	245,6638	248,9388	252,055	255,0287	257,8739	260,6025	263,2247	265,7494	268,1845	270,5369	272,8126	275,0171	277,1552	279,2312	281,2492	283,2125	285,1245

Fonte: Lopes e Lima, 2005.

3 Resultados e discussão

A seguir passa-se à análise de cada um dos elementos da barragem considerada, visando o seu correto dimensionamento:

Altura normal de água (Hn) é a altura do nível de água dentro da represa, adotada de acordo com a quantidade de água que pretende acumular ou

finalidade do reservatório. A represa analisada apresentou altura normal igual a 4,50 metros, conforme TAB. 06.

Altura de enchente é o componente que possibilita o acúmulo de águas da chuva. De acordo com o QUAD. 01, a altura de enchente deve compreender de 0,70 a 1,20 metros. A altura encontrada na barragem analisada foi de 1,00 metro. Porém, esta medida deve-se adequar a mesma altura do extravasor, 1,20 metros, pois houve a necessidade de se adequar sobre a barragem já que o local não favorece sua construção fora da mesma. Verifica-se o valor adotado na TAB. 06.

A altura de folga é o componente de segurança para evitar o trasbordamento. Na barragem analisada, foi obtido altura de folga igual a 0,50 metros, conforme apresenta a TAB. 06. Medida esta aceitável como valor mínimo para esta estrutura, como podemos ver no QUAD. 01.

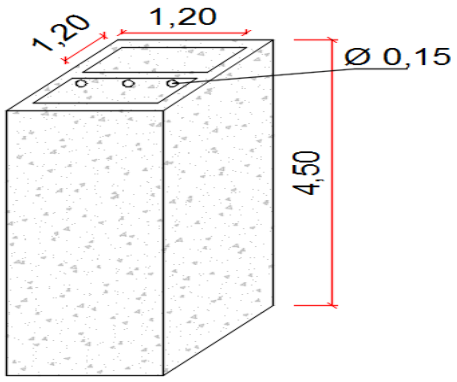
A crista é a parte superior da barragem e de acordo com Euclydes (2011) e Carvalho (2011) quando não utilizada como estrada, a crista deve compreender valores mínimos entre 3,0 e 5,0 metros e 5,0 a 6,0 metros caso contrário. De acordo com a TAB. 06, verificamos que a crista da barragem em estudo apresentou largura de 4,20 metros, e não é utilizada como estrada, estando assim de acordo com a literatura. Para o perfil hipotético foi proposto uma crista com 3,00 metros de largura, já que a mesma não será utilizada como estrada.

A largura da base do maciço nada mais é que a soma do tamanho dos taludes mais a crista da barragem. Seu correto dimensionamento proporciona a estabilidade necessária para a barragem suportar as forças que exercem sobre ela evitando assim seu rompimento. A barragem em estudo apresentou para a largura da base do maciço valor de 13,12 metros, enquanto a da barragem dimensionada apresentou tamanho de 27,80 metros. Isso se deu pelo fato da inclinação dos taludes ser incorreta o que resultou em uma base mais estreita. Para isto faz se necessário, após nova marcação, aterramento em ambos os lados da barragem até que a base atinja dimensão correta.

Para barragens de terra com altura normal inferior a 5,00 metros, Lopes e Lima (2005, p. 68) indica a utilização do monge. Esta estrutura deve conter

medidas mínimas de 1,20 metros para seus lados e altura de acordo com a quantidade de água que pretende acumular, como representado na FIG. 03. Esta estrutura é constituída de uma abertura localizada na sua parte inferior traseira por onde a água deverá entrar e uma divisão ao meio, de tábuas “stop logs” ou uma parede de alvenaria com tubos de PVC de diâmetro entre 150 e 200 mm distribuídos numa parede central de alvenaria e com tampões também de PVC na parte montante de cada tubo, sendo assim possível controlar o nível da água.

FIGURA 03 - Monge do perfil hipotético com suas respectivas dimensões em metros.



Fonte: Elaboração própria

As dimensões do monge da barragem em estudo são superiores as mínimas exigidas na literatura para este tipo de estrutura, como podemos ver na TAB. 06. Porém o mesmo foi construído de forma incorreta, não apresenta a parede central, “stop logs”, e a água entra pela parte superior. Recomenda se adequação para que o mesmo possa exercer suas funções corretamente.

De acordo com o Euclydes (2011), a altura total da barragem de terra (H_t) compreende a altura normal do nível da água, altura de enchente e altura de folga. No dimensionamento do perfil hipotético, após considerar todos os valores necessários, foi encontrado altura total mínima de 6,20 m enquanto o perfil analisado apresenta altura de 6,00 m, como mostrado na TAB. 06.

A área de contribuição (Ac), apresentado na FIG. 04, foi estimada em 117 ha,. Para a intensidade de precipitação (Ip) foi adotado 180 mm/h, conforme TAB. 03. Para coeficiente de escoamento (c), utilizou se 0,51 de acordo com o cálculo abaixo.

$$c = (0{,}1427\ .\ 0{,}37) + (0{,}0855\ .\ 0{,}41) + (0{,}2248\ .\ 0{,}59) + (0{,}547\ .\ 0{,}53) = 0{,}5104$$

$$c = 0{,}51$$

De acordo com o cálculo abaixo, a vazão máxima de enchente na área de contribuição é de 29,8 m³/s, e refere-se à quantidade máxima de água que passará pelo extravasor quando ocorrer máximas chuvas.

$$Q_{max} = \frac{0{,}51\ .\ 180\ .\ 117}{360}$$

$$Q_{max} = 29{,}8\ m^3/s$$

FIGURA 04 - Limite da área de contribuição da barragem



Fonte: Elaboração própria sobre imagem do Google Earth (2017)

Área alagada na área de contribuição, mostrada na FIG. 05 foi estimada em 5,42 ha, ou 54200 m2, com um volume de aproximadamente 122.000 m³ conforme cálculo abaixo:

$$Vol = \left(\frac{54200\ .\ 4{,}50}{2}\right)$$

$$Vol = 121.950\ m^3, aprox. 122.000\ m^3$$

FIGURA 05 - Área alagada (em laranja).



Fonte: Elaboração própria sobre imagem do Google Earth (2017)

De acordo com o cálculo abaixo, considerando o tamanho e utilidade da represa, adotou-se como vazão de água que sai da represa Qn= 0,0542 m3/s.

$$Q_n = 5{,}42\ ha\ .\ 10\ l/s$$

$$Q_n = 54{,}21\ l/s$$

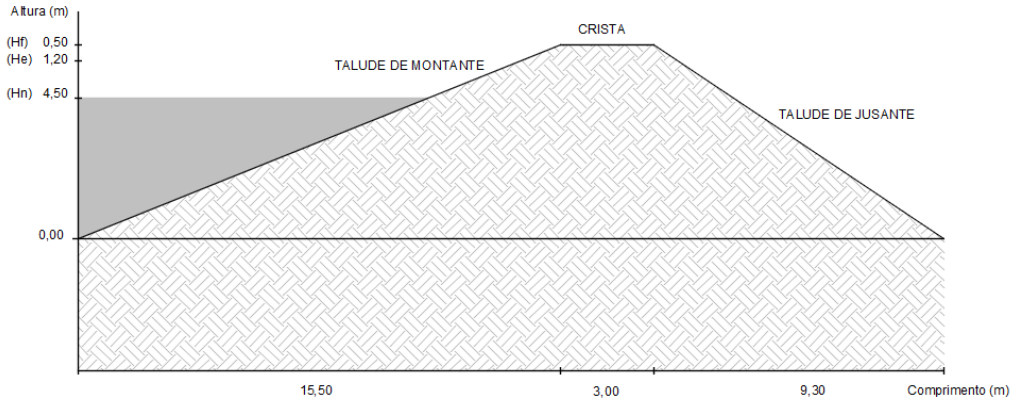
A Vazão que passará pelo desarenador (Q) será de 101,3 l/s ou 0,1013 m³/s, de acordo com o cálculo abaixo.

$$Q = \frac{122.000}{86400\ .\ 30} + 0{,}0542$$

$$Q = 101{,}3\ l/s$$

A FIG. 06 representa o perfil hipotético que foi dimensionado com seus respectivos elementos e suas medidas.

FIGURA 06 - Perfil hipotético dimensionado.



Fonte: Elaboração própria

TABELA 06 – Valores encontrados dos elementos da barragem em estudo e valores dimensionados no perfil hipotético.

ELEMENTO	DIMENSÕES ENCONTRADAS (m)	DIMENSÕES CALCULADAS (m)
ALTURA NORMAL (Hn)	4,5	4,5
ALTURA DE ENCHENTE (He)	1,00	1,20
ALTURA DE FOLGA (Hf)	0,50	0,50
ALTURA TOTAL (Ht)	6,00	6,20
TALUDE DE MONTANTE (M)	3,61	15,50
TALUDE DE JUSANTE (J)	5,31	9,30
CRISTA	4,20	3,00
LARGURA DA BASE DO MACIÇO	13,12	27,80
ALTURA DO EXTRAVASOR (Hext)	NÃO EXISTE	1,20
COMPRIMENTO DA BASE DO EXTRAVASOR (Lext)	NÃO EXISTE	14,64
COMPRIMENTO DO DESARENADOR	13,5	30,80
DIAMETRO DO DESARENADOR	0,15	0,20
ALTURA DO MONGE	4,50	4,50

LARGURA DOS LADOS DO MONGE	1,25 X 1,35	1,20 X 1,20
ESTRUTURA IMPERMEÁVEL	INEXISTENTE	-

Fonte: elaboradopelo autor

3.1Talude de montante e talude de jusante

A inclinação natural dos taludes é uma peculiaridade do material utilizado – a terra. Desta forma obtém se inúmeros benefícios como: facilidade na construção; menor quantidade de terra; menos mão de obra e maquinários; maior estabilidade ao talude, uma vez que a água acumulada exerce esforços na barragem, menor na superfície e maior próximo a fundação; compactação do maciço proveniente de forças verticais; diminuição da linha de saturação, que nada mais é que a parte umedecida do maciço, causado pelo fluxo contínuo de água através do mesmo.

Portanto com o talude mais inclinado pretende se evitar que a linha de saturação caia fora da barragem, ocasionando aos poucos pequenos desmoronamentos no talude de jusante. Para altura entre 5 e 7,5 m, considerar 2,5:1 de inclinação para o talude de montante, e 1,5:1 de inclinação para talude de jusante de acordo com a TAB. 07.

TABELA 07 - Inclinação dos taludes em função da altura total da Barragem de Terra.

Altura da barragem (m)	Inclinação do talude de montante (M)	Inclinação do talude de jusante (J)
até 5	2,0:1	1,5:1
entre 5 e 7,5	2,5:1	1,5:1
entre 7,5 e 10	2,5:1	2,0:1

Fonte: Lopes e Lima, 2005

Tanto o de montante quanto o de jusante apresentam aparente desacordo em sua inclinação. Realizada medições, o talude de montante apresentou 3,61 metros e o talude de jusante 5,31 metros, conforme TAB. 06. Nota-se que ambas inclinações estão em proporções menores que 1:1. De

acordo com a TAB. 08, em função da altura da barragem, as proporções mínimas deveriam ser de 2,5:1 para o talude de montante e 1,5:1 para o talude de jusante. Considerando a altura da barragem e a inclinação sugerida, o perfil hipotético apresenta valor mínimo para o talude de montante igual a 15,50 metros, e talude de jusante igual a 9,30 metros, medidos horizontalmente, conforme apresentados na TAB. 06. Em solução faz-se necessário uma nova marcação e aterramento de ambos os taludes até que atinjam comprimento e inclinação recomendada.

3.2 Desarenador

O desarenador da barragem em estudo trata-se de um tubo de PVC com 13,12 metros de comprimento e 0,15 metros de diâmetro. O mesmo tem início no talude de montante e fim exatamente na extremidade do talude de jusante. Recomenda se que o mesmo possua uma distância mínima de 3,00 metros do talude de jusante, possuindo também uma caixa dissipadora afim de evitar infiltração e posterior erosão no talude da barragem.

O comprimento do desarenador (Ld) deverá apresentar 30,80 m e diâmetro (D) do mesmo de 200 mm de acordo com os cálculos abaixo.

$$L_d = 15{,}50 + 9{,}30 + 3{,}00 + 3{,}00$$

$$L_d = 30{,}80$$

$$\mathrm{D} = \frac{276{,}4496\ .\ 0{,}4169}{6{,}1672}$$

$$D = 18{,}68\ mm\ ou\ D = aprox.20\ mm$$

Diante estes resultados nota-se que o diâmetro do desarenador da barragem analisada não está de acordo com o mínimo indicado. Como solução é necessário a troca da tubulação com novo comprimento e diâmetro. Sugere também ao seu final construir uma caixa dissipadora. É indicado ainda o enrocamento, com pedras, no pé do talude de jusante para que se evite erosão e desmoronamento devido à percolação de água através do maciço de terra.

3.3 Núcleo impermeável

Na barragem analisada não foi possível averiguar a existência de um núcleo impermeável interno, mas devido ao tipo de solo, argiloso, é dispensável este tipo de estrutura, pois esta se faz necessário quando a barragem é construída sobre bancos de areia ou o solo predominante é arenoso. Porém aconselha-se que seja feito um núcleo impermeável externo no talude de montante, pois o mesmo não possui nenhum revestimento, e apresenta grande deterioração por conta da água da represa.

3.4 Extravasor

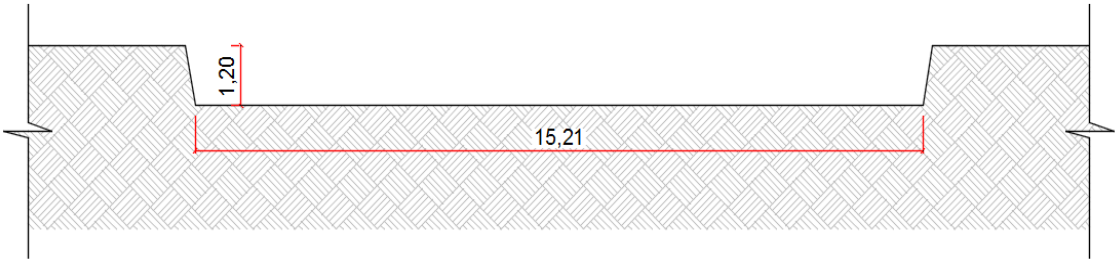
O extravasor é um dos elementos mais importantes em relação a segurança da barragem, pois permite o escoamento da vazão de enchente (FAO, 2011).

A barragem analisada não possui o extravasor, portanto não existem dimensões para este elemento. A inexistência deste, assim como seu incorreto dimensionamento, é um dos principais fatores do rompimento de barragens de terra, uma vez que na incapacidade de escoar toda água de chuva ocorre o transbordamento e consequentemente o rompimento da barragem. Em análise no local de construção da barragem, por se tratar de um local estreito e elevado,optou se no perfil hipotético por um extravasor sobre a barragem. Neste caso, foi considerado 1,20 metros de altura e de acordo com o cálculo abaixo uma base com 14,64 metros, como mostrado na FIG. 07.

$$L_{ext} = \frac{29{,}8}{1{,}55\ X\ 1{,}20X\ \sqrt{1{,}20}}$$

$$L_{ext} = 14{,}64\ m$$

FIGURA 07 - Extravasor de águas do perfil hipotético, com o comprimento de sua base e altura indicada em metros.



Fonte: Elaboração própria

Nestas circunstancias o extravasor deverá ser revestido de concreto para evitar que a água deteriore o maciço de terra.

4 Considerações finais

As pequenas barragens de terra atendem satisfatoriamente obras menores destinadas às atividades como piscicultura, irrigação, agropecuária, geração de energia em pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e abastecimento de pequenos centros urbanos ou povoados rurais, por exemplo. Isso possuindo menor custo, uma vez que sua demanda por mão-de-obra e material é menor que as demais formas construtivas. Por se tratar de estruturas mais simples, costumam ser menos monitoradas, durante e após sua construção. Porém, as mesmas exigem o cumprimento de certos requisitos mínimos que garantem sua segurança, o que implica na necessidade de seu correto dimensionamento. Havendo indícios de que a barragem estudada apresentava dimensionamento incorreto, foi feito uma comparação com um perfil dimensionado em conformidade com o sugerido pela literatura. Tanto os taludes de montante quanto o de jusante apresentaram inclinações maiores que as recomendadas para sua estabilidade. Para atender aos critérios mínimos de segurança seria necessário um acréscimo de 11,89 metros na base montante do maciço. Isso se faz necessário para rebaixar alinha de saturação e evitar que a água que infiltra no maciço consiga percolar para jusante, provocando desmoronamento da barragem. Já o talude de jusante da barragem em estudo apresentou inclinação parecida com a do talude de montante. Para ajuste fez se necessário o acréscimo do talude a jusante em 3,99 metros. Já a crista

apresentou um dimensionamento satisfatório e até superior ao necessário, podendo ter havido economia de material neste ponto.

O desarenador da barragem, constituído de tudo PVC, apresentou comprimento de 13,12 metros e 150 mm de diâmetro. Para adequações, de acordo com o perfil hipotético dimensionado foram acrescidos 17,68 metros, além do aumento do diâmetro para 200 mm. Este aumento se deu pelo fato de ambos os taludes, de montante e jusante terem suas medidas aumentadas, além de um prolongamento do desarenador de 3,00 metros de comprimento a jusante da barragem. Desta forma assegura- se que a água que sai da barragem não acarretará nenhum dano à sua estrutura.

O monge apresenta medidas dos lados iguais a 1,25x 1,35 metros, sendo tais medidas aceitáveis para estruturas com tal altura normal. No perfil hipotético foi dimensionado um monge com os valores mínimos aceitáveis para seus lados, 1,20 x 1,20 metros.

No perfil analisado não foi verificado a existência do extravasor. Esta estrutura foi dimensionada no perfil hipotético com altura igual a 1,20 metros e comprimento igual a 15,21 metros. Considerando o local onde foi construída a barragem analisada, foi sugerido que para o extravasor fosse utilizada uma estrutura de concreto sobre a barragem.

Não foi possível verificar a existência de um núcleo impermeável na barragem analisada.

Assim pode afirmar que na construção de uma pequena barragem de terra, independente do seu uso, deve priorizar a sua segurança. Nota se que na maioria das vezes provavelmente por falta de conhecimento o correto dimensionamento das estruturas é negligenciado, quando na verdade a solução é fácil e de baixo custo. O correto dimensionamento e cuidados simples durante a construção são a única forma de evitar o rompimento da barragem e consequentemente todos os danos e prejuízos sociais e ambientais que este tipo de acidente causa.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, D. de. **Barragens:** uma introdução para graduandos. Campinas: Unicamp, 2011. Paginação irregular. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~persio/Apostila_Barragens_FEAGR_2011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

EUCLYDES, H. P. **Atlas digital das águas de Minas:** uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. Não paginado. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html>. Acessoem 10 jun. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Manual sobre pequenas barragens de terra:** guia para localização, projeto e construção. Roma: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/014/ba0081p/ba0081p.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

LOPES, J. D.; LIMA, F. Z. de. **Construção de Pequenas Barragens de Terra.** Viçosa, CPT, 2005. 274p.

LOPES, J. D. S. e LIMA, F. Z. de. **Construção de Pequenas Barragens de Terra.** Viçosa: CPT, 2008. 274p.

MASSAD, F. **Obras de terra:** curso básico de Geotecnia. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

RIBEIRO, R. P. Espécies exóticas. In: MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L.

RIBEIRO, R. P.; ZIMMERMAN, S. **Fundamentos da moderna aquicultura,** Canoas: ULBRA, 2001, 190p.