



# Análise do Assoreamento da Barragem de Terra do Lago Aratimbó no Município de Umuarama com Vista a Vida Útil e suas Possíveis Causas

## *Analysis of the Silting of the Aratimbó Lake Dam in the Municipality of Umuarama With a View to the Useful Life and its Possible Causes*

Alexandre de Castro Salvestro

Angela Maria Picolloto

Lucídio Molina Filho

Jean Paulo Silva Natal

Aurélio Louza Argenton

Wanderson Lima de Matos

**Resumo:** Neste trabalho é apresentado o cálculo de vida útil do lago Aratimbó no município de Umuarama os quais são formados por barragens, onde são construídas de forma a represar volumes de água formando lagos artificiais com objetivo de utilização desse volume para recreações, abastecimento e outros fins. Essas construções podem ser feitas com diversos métodos, sendo o mais usual a barragem de terra, o mesmo possui uma vida útil que pode ser influenciada pelo assoreamento, assim podendo ser quantificado através de métodos sedimentológicos. Para se determinar o tempo de vida útil do lago foi utilizado o método da equação básica para o cálculo do volume de sedimentos retido no reservatório, para esse método foi levantados dados em campo, análise em laboratório, utilização de ábacos e equações simplificadas relacionadas ao método da equação básica para se quantificar a entrada de sedimentos no lago, sendo calculado a vida útil de 149 anos.

**Palavras-chave:** barragem de terra; assoreamento; vida útil.

**Abstract:** This work presents the calculation of useful life of the Aratimbó lake in the municipality of Umuarama, which are formed by dams, where they are constructed in order to repress water volumes forming artificial lakes with the objective of using this volume for recreation, supply and other purposes. These constructions can be made with several methods, the most common being the earth dam, it has a useful life that can be influenced by the silting, thus being able to be quantified through sedimentological methods. To determine the useful life of the lake, the basic equation method was used to calculate the volume of sediment retained in the reservoir. For this method, field data, laboratory analysis, abacus utilization and simplified equations related to the method of the basic equation to quantify the entrance of sediments in the lake, and a useful life of 149 years is calculated.

**Keywords:** earth dam; silting; shelf life.

## INTRODUÇÃO

Barragens são construídas com o objetivo de represar um determinado volume de água formando lagos artificiais. Essa técnica é empregada para irrigação,

produção de energia elétrica, abastecimento de água, regularização de rios e vazões criando também um lugar de recreação e lazer (Comite Brasileiro De Barragens, 2013).

Com o passar do tempo à tecnologia dessas construções evoluíram gradativamente e hoje são diferenciadas por dois grupos, as barragens não convencionais que são construídas de gabião (gaiola), madeira e alvenaria de pedra. E no outro grupo barragens convencionais que são as mais utilizadas como as barragens de concreto, enrocamento, mista e barragens de terra (Costa, 2012).

Barragens de Terra são aquelas em que a estrutura é principalmente constituída por solo ou enrocamento. O solo é habitualmente utilizado como matéria prima para construção deste tipo de obras, sendo utilizado o material da própria área, assim tornado do ponto de vista ambiental, menos agressivas do que as de concreto (Quintas, 2002).

As barragens de terras possuem algumas vantagens, segundo Costa (2001) a grande vantagem das barragens de terra comparadas com as outras é que podem ser executadas sobre quase todo tipo de fundação. São parcialmente baratas e não exigem mão de obra qualificada, sendo então a barragem de terra a forma de represagem habitual.

Para um melhor entendimento dessas estruturas descrevem-se os elementos que compõe essas obras, partindo da fundação que é construída no eixo da barragem podendo ser de roxa ou feita com solo melhorado. Sobre a fundação tem-se o núcleo que poder ser de solo com predominância de argila ou também diafragma de concreto, o mesmo tem objetivo de impedir a passagem da água, esse núcleo é envolvido pela crista e pelos taludes a montante e a jusante. Mesmo com todo esse processo de construção essas barragem possui uma determinada vida útil a qual é afetada pelo assoreamento (Euclides, 2011).

O assoreamento é um processo de acúmulo de partícula de solos e outros tipos de detritos, com isso pode haver um transbordamento de rios e lagos por não possuir mais o volume inicial devido ao acúmulo de partículas. A vida útil média dos reservatórios existentes no mundo decresceu de 100 para 22 anos (Mahmood, 1987), já no Brasil, a perda anual de volume dos reservatórios, é de aproximadamente 0,5% (Carvalho, 2008).

Segundo Guerra *et al.* 1995, o processo de assoreamento de uma bacia hidrográfica está ligado com erosões, pois é a partir dela que os elementos causadores do assoreamento aparecem. Quando já não se tem mais energia para arrastar essas matérias começam a se acumular, de forma a gerar consequência na vazão extravazora do reservatório.

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise do assoreamento da barragem de terra do lago aratimbó no município de Umuarama com vista a sua vida útil.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Barragens de Terra

Segundo Costa (2012), as barragens de terra são as mais elementares obras de barragens e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos construídos de materiais incosolidados. Esses últimos, aliás, é seu campo típico de aplicação. Existe certa variabilidade no tipo de barragem de terra, que poderá ser homogêneo ou zonado.

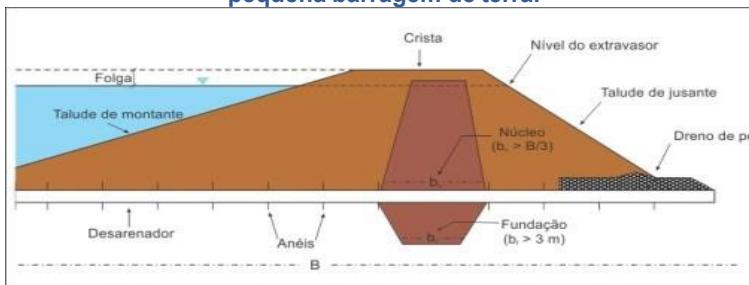
Segundo Maragon (2004), as barragens homogêneas se classificam como sendo aquele composto de uma única espécie de material, excluindo-se a proteção dos taludes. Nesse caso, o material necessita ser suficientemente impermeável, para formar uma barreira adequada contra a água e os taludes precisam ser relativamente suaves, para uma estabilidade adequada.

Já Massad (2003) relata que as barragens zonada são construída com um único solo de empréstimo, mas compactado em condições diferentes de umidade, o que confere ao solo características geotécnicas diferentes. Trata-se de uma otimização da seção de uma barragem de terra, para tirar partido das características do solo seco, usado nos espaldares, onde se deseja mais resistência (estabilidade) e do solo úmido, no núcleo, onde se quer baixa permeabilidade (estanqueidade).

### Principais elementos de uma barragem de terra

Segundo Euclides (2011) os principais elementos de uma barragem de terra são exemplificados de acordo com a Figura 1, sendo: Fundação, Núcleo central, Drenos, Desarenador, Altura da barragem, Sistema extravasor e Taludes do maciço.

**Figura1- Representação esquemática dos elementos básicos de uma pequena barragem de terra.**



**Fonte:**[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplosaplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplosaplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html) (2017).

### Fundação

A fundação da barragem, no caso de ser constituída por materiais permeáveis, ou seja, matérias passíveis de permitir a circulação da água devem ser tratadas de forma a que sejam melhoradas as suas características, de forma a que possa cumprir

as funções que dela se pretendem, que são as de suportar as cargas transmitidas pelo aterro e de diminuir a percolação da água de montante para jusante (Quintas, 2002).

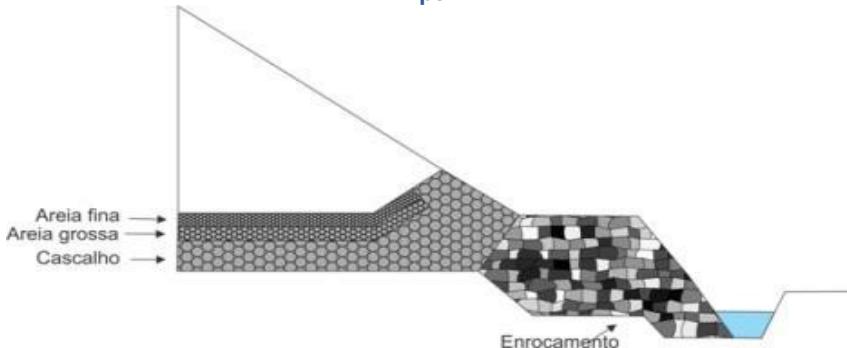
## Núcleo central

Quando o material disponível para construção do maciço ou aterro não é bom (material homogêneo com predominância de argila), ou ainda, havendo uma camada arenosa permeável no leito do local é imprescindível à construção de um núcleo central com predominância de argila que intercepte a trajetória da água. Pode-se também, ao invés do núcleo central, utilizar diafragma de concreto (simples ou armado), principalmente se a fundação for constituída de rocha. Para projetar pequenas barragens, dado que a trincheira de vedação pode ser aberta manualmente ou por maquinaria pequena, não é necessário que exceda 2 m de largura. Para barragens maiores, as trincheiras de vedação podem ser abertas com ajuda de bulldozer ou pá de arrasto, necessitando de uma largura, normalmente 4 m, que permita o acesso. A profundidade da trincheira de vedação deverá ser aquela até que se atinja boa fundação (rocha sólida ou camada impermeável do subsolo) ou até pelo menos 0,75 vezes a altura do aterro (Euclides, 2011).

## Drenos

O objetivo dos drenos é o de rebaixar a superfície freática no interior do aterro para evitar que a água emerja na face de jusante onde fluxos erosivos e de absorção podem causar o abatimento do material e por em perigo toda a estrutura. Estes são essenciais quando os riscos de percolação são considerados altos (Stephens, 2011). Os drenos estão representados na Figura 2.

**Figura 2 – Detalhe de um dreno horizontal, conjugado com um dreno de pé.**

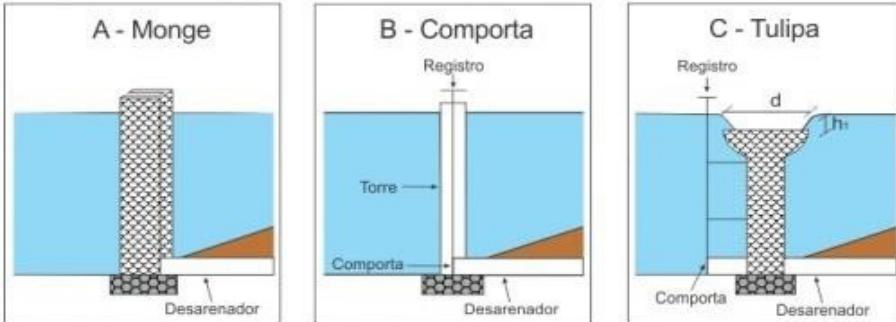


Fonte: [http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensao\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensao_barragens.html) (2017).

## Desarenador

Objetiva principalmente a eliminação dos depósitos do fundo e ao esvaziamento do reservatório (Euclides, 2011). São usais três tipos conforme Figura 3.

Figura 3 – Tipos de desarenador.



Fonte: [http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html), 2017.

## Altura da Barragem

A altura de uma barragem é a distância considerada da fundação até a crista, elas podem ser consideradas como barragem de grande porte com altura superior a 15 m e de pequeno médio porte com alturas entre 10 e 15 m. (Massad, 2003).

## Sistema extravasor

Segundo Souza, (1999) sistema extravasor é uma obra projetada e construída com o objetivo de escoar o excesso d'água acumulado pelo reservatório, evitando o risco do nível d'água atingir a crista da barragem.

## Taludes do maciço

São as faces laterais e inclinadas, paralelas ao eixo do maciço sendo, talude de montante o lado que fica em contato com a água, e, jusante, o do outro lado, sem contato com a água. O talude de montante deve ser mais inclinado que o de jusante, para permitir a maior estabilidade do aterro, devido ao decréscimo da componente horizontal da força, que tende de empurrar o maciço da barragem. Recomenda-se inclinações de 2,5:1 e 2:1 para os taludes de montante e jusante, respectivamente (Euclides, 2011).

## Vida útil

Como toda obra de engenharia, uma obra de barramento possui uma vida útil que considera todo o seu período de utilização, na hipótese de um dia vir a tornar-se inaproveitável para o objetivo que nortearam sua construção (Costa, 2012).

Uma barragem deverá ser normalmente encontrada nas suas melhores condições imediatamente depois da construção. Para mantê-la em boas condições é muito importante que a manutenção seja feita regularmente (Stephens, 2011).

A manutenção deve ser essencialmente direcionada ao controle da percolação (passagem de um líquido por uma substância porosa para remoção de suas partes solidas) e erosão, a fim de prevenir-se a deterioração do maciço e/ou fundação, e o desenvolvimento de caminhos preferenciais de percolação (Departamento De Projetos E Obras Hídricas – DPOH 2002).

Ainda segundo DPOH (2002) dentro da manutenção de estruturas de aterro tem- se, manutenção da crista e do enrocamento, controle da vegetação até as tocas de animais, estabilidade de taludes, manutenção dos sistemas de drenagem e a remoção de entulhos a montantes.

## Sedimentação e Assoreamento

A construção de uma barragem e a formação do seu reservatório normalmente modifica as condições naturais do curso d’água. Em relação ao aspecto sedimentológico, as barragens geram uma redução das velocidades da corrente provocando a deposição gradual dos sedimentos carregados pelo curso d’água, ocasionando o assoreamento, diminuindo gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório e podendo vir a inviabilizar a operação do aproveitamento, além de ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas (ANEEL, 2000).

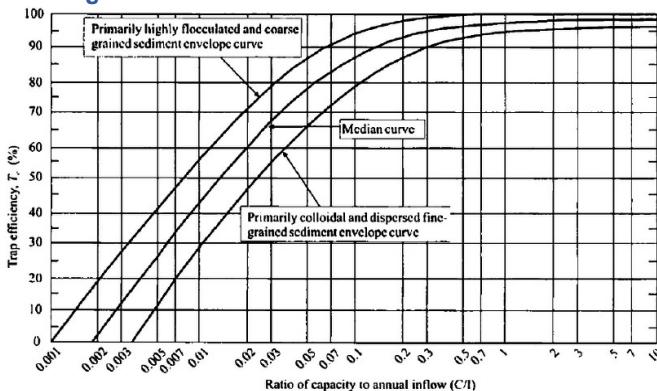
O estudo de assoreamento de reservatórios é muito importante e tem um fim prático, que é saber em quanto tempo o reservatório ficará cheio de sedimentos. Quando se dimensiona um reservatório tem-se que prever o assoreamento, pois, o mesmo sempre acontecerá. Poderá ser de uns 30 anos ou acima de 300 anos, mas sempre existirá (Tomaz, 2013).

## Previsão do assoreamento de reservatórios

A avaliação do assoreamento de um reservatório pode ser estimada através de vários métodos, mas o mais fácil de ser utilizado é sem dúvida o Método de Brune que fornece uma relação adimensional  $C/I$ , mas para isto deve-se ter o volume do reservatório “C” em metros cúbicos e o runoff “I” também em metros cúbicos. (Tomaz, 2013).

## Método de Brune

Ainda segundo Tomaz (2013) Brune, relacionou a relação adimensional  $C/I$  como base do seu método de acordo com a Figura 4. Entende-se que  $C$  é o volume do reservatório e que  $I$  é o volume anual, é causada pelo runoff na bacia.

**Figura 4 – Curva de Brune elaboradas em 1953.**

Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/283501018\\_fig1\\_Fig-4-sediment-trapping-efficiency-as-per- Brune-1953. \(2017\).](https://www.researchgate.net/figure/283501018_fig1_Fig-4-sediment-trapping-efficiency-as-per- Brune-1953. (2017).)

Subramanyan (2008) calculou analiticamente as curvas de Brune na seguinte equação:

$$\eta = K \ln (C/I) + M$$

Sendo:

$\eta$  = eficiência de detenção em porcentagem

$C/I$  = relação Capacidade do Reservatório em m<sup>3</sup> / runoff anual (m<sup>3</sup>)

K e M : coeficientes que dependem da relação C/I conforme Tabela 1

ln = logaritmo neperiano

**Tabela 1 - Valores de K e M dependente de C/I.**

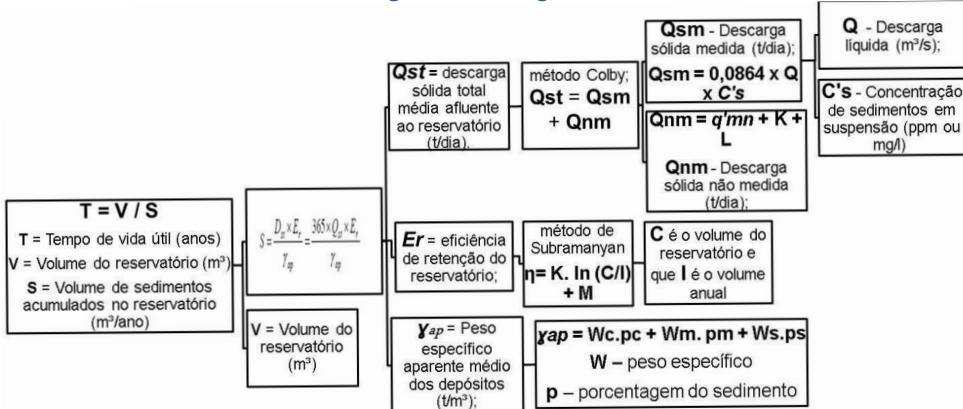
C/I	K	M
0,002 a 0,03	25,025	158,61
0,03 a 0,10	14,193	119,30
0,10 a 0,70	6,064	101,48

Fonte: Tomaz, 2013.

## METODOLOGIA

A metodologia proposta seguirá o fluxograma demonstrado logo abaixo.

Figura 9 - fluxograma.

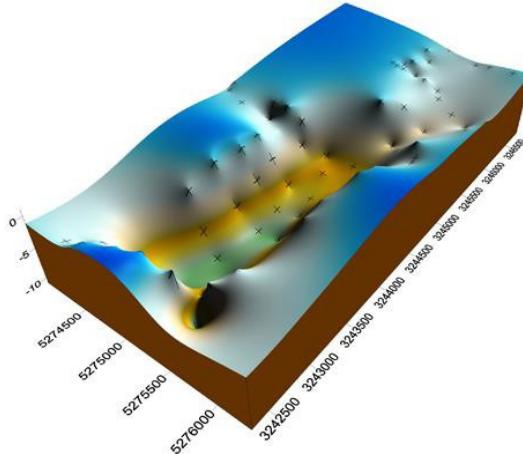


Fonte: autoria própria.

### Estimativa do volume real

É necessário estimar o volume real do lago, pois o mesmo, não é encontrado em informações técnicas ou particulares pelos órgãos responsáveis, o mesmo será determinado com o auxílio do software Surfer, este programa requer um arquivo em excel construído a partir de coordenadas levantadas por batimetria (localização X, localização Y e profundidade Z sendo este negativo). Encontrado o volume real conforme Figura 5 ilustrativa do software, se dará o seguimento ao trabalho estimando o assoreamento.

Figura 5 – Gráfico de volume gerado pelo Surfer.



Fonte: <https://geotecnologias.wordpress.com/2011/10/14/calculo-de-volume/> (2017)

## Determinações do assoreamento

Para a determinação do assoreamento se utilizará a equação básica para o cálculo do volume retido no reservatório citada por Costa (2012), que segue:

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times Q_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}}$$

Onde:

$S$  = volume de sedimento retido no reservatório ( $m^3\text{ano}^{-1}$ );

$D_{st}$  = deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório ( $t\text{ano}^{-1}$ );

$Q_{st}$  = descarga sólida total média afluente ao reservatório ( $t\text{dia}^{-1}$ );

$E_r$  = eficiência de retenção do reservatório;

$\gamma_{ap}$  = Peso específico aparente médio dos depósitos ( $tm^{-3}$ );  $Q$

### Determinação da descarga sólida total média afluente ( $t\text{dia}^{-1}$ ) ( $Q_{st}$ ):

Para se determinar a descarga sólida total media afluente será utilizado o método simplificado desenvolvido por Colby, em 1957, esse método utiliza três ábacos.

Neste método, a descarga sólida total é calculada somando a descarga sólida medida com a descarga sólida não medida, demonstrado pela seguinte equação:

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm}$$

$$Q_{sm} = 0,0864 \times Q \times C's$$

$$Q_{nm} = q'mn \times K \times L$$

$Q_{st}$  - Descarga sólida total dia ( $t\text{dia}^{-1}$ );

$Q_{sm}$  - Descarga sólida medida ( $t\text{dia}^{-1}$ );

$Q_{nm}$  - Descarga sólida não medida ( $t\text{dia}^{-1}$ );

$Q$  - Descarga líquida ( $m^3\text{s}^{-1}$ );

$K$  - Fator de correção;

$L$  - Largura do canal na seção de medição (m).

### Descarga sólida medida ( $t\text{dia}^{-1}$ ) ( $Q_{sm}$ ):

#### Descarga líquida ( $m^3\text{s}^{-1}$ ) ( $Q$ ):

A vazão de entrada será encontrada a partir da área de contribuição, que será delimitada pelo mapa planialtimétrico fornecido pela prefeitura de Umuarama em relação com a precipitação anual.

**Concentração de sedimentos em suspensão (ppm ou mgl<sup>-1</sup>) (C's ):**

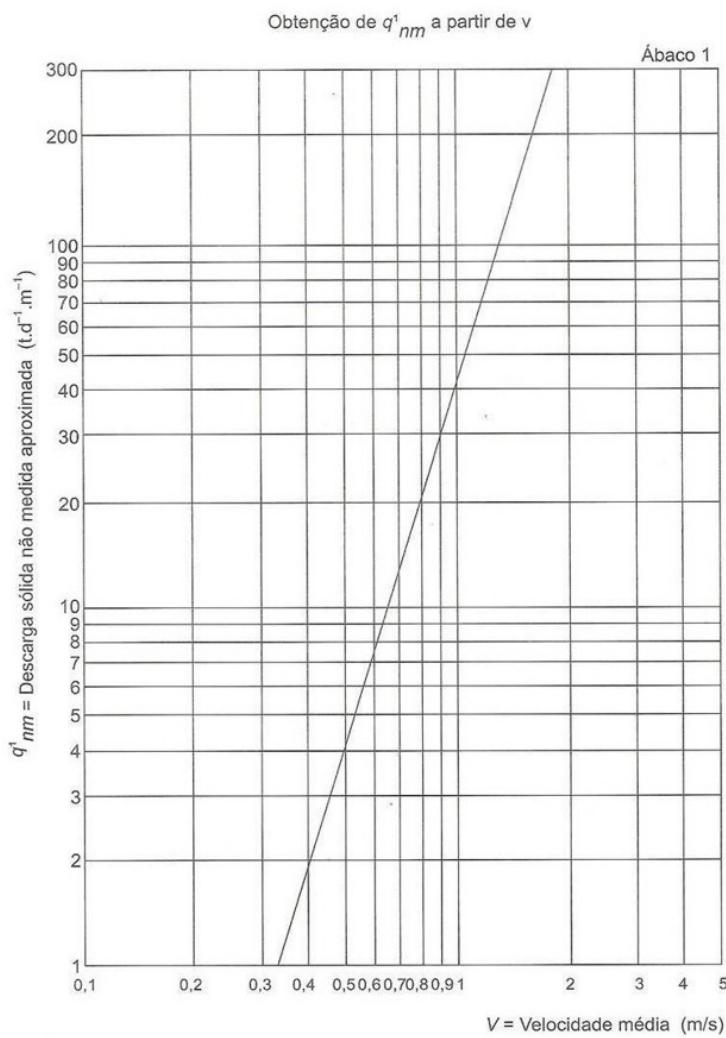
Esse dado será determinado com ensaios feitos em laboratório seguindo a norma técnica interna SABESP NTS 013 1999 item 6.2 Sólidos em Suspensão Total, Fixos e Voláteis.

**Descarga sólida não medida aproximada (tdia<sup>-1</sup>) ( $Q_{nm}$ ):**

A descarga sólida não medida será estimada através dos ábacos apresentados nas Figura 6 a Figura 8, a partir dos dados de velocidade média ( $m s^{-1}$ ) o qual será levantado a campo, da profundidade média (metros), da concentração medida (ppm ou  $mgl^{-1}$ ) e da largura da seção (metro) seguindo os seguintes passos:

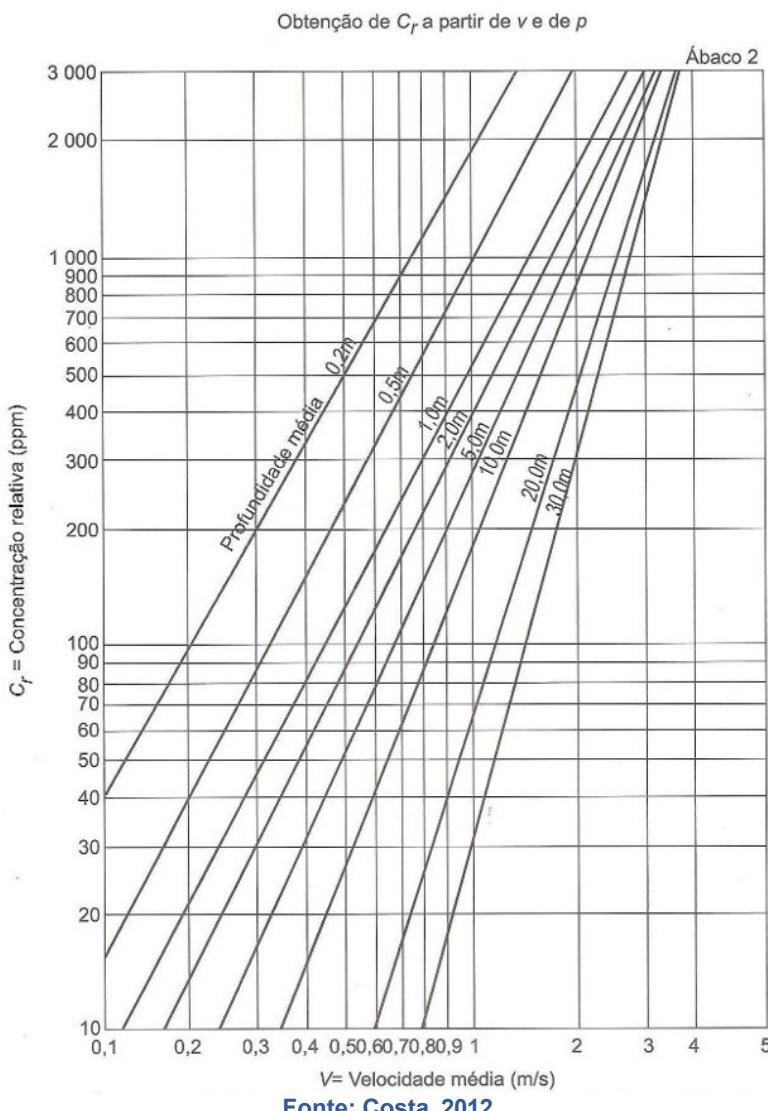
1. - Será encontrado a descarga sólida não medida aproximada, por unidade de largura,  $q'nm$ , do ábaco 1 com o dado de velocidade média;
2. - Será encontrado a concentração relativa,  $Cr$ , do ábaco 2 a partir da velocidade média e da profundidade média;
3. - Será calculado a razão de eficiência:  $C's/Cr$ ;
4. - A partir de  $C's/Cr$ , obtém-se no ábaco 3 o fator de correção  $k$  na linha média 1;
5. - Será calculado a descarga sólida não amostrada pelo produto de  $q'nm$ , pelo fator de correção  $K$  e pela largura de seção  $L$ :  $Q_{nm} = q'nm \times L \times K$ . Os ábacos se encontram na sequência:

**Figura 6 - Relação entre Descarga Sólida Não-Medida Aproximada e Velocidade Média.**

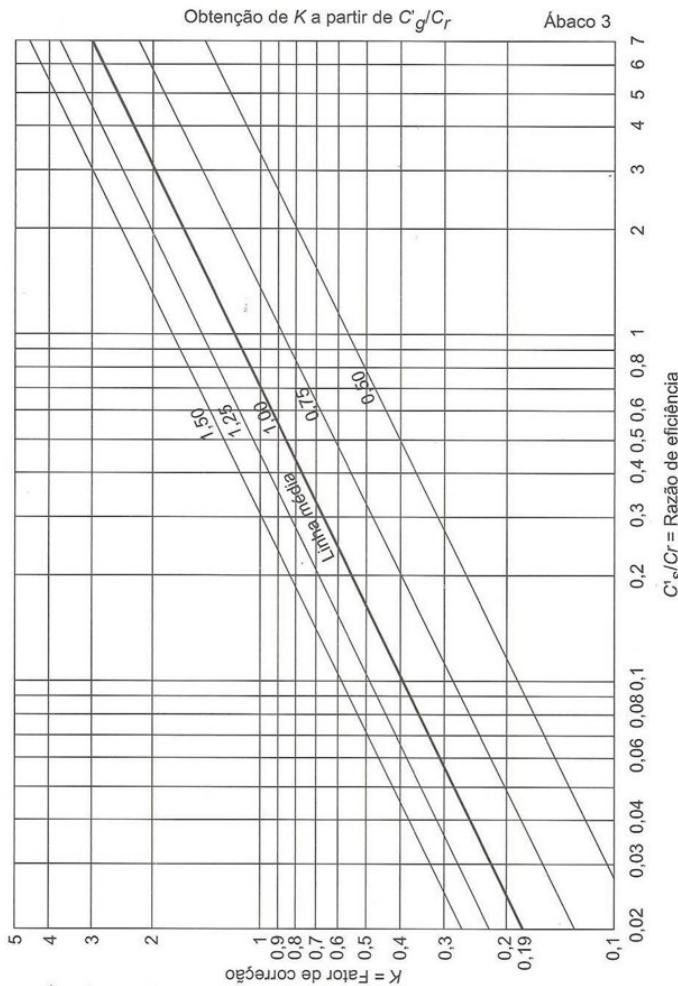


**Fonte: Costa, 2012.**

**Figura 7 – Relação entre Concentração Relativa, Velocidade Média e Profundidade Média.**



**Fonte:** Costa, 2012.

**Figura 8 – Relação entre Fator de Correção e Razão de Eficiência.****Fonte: Costa. 2012.**

### Eficiência de retenção do reservatório

Esse dado será determinado em uma relação adimensional  $C/I$  aonde  $C$  é o volume do reservatório e que  $I$  é o volume anual, pelo método de Subramanyan (2008):

$$\eta = K \cdot \ln(C/I) + M$$

Sendo:

$\eta$  = eficiência de detenção em porcentagem ou eficiência de retenção do reservatório  $E_r$ .

$C/I$  = relação Capacidade do Reservatório em  $m^{-3}$  runoff anual ( $m^{-3}$ )

$K$  e  $M$  : coeficientes que dependem da relação  $C/I$  conforme Tabela 1

$\ln$  = logaritmo neperiano

### Relação Capacidade do Reservatório em $m^{-3}$ runoff anual ( $m^{-3}$ ) ( $C/I$ ):

É uma relação adimensional onde  $C$  é o volume do reservatório e que  $I$  é runoff anual que será calculado, uma vez que o volume foi estimado pelo Surfer. Para estimar o runoff anual ( $I$ ) que chega no reservatório, será necessário calcular o coeficiente de runoff que é uma relação da somatória do runoffs mensais com a precipitação anual, segundo o procedimento Khosla, onde se determina primeiramente o runoff mensal:

$$R_m = P_m - L_m$$

Sendo:

$R_m$  = runoff mensal (mm) com a condição  $R_m \geq 0$     $P_m$  = precipitação mensal (mm)

$L_m$  = perdas mensais (mm)

$L_m = 0,48 \times T_m \times 10$  para  $T_m > 4,5^\circ C$     $T_m$  = temperatura média mensal ( $^\circ C$ )

Após calculado o coeficiente de runoff se multiplica com a precipitação anual encontrando o runoff anual ( $I$ ).

### Coeficientes que dependem da relação $m^3$ ( $C/I$ ):

Será utilizado a tabela 2 de Subramanya, que segue:

**Tabela 2 - Valores de  $K$  e  $M$  dependente de  $C/I$ .**

$C/I$	$K$	$M$
0,002 a 0,03	25,025	158,61
0,03 a 0,10	14,193	119,30
0,10 a 0,70	6,064	101,48

**Fonte: Tomaz, 2013.**

### Peso específico aparente médio ( $kgm^{-3}$ ) $\gamma_{ap}$

Para se determinar o peso específico aparente será utilizada a equação:

$$\gamma_{ap} = W_c.p_c + W_m.p_m + W_s.p_s$$

Sendo:

$\gamma_{ap}$  = peso específico aparente ( $kgm^{-3}$ )

$p_c$ ,  $p_m$ ,  $p_s$  = porcentagem de argila, silte e areia respectivamente dos sedimentos de entrada no reservatório, realizado por amostra laboratorial.

$W_c$ ,  $W_m$ ,  $W_s$  = peso específico inicial da argila, silte e areia respectivamente obtidos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Peso específico da argila, silte e areia conforme a operação do reservatório conforme Yang, 1986.**

Operação	Peso específico da Argila em (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico do Silte em (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico da Areia em (kg/m <sup>3</sup> )
1	416	1120	1550
2	561	1140	1550
3	641	1150	1550
4	961	1170	1550

**Fonte:** Tomaz, 2013.

Para se encontroar o tipo de operação utilizado na tabela 3, será necessário usar o procedimento conforme tabela 4.

**Tabela 4 - Operação de reservatórios conforme US Bureau of Reclamation, 1987.**

Operação	Operação do reservatório
1	Sedimentos submersos ou quase sempre submersos
2	Normalmente submersos com moderadas variações de nível
3	Reservatório normalmente vazio
4	Sedimentos no fundo do rio

**Fonte:** Tomaz, 2013.

## Estimativa da vida útil

Com os resultados encontrados estima-se o tempo de duração da barragens conforme a relação:

$$T = V / S$$

Onde:

T = Tempo de via útil do reservatório (anos)

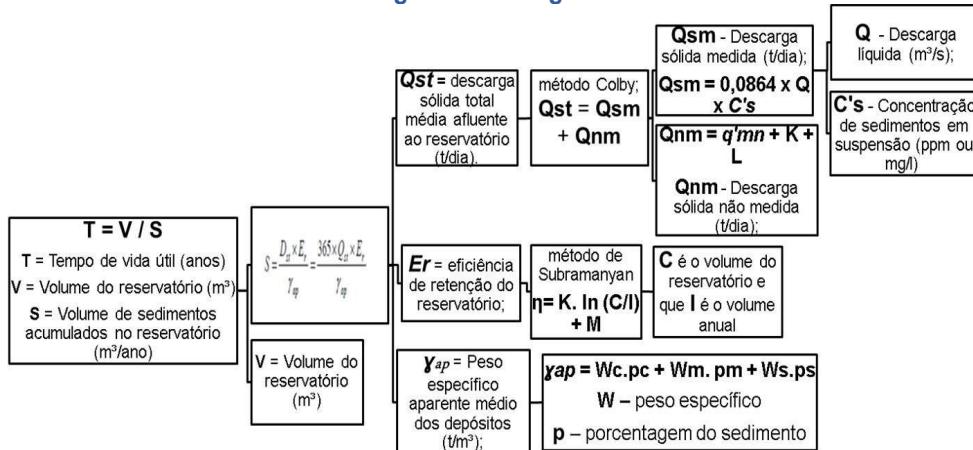
V = Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

S = Volume de sedimento armazenado no reservatório (m<sup>3</sup>ano-1)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões serão elencados de acordo com o seguimento do fluxograma demonstrado na figura 9.

Figura 9 - Fluxograma.



Fonte: autoria própria.

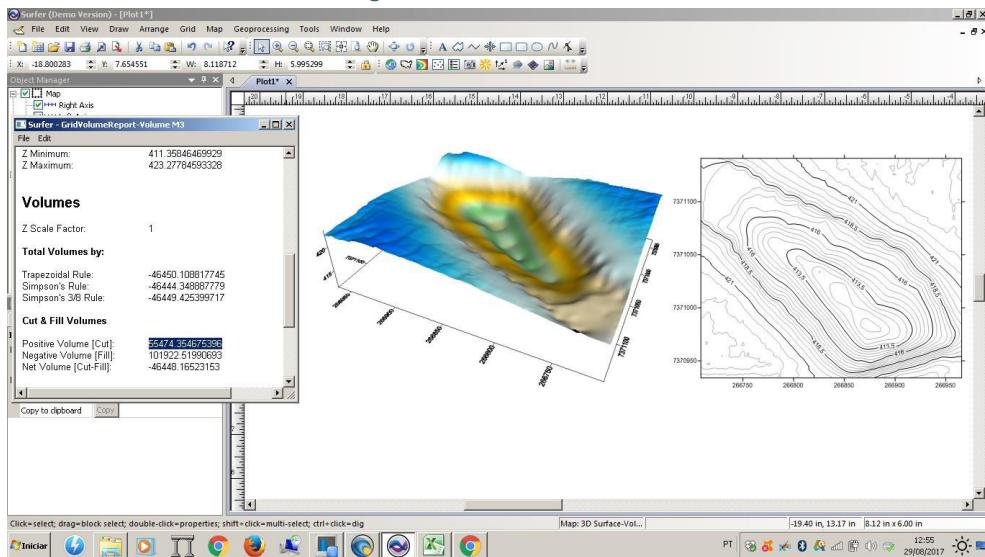
## Tempo de Vida Útil

O estudo descreve o tempo de vida útil do lago Aratimbó através de alguns procedimentos que foram seguidos através dos métodos de Colby, método simplificado Subramanya e Khosla que como já ressaltado são os método mais usuais, foi encontrado uma vida útil de 149 anos esse dado foi calculado para épocas de precipitação onde os aumentos de sedimentos que estão entrando tem um grande aumento e são nesses períodos que ocorrem o assoreamento visto que em períodos de seca as entradas de sedimentos são despreciáveis o mesmo não fez parte dos estudos, ressaltando que os dados obtidos descrevem uma vida útil para estações de precipitação, devido ao grande numero de variáveis é preciso alguns anos de pesquisa para aumentar a precisão.

## Volume atual do reservatório m<sup>3</sup>

Através de dados coletados a campo com batimetria, foi utilizado o software Surfer para se obter o volume atual, uma vez que este volume não foi encontrado nos registros dos órgãos competentes. Na Figura 10, encontra-se o perfil com o volume calculado de 55475 m<sup>3</sup>.

Figura 10 - software Surfer.



Fonte: autoria própria.

## Volume de sedimentos acumulados no reservatório ( $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ ) S

Os sedimentos acumulados foram calculados através da formula simplificada do volume de sedimentos retidos no reservatório demonstrado na figura 9, através de cálculos que foram feitos seguindo o fluxograma. Foi encontrado a quantidade de  $351,79 (\text{m}^3\text{ano}^{-1})$  de sedimentos acumulados, esse valor mostra a grande quantidade se sedimentos retidos em um ano, através dele consegue se ter uma dimensão do quanto sedimento esta entrando no reservatório, salvo que esse valor é referente apenas a períodos de precipitação.

**Descarga sólida total dia ( $\text{tdia}^{-1}$ )  $Q_{st}$ :**

Essa variável foi encontrada através de dois dados os quais são descarga solida medida  $Q_{sm}$  ( $\text{tdia}^{-1}$ ) que depende da vazão de entrada  $Q$  ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) e Concentração de sedimentos em suspensão (ppm ou  $\text{mgl}^{-1}$ ) ( $C_s$ ) os mesmos extraídos em campo os quais serão discutidos a seguir, também descarga solida não medida aproximada  $Q_{nm}$  ( $\text{tdia}^{-1}$ ) o mesmo encontrado através de 3 ábacos da figuras 6, 7 e 8 já demonstrados anteriormente, nos quais foram necessário as seguintes variáveis velocidade média, profundidade média, largura e área da seção.

No âmbito desse estudo foi preconizado apenas os períodos de precipitação onde na verdade ocorre o assoreamento, com isso conseguiu-se quantificar as entradas de sedimentos no reservatório, com os dados levantados foi encontrado para a bacia do lago aratimbó uma descarga de  $2,0 (\text{tdia}^{-1})$ .

**Descarga solida medida  $Q_{solid}$  (tdia $^{-1}$ ):**

A descarga solida medida se deu através dos dados de concentração de sedimentos em suspensão e vazão de entrada o mesmo foi encontrado com os dados de velocidade média do canal e seção do canal com uma entrada de 0,21 tdia $^{-1}$  de sólidos.

Para se obter a velocidade média foi delimitados uma distância de 4,5 metros no canal de entrada onde foi escolhido o trecho mais constante mostrado logo abaixo na figura 11, a partir do trecho delimitado foi extraído várias medidas de tempo para se obter o tempo médio, com a distância e o tempo medidos então foi calculado uma velocidade de entrada do canal de 0,11 ms $^{-1}$ .

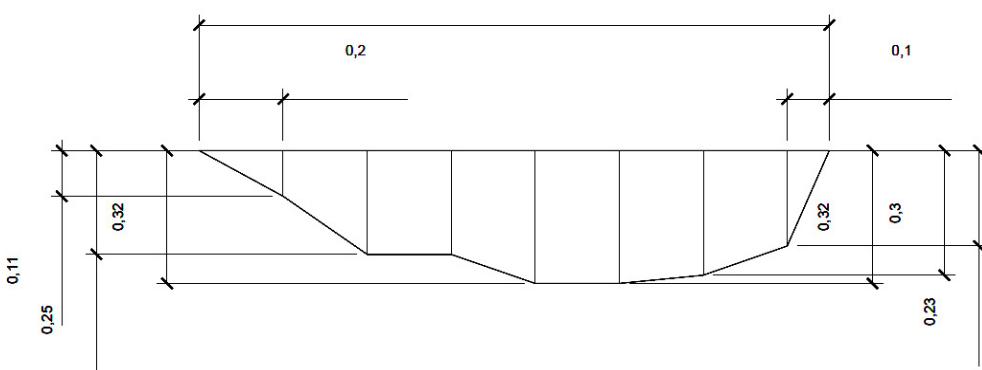
A velocidade foi encontrada logo após um dia de precipitação na região, o que pode alterar ao longo do tempo por depender da precipitação, no mesmo trecho delimitado foi medido vários pontos de profundidade e largura do canal ilustrado logo abaixo na figura 12 com objetivo de se obter a seção do canal. Com o auxílio do software Auto Cad foi calculado a área da seção a mesma com 0,3445 m $^2$ , com os dados de velocidade e a área da seção foi calculado uma vazão de 0,04 m $^3$ s $^{-1}$ , a qual depende da área de contribuição da bacia do canal e períodos de precipitação podendo haver grande diferença em períodos de grandes chuvas.

Para a variável sólidos em suspensão foi coletado a amostra do trecho onde esta se fazendo o estudo o mesmo foi encaminhado para laboratório para fazer análises, pois houve falta de equipamento pra seguir a metodologia com isso foi encontrado uma quantidade de 60 mgL $^{-1}$ , essa variável também pode variar muito com a precipitação podendo chegar a zerar a entrada de sedimentos em dias de secas.

**Figura 11 - Trecho de entrada do lago Aratimbó.**



**Fonte: autoria própria.**

**Figura 12 - Seção do trecho de entrada.**

Fonte: autoria própria.

### Descarga solida não medida aproximada $Q_{nm}$ (tdia $^{-1}$ ):

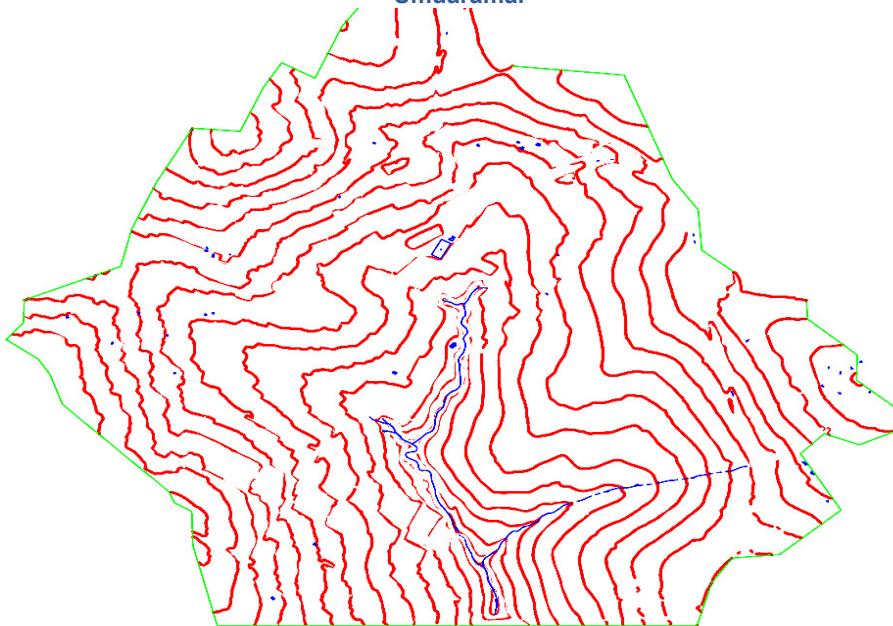
Essa variável foi encontrada se utilizando dos ábacos demonstrados nas figuras 6, 7 e 8. Para o primeiro ábaco utilizou-se a variável velocidade média ( $ms^{-1}$ ) para encontrar a descarga sólida não medida aproximada  $q'nm$ , para uma velocidade de  $0,11\ ms^{-1}$  foi encontrado um  $q'nm$  de 1 tonelada/dia/metro, a primeira variável do processo foi encontrada, para o mesmo com maiores velocidades, maior será a entrada de sedimentos o que dependeria de várias medidas ao longo do ano para se obter uma maior precisão, para o segundo ábaco demonstrado na figura 7, segue-se utilizando a velocidade média de  $0,11\ ms^{-1}$  e profundidade média 0,20 m variável essa que se encontrou através da média dos pontos coletados no canal de entrada, a partir dessas variáveis foi encontrado uma concentração relativa de sedimentos Cr de  $50\ mg\ l^{-1}$ , vale ressaltar que quando maior a precipitação maior a velocidade e por sua vez maior a entrada de sedimentos. Como são dados difíceis de quantificar apenas foi feito ensaios em época de precipitação onde ocorre maior entrada de precipitarão, a partir de C's/Cr, obtém-se no ábaco 3 da figura 8 o fator de correção  $k$  de 1,2 sendo o mesmo adimensional. Assim foi encontrado um  $Q_{nm}$  de  $1,8\ tdia^{-1}$ .

### Eficiência de retenção do reservatório $E_r$ :

Para o cálculo dessa variável foi necessário os dados do volume atual do reservatório  $55.475\ m^3$  já descrito anteriormente e o runoff anual ( $m^3\ ano^{-1}$ ) o mesmo foi calculado com a área de contribuição da bacia do lago Aratimbó demonstrado na figura 13 com cerca de  $2,79\ km^2$ , seguindo a metodologia proposta no estudo se utilizou a área de contribuição e o runoff de entrada o mesmo calculado com os dados de precipitação e temperatura da cidade de Umuarama de 2013 a 2016, foi calculado um runoff anual de  $1.315.959,3\ m^3\ ano^{-1}$  de vazão para a bacia do lago Aratimbó, com o volume do reservatório e o runoff anual foi encontrado a relação  $CI-1$  de 0,042 adimensional, com esse relação foi encontrado na tabela de

subramanya os coeficientes K 14,193 e M 119,30. Para o estudo do lago Aratimbó foi encontrado uma eficiência de 74, 31 %, ou seja, uma alta eficiência de detenção de sedimentos.

**Figura 13 - área de contribuição da bacia do lago Aratimbó de Umuarama.**



**Fonte:** autoria própria.

#### **Peso específico aparente médio ( $\text{kgm}^{-3}$ ) yap :**

Para se calcular o peso específico médio foi recolhido amostras em local de operação tipo 3 reservatório normalmente vazio descrito na tabela 4, com a amostra recolhida a mesma foi para a estufa para a secagem onde ficou 24 horas para a secagem do material, logo após foi pesado duas amostras de 1 kg para que fosse peneirada e pesada as porcentagem retidas acumuladas, após a vibração os sedimentos se deram nas seguintes peneiras conforme a tabela 5.

**Tabela 5 - Amostra retida acumulada.**

PENEIRA (mm)	Amostra 1 (kg)	Amostra 2 (kg)
1,180 mm	0,011 kg	0,007 kg
0,850 mm	0,002 kg	0,002 kg
0,600 mm	0,006 kg	0,006 kg
0,300 mm	0,351 kg	0,362 kg
0,180 mm	0,550 kg	0,548 kg
0,150 mm	0,046 kg	0,038 kg

PENEIRA (mm)	Amostra 1 (kg)	Amostra 2 (kg)
0, 125 mm	0,022 kg	0,022 kg
0,075 mm	0,009 kg	0,009 kg
0, 000 mm	0,003 kg	0,006 kg

**Fonte: autoria própria.**

Depois do ensaio se verificou que a maioria dos sedimentos estava na faixa de peneiras de granulometria de areia chegando ao peso específico aparente de 1,542 ton/m<sup>3</sup> sendo um peso muito próximo da areia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante as variáveis analisadas pode se obter a seguinte conclusão:

- Com os métodos de estudo foi encontrado a vida útil de 149 anos para o lago Aratimbó no município de Umuarama.

Volume de sedimentos acumulados no reservatório (m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup>) S:

- Os sedimentos acumulados resultaram em 351,79 m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup> para períodos de precipitação, sendo que o mesmo pode sofrer mudanças pois depende das variáveis de velocidade e vazão que possui um aumento em períodos de chuva.

Manutenção do reservatório:

- A vida útil do reservatório pode ser prolongada caso o órgão responsável promova manutenção com retiradas eventuais de sedimentos acumulados e conscientização ambiental dos proprietários na bacia hidrográfica.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas (2000)**. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios. Brasília DF

BERGA, L. et al. **As Barragens e a Água do Mundo: Um Livro Educativo que Explica como as Barragens Ajudam a Administrar a Água do Mundo**. Paraná: Texto Faz Comunicação, 2007. 64 p.

CARVALHO, N.O (2008). **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM/ Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS. 2. ed. Rio de Janeiro.

COMITE Brasileiro De Barragens. 2013. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/5->>. Acesso em: 25 de Abril 2017.

**COSTA, L, F. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Utilizados na Determinação de Taxas de Assoreamento de Reservatórios.** 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

**COSTA, T.; LANÇA, R. Universidade do Algarve.** Núcleo de hidráulica de ambiente. Barragens. Faro, 2001.

**COSTA, W. D. Geologia de barragens.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 352 p. DPOH. Departamento de Projetos e Obras Hídricas. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148p.

**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. Disponível em: <[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html)>. Acesso em: 16 Mar. 2017.

**GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995.

**MASSAD, F. Obras de Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 170 p. : Curso básico de geotecnica

**MAHMOOD, K. (1987). “Sedimentação do reservatório: Impacto, extensão e mitigação”.** Técnico Documento No.71, The World Bank, Washington D.C.

**MARANGON, M. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra.** Universidade Federal De Juiz De Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes e Geotecnia. 2004. Material didático ou instrucional. 25 p.

**QUINTAS, F. E. G. Planejamento da Construção de Barragens de Terra.** 2002. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal. 2002.

**SOUZA, Zulcy; SANTOS, Afonso H.M.; BORTONI, Edson da C. Centrais Hidrelétricas.** Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1999.

**SUBRAMANYA, K. Engineering Hydrology.** 3a ed. Tata McGraw- Hill, New Delhi, India, 2008, 434 páginas, ISBN (13) 978-0-07-015146-8

**STEPHENS, T. Manual Sobre Pequenas Barragens de Terra: Guia Para a Localização, Projeto e Construção.** Roma: FAO, 2011. 122p.

**TOMAZ, P. Assoreamento de Reservatórios: Método de Brune.** 2013. Disponível em: [http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_transporte\\_sedimentos/capitulo112.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_transporte_sedimentos/capitulo112.pdf)>. Acessado em: 18 de Abril. 2017.