

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CARLOS EDUARDO NUNES MEDINA MARTINEZ

Cálculo da concentração de sedimentos do reservatório da Represa do Lobo em
Itirapina/SP e seu impacto econômico na geração de energia elétrica

São Carlos

2017

CARLOS EDUARDO NUNES MEDINA MARTINEZ

Cálculo da concentração de sedimentos do reservatório da Represa do Lobo em
Itirapina/SP e seu impacto econômico na geração de energia elétrica

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

VERSÃO ORIGINAL

São Carlos
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes e
Seção Técnica de Informática, EESC/USP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M385c Martinez, Carlos Eduardo Nunes Medina
 Cálculo da concentração de sedimentos do
reservatório da Represa do Lobo em Itirapina/SP e seu
impacto econômico na geração de energia elétrica /
Carlos Eduardo Nunes Medina Martinez; orientador
Frederico Fábio Mauad. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2017.

1. Concentração de sedimentos. 2. Reservatório. 3.
Energia Elétrica. I. Título.

~~Bibliotecário responsável pela estrutura de catalogação da publicação:~~

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Carlos Eduardo Nunes Medina Martinez

Título: "Cálculo da concentração de sedimentos do reservatório da Represa do Lobo em Itirapina/SP e seu impacto econômico na geração de energia elétrica"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 01/12/2017,

com NOTA noze (9,0), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Frederico Fabio Mauad - Orientador - SHS/EESC/USP

Prof. Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior - SEL/EESC/USP

Mestre Bruno Bernardo dos Santos - Doutorando - SHS/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Aos meus pais, Carlos e Rosa, por estarem sempre presentes.

À minha irmã, Flavia, pela parceria constante.

À minha namorada, Verônica, pelo apoio incessável.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad, pela confiança, amizade, orientação e apoio constante.

Aos meus pais e minha família que me acompanham em todas as minhas decisões e vão comigo até o final.

À minha namorada Verônica que nunca deixou de me apoiar e acreditar no meu potencial.

Aos meus avós, Francisco e Idalina, e meus tios, Cristina e Júnior, por estarem sempre logo ali.

Ao Waldomiro por toda sua ajuda nas campanhas de campo e pela paciência para ensinar.

À Tainá e à Gabriela pelos ensinamentos no laboratório, pela ajuda constante e pela parceria.

Aos amigos do Núcleo de Hidrometria Bruno, Dalva, Cláudio, Mariana, Phelipe e Allita por toda ajuda no trabalho.

À Universidade de São Paulo por me conceder uma bolsa PUB de iniciação científica e pela minha formação.

O destino final de todo reservatório é ser preenchido com sedimento. A questão é quanto tempo isso vai levar?

Linsley et al. 1992

RESUMO

MARTINEZ, C. E. N. M. **Cálculo da concentração de sedimentos do reservatório da Represa do Lobo em Itirapina/SP e seu impacto econômico na geração de energia elétrica.** 2017. 40 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Os reservatórios são elementos de fundamental importância em aproveitamentos hidrelétricos, ainda mais no caso do Brasil que possui uma matriz energética predominantemente hídrica. Porém, um problema que os assola é o depósito de sedimentos, responsáveis diretos pelo seu assoreamento e capazes de inutilizá-los para seus múltiplos usos. No sentido de mitigar o assoreamento e prolongar a vida útil dos reservatórios, é necessário o estudo das suas causas, dos métodos preventivos e corretivos, e dos impactos econômicos. Para tal, foi utilizado o reservatório do Lobo em Itirapina/SP como local de estudo e foram obtidos os dados primários de vazão, turbidez e concentração de sedimentos em quatro de seus tributários. Como forma de diminuir o tempo necessário e os investimentos para coleta e processamento de dados, buscou-se uma correlação entre os parâmetros sedimentológicos. Com base nos resultados obtidos e nas comparações com outras pesquisas, conclui-se que, embora sejam compatíveis com o esperado, há a necessidade de: coletar dados por um período de tempo maior; utilizar *softwares* para simulação; realizar estudos complementares.

Palavras-chave: Concentração de sedimentos. Reservatório. Energia Elétrica.

ABSTRACT

MARTINEZ, C. E. N. M. **Calculation of total suspended solids of Lobo's Reservoir in Itirapina/SP and its economical impact in electrical energy generation.** 40p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

The reservoir are elements of fundamental importance in hydroelectric undertakings, even still in Brasil's case which posses an energy matrix predominantly hydroelectric. However, a problem that ravages them is the deposit of sediments, direct responsables for their storage capacity depletion and that are able to make the useless for their multiple uses. In the search of diminish the storage capacity depletion and extend the life of the project, it is necessary the study of its causes, the preventive and corrective methods, and the economical impacts. For such, the Lobo's reservoir in Itirapina/SP was used as a study area and the discharge, turbidity and total suspended soils primary data were collected from four of its rivers. As a way of lower the time needed and the costs of data gathering and processing, a correlation among the hydro-sedimentological parameters was searched. Based on the found results and in the comparison with other researches, the conclusion is that the results are as expected, although it is still required to: collect data for a longer period; use simulation softwares; execute complementary studies.

Keywords: Total suspended solids. Reservoir. Electrical power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes da deposição de sedimentos em um reservatório profundo.....	2
Figura 2 – CAV do Reservatório do Lobo.....	9
Figura 3 – Reservatório do Lobo e seus tributários.....	11
Figura 4 – Vista da represa do Lobo.....	12
Figura 5 – Medição de vazão no Rio Itaqueri em 09.06.2017.....	14
Figura 6 – Processo de filtragem no laboratório.....	15
Figura 7 – Processo de pesagem no laboratório.....	16
Figura 8 – Espectrofotômetro HACH DR/2000.....	17
Figura 9 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Rio Itaqueri.....	20
Figura 10 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Córrego do Geraldo.....	20
Figura 11 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Ribeirão do Lobo.....	21
Figura 12 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Córrego Água Branca...	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Empreendimentos em operação no Brasil.....	1
Tabela 2 – Medições nos tributários do Reservatório do Lobo.....	19
Tabela 3 – Vazão e descarga sólida.....	22
Tabela 4 – Comparação das descargas sólidas de 2012 e 2017.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA	–	American Public Health Association
ANA	–	Agência Nacional de Águas
ANEEL	–	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAV	–	Cota-Área-Volume
CRHEA	–	Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais
SIN	–	Sistema Interligado Nacional
SSD	–	Sistema de Suporte à Decisão
USACE	–	United States Army Corps of Engineers

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
GW	Gigawatt
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
m ³	Metro cúbico
MW	Megawatt
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Assoreamento de reservatórios.....	5
2.2 Medidas preventivas e corretivas.....	6
2.3 Resolução conjunta ANEEL-ANA nº 3.....	8
2.4 Cota-Área-Volume.....	9
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 Reservatório do Lobo.....	12
3.2 Coletas de campo.....	13
3.2.1 Medição de vazão.....	13
3.2.2 Cálculo da concentração de sedimentos.....	14
3.2.3 Medição da turbidez.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
4.1 Concentração de sedimentos, turbidez e vazão.....	19
4.2 Descarga sólida.....	22
5 CONCLUSÃO.....	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é, indubitavelmente, imprescindível à humanidade moderna. Diferentemente de quando começou a ser utilizada em maior escala no final do século XIX em motores e lâmpadas, hoje, a energia elétrica ultrapassa o uso comercial e de comodidade para também o lazer e tarefas básicas.

Devido a sua tamanha importância, é fundamental buscar, dentre outras coisas, o barateamento do preço da energia, uma maior cobertura do Sistema Interligado Nacional (SIN) e uma maior confiabilidade no seu oferecimento. Para isso, é necessário que se façam estudos em diversos aspectos referentes a geração e que se entenda o seu panorama atual e as projeções para o futuro.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), em 2007 o Brasil excedeu 100 gigawatts (GW) de potência instalada sendo que 75% eram de fontes hídricas. Em 2017 a potência instalada ultrapassa os 155 GW nos quais 64,29% são de fontes hídricas (ANEEL, 2017). Nota-se que em somente 10 anos a potência instalada total teve um aumento de mais de 50% e que a potência instalada das fontes hídricas, embora tenha diminuído em porcentagem, teve um aumento absoluto de cerca de 25 GW e ainda é o principal recurso da matriz energética brasileira.

Tabela 1 – Empreendimentos em Operação no Brasil

Empreendimentos em Operação			
Tipo	Quantidade	Potência Fiscalizada (kW)	Porcentagem
Central Geradora Hidroelétrica	619	565.211	0,36
Pequena Central Hidroelétrica	430	4.960.209	3,19
Usina Hidroelétrica	219	94.488.995	60,74
Central Geradora Eólica	479	11.751.843	7,55
Central Geradora Solar Fotovoltaica	62	413.078	0,27
Usina Termelétrica	2.939	41.391.690	26,61
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1,28
Total	4.750	155.561.026	100

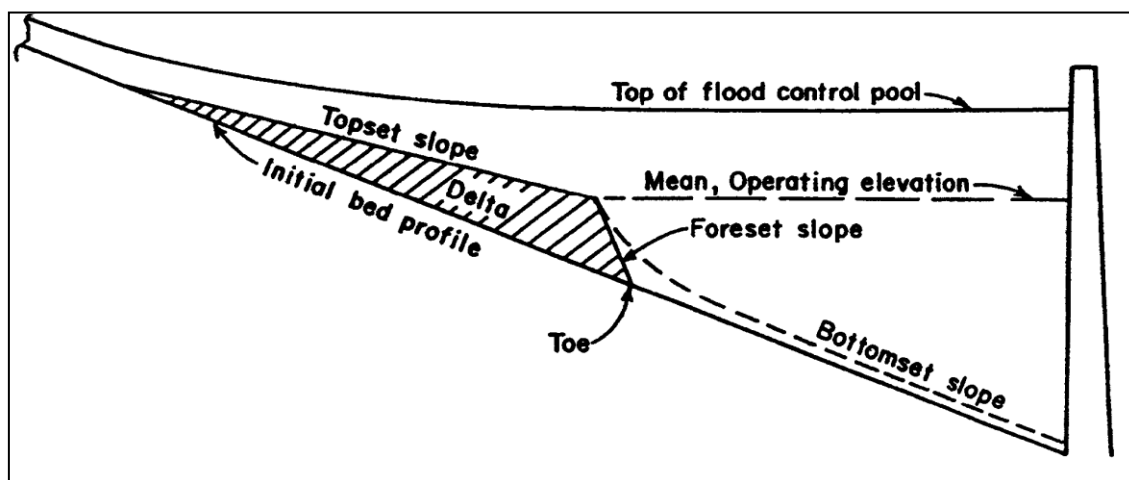
Fonte: ANEEL (2017)

Nesse contexto, devido à tamanha importância de geração de energia elétrica por hidroelétricas no Brasil, se faz necessário o estudo aprofundado de todos seus componentes no sentido de aprimorar sua utilização.

Um dos maiores e mais comuns componentes das hidroelétricas são os reservatórios. Um reservatório é criado quando é inserida uma barreira num córrego ou rio e pode ter diversas funções que podem ser usadas na geração de energia, como a regularização de vazão e a utilização de desnível, ou não como no caso de abastecimento público, controle de cheia, irrigação e dessedentação de animais.

Um grave problema dos reservatórios é a deposição de sedimentos, responsável direto pela diminuição da capacidade de armazenamento de água do reservatório. A distribuição e deposição dos sedimentos dependem de fatores como a geometria do reservatório, da vazão e do modo como o reservatório é operado. A Figura 1 ilustra os componentes da deposição do sedimento em um reservatório profundo (USACE, 1997).

Figura 1 – Componentes da deposição de sedimentos em um reservatório profundo



Fonte: USACE (1997)

No Brasil, estudos envolvendo o transporte de sedimentos e sua relação com a vida útil de reservatórios ainda são escassos. Felizmente, devido à resolução conjunta nº 3, de 10 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), elaborada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e ANEEL que estabelece condições e procedimentos para as concessionárias de energia elétrica fazerem o monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, de qualidade de água e sedimentométrico, pode-se esperar avanços nessa área de conhecimento.

Hoje, porém, faz-se necessário um acompanhamento contínuo dos sedimentos nos reservatórios pois, além de serem um dos responsáveis pela diminuição da capacidade de armazenamento do reservatório, eles também podem causar abrasão em turbinas, máquinas e comportas além de obstruir a tomada d'água, impactando diretamente na geração de energia elétrica.

Nesse sentido, este trabalho visa analisar a influência do depósito de sedimentos em reservatórios e seu impacto na geração de energia elétrica, utilizando como base estudos feitos no reservatório do Lobo em Itirapina/SP.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Assoreamento de reservatórios

Segundo Carvalho (2008), a formação de um reservatório devido à construção de uma barragem normalmente modifica as condições naturais do curso d'água, reduzindo a velocidade da corrente e possibilitando o depósito de partículas, o que provoca o assoreamento gradual do reservatório. As partículas de maior granulometria se depositam primeiro enquanto os sedimentos mais finos se adentram no reservatório. A barragem impede a passagem da maior parte das partículas para jusante, intensificando o assoreamento que pode impedir a operação de um aproveitamento hidroelétrico quando o sedimento depositado alcança a tomada d'água podendo obstruí-la completamente.

Um trabalho muito consagrado sobre o assoreamento de reservatórios foi um estudo realizado pelo Banco Mundial apresentado em MAHMOOD (1987 apud CARVALHO et al., 2000, p. 9) que mostrou que a vida útil média dos reservatórios do mundo decresceu de 100 para 22 anos. O estudo demonstrou que a perda média anual de volume dos reservatórios devido ao depósito de sedimentos era de 1% além de avaliar que eram gastos por ano 6 bilhões de dólares para remover volumes assoreados.

No tocante dos reservatórios brasileiros, foi realizado um estudo pela Eletrobrás/IPH em 1994 que concluiu que a perda anual de capacidade de armazenamento dos reservatórios do Brasil é de aproximadamente 0,5%. Essa taxa correspondia a perdas de capacidade de armazenamento de $2.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano, que equivale a um volume maior do que muitos reservatórios médios existentes (CARVALHO, 2008).

No Brasil, houve diversos casos de prejuízos por conta do depósito de sedimentos. Segundo Almeida e Carvalho (1993), a Usina Hidroelétrica de Funil na Bahia foi paralisada por mais de um ano devido ao assoreamento de seu reservatório, tendo um prejuízo de 1,2 milhão de dólares e o custo da dragagem do material de 220 mil dólares.

O reservatório da Pequena Central Hidroelétrica de Cariobinha, em Americana-SP, teve de ser esvaziado em 1986 e em 1992 para desobstrução da tomada d'água e comporta de fundo (COIADO, 2001).

2.2 Medidas preventivas e corretivas

Conforme visto anteriormente, o assoreamento de um reservatório traz diversos problemas para geração de energia elétrica, além de poder inviabilizar a navegação, os usos recreativos, alterar a fauna e a flora local, dentre outros.

Para que esses problemas sejam evitados ou mitigados, é necessário que sejam adotadas medidas preventivas e/ou corretivas contra o processo de assoreamento de reservatórios.

Segundo Miranda (2011, p.24)

As medidas preventivas são empregadas para evitar a produção dos sedimentos e que o transporte dos mesmos chegue até os cursos d'água evitando a formação dos depósitos de sedimentos nos reservatórios. Já as medidas corretivas têm como objetivo amenizar os efeitos causados pelos sedimentos quando estes já estão depositados no reservatório.

Conforme Carvalho (2008) cita, as medidas preventivas são mais econômicas e eficazes que as medidas corretivas que são utilizadas para amenizar prejuízos materiais e financeiros ocasionados pelo depósito de sedimentos. Inclusive, como boa prática de prevenção, logo na fase de planejamento de construção da barragem é importante que se faça uma verificação precisa da vida útil do reservatório, que constitui do tempo em que a barragem pode vir a perder suas funções ou ter a sua operação perturbada economicamente.

Segundo Miranda (2011), também podem ser citadas como medidas preventivas:

- Estudo e seleção do melhor local para construção da barragem pois existe uma grande influência na taxa de assoreamento do reservatório. Logo, devem ser priorizados locais com menores índices de produção de sedimentos;
- Controle das fontes de produção de sedimento, ou seja, o controle da erosão da bacia hidrográfica onde o curso d'água está inserido. Uma providência para este caso é a conservação e/ou reflorestamento de matas ciliares nas margens dos reservatórios;
- Construção de estruturas para contenção de sedimentos, evitando que estes cheguem aos corpos hídricos. Podem ser citados como exemplo pequenas barragens a montante e bacias de decantação.

Já as medidas corretivas buscam reduzir os efeitos causados pelo assoreamento, sendo suas ações constituídas de remoção de sedimentos por descarregadores de fundo, dragagem de sedimentos, elevação da barragem, dentre outros. Porém, tais medidas costumam ser mais

caras que as preventivas: segundo Carvalho (2008), o custo da dragagem pode variar de US\$1,00 a US\$15,00 por m³ dragado; A elevação da barragem é ainda mais cara pois exige estudos mais detalhados, demandam custos de construção, pode envolver desapropriação de terrenos além dos impactos sociais e ambientais.

2.3 Resolução conjunta ANEEL-ANA n° 3

Quase 12 anos após a resolução ANEEL n° 396 (ANEEL, 1998), que estabelecia normas relativas à implantação e manutenção de estações fluviométricas e pluviométricas em empreendimentos hidroelétricos, ter sido implementada, surge a resolução conjunta ANEEL-ANA n° 3 (BRASIL, 2010). A nova resolução é importante pois, além de ampliar os estudos fluviométricos e pluviométricos para monitoramentos sedimentométricos e de qualidade de água, também delibera a cota-área-volume (CAV) do reservatório deve ser atualizada a cada 10 anos. Tais medidas são de fundamental importância pois somente assim é possível entender o real estado em que o reservatório se encontra e analisar as suas características de qualidade de água, depósito de sedimentos, vazão dos afluentes, dentre outros, ao longo do tempo.

2.4 Cota-Área-Volume

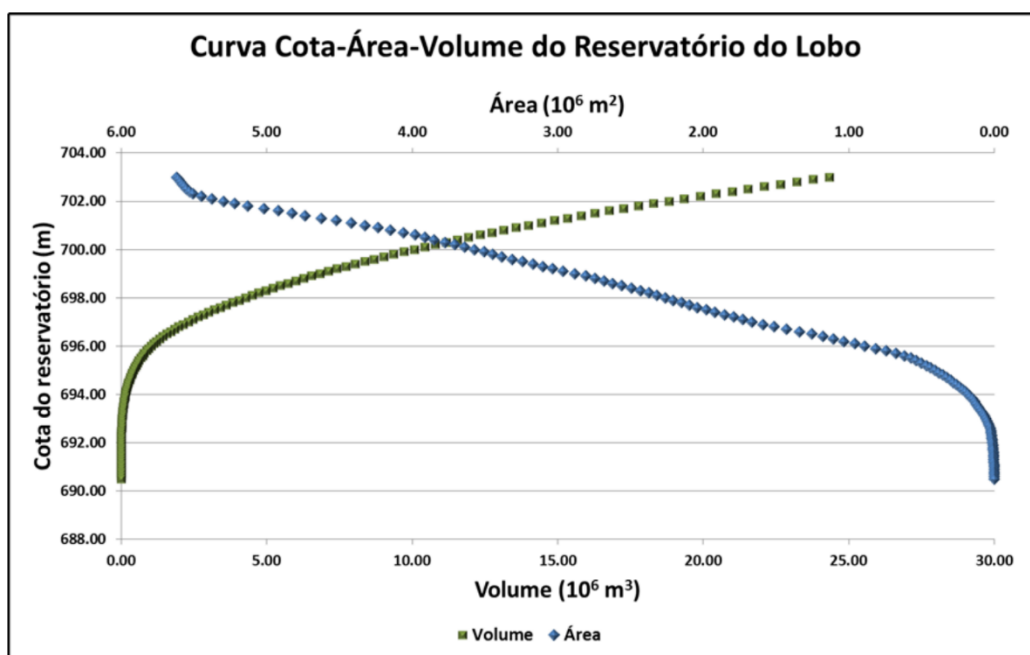
A Cota-Área-Volume é uma informação importante de um reservatório correlaciona valores de cota, ou nível d'água, com área coberta pela água naquele nível e com o volume do fundo até o mesmo nível.

De acordo com Matos (2012, p. 16)

A relação CAV é uma variável básica para a definição de regras operacionais de reservatórios, de análises de disponibilidade e demanda, de modelos de otimização de sistemas de suporte à decisão (SSD) dentro da bacia hidrográfica. É também utilizada para a determinação de volume de reservatórios em sistemas de controle de cheias e abastecimento de água.

Na figura 2 encontra-se a CAV mais recente do Reservatório do Lobo:

Figura 2 – CAV do Reservatório do Lobo



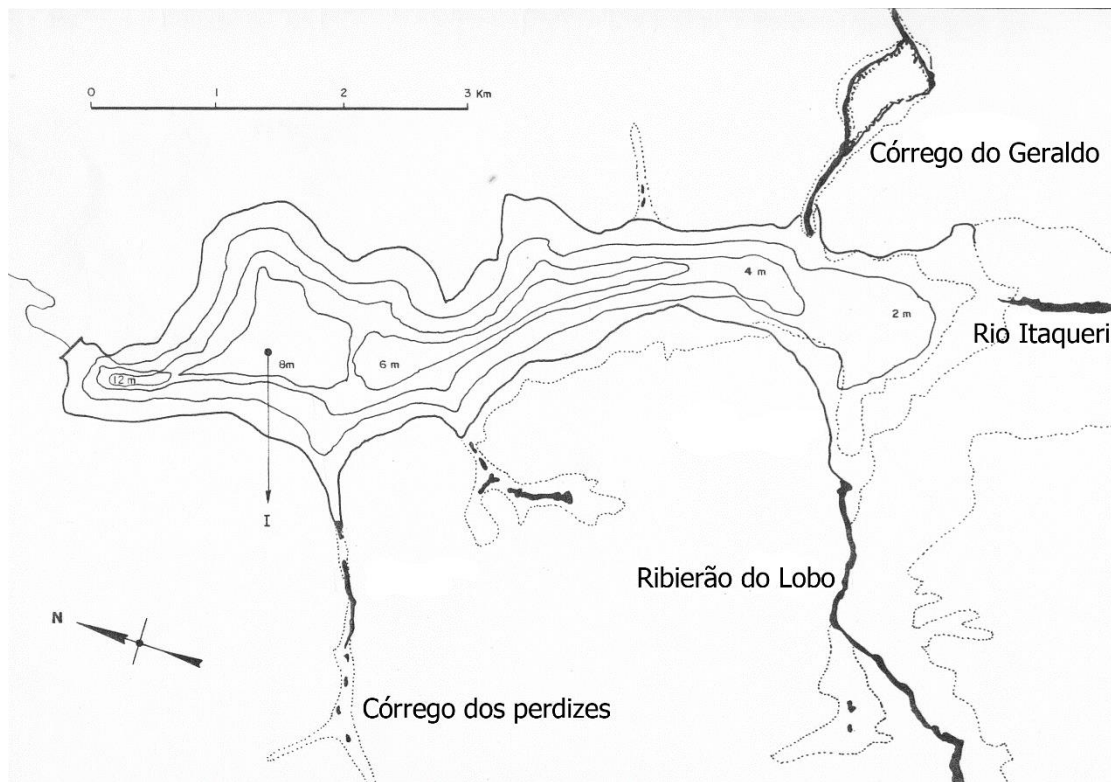
Fonte: Matos (2012)

Devido a importância da curva CAV para análise de assoreamento dos reservatórios, a ANA lançou em 2011 um documento que complementa a resolução conjunta ANEEL-ANA nº3 denominado Orientação para atualização das curvas cota x área x volume, atualizado posteriormente em 2013 (ANA, 2013).

3 MATERIAS E MÉTODOS

O local de estudo foi o reservatório do Lobo, localizado na cidade de Itirapina/SP, e quatro de seus tributários: Ribeirão do Lobo, Rio Itaqueri, Córrego Água Branca e Córrego do Geraldo. Durante quatro visitas de campo feitas em Junho de 2017 foi calculada a vazão e coletou-se amostras de água para medição de turbidez e de concentração de sedimentos nos quatro tributários.

Figura 3 – Reservatório do Lobo e seus tributários



Fonte: Adaptado de Tundisi (1977)

3.1 Reservatório do Lobo

Segundo Matos (2012), a represa do Lobo ou represa do Broa (Figura 4) foi construída em 1936 com a finalidade de produzir energia elétrica. A partir de 1970 o reservatório se transformou em um polo turístico regional por conta do entorno do reservatório ter sido loteado. Atualmente, pertence a Aratu Geração S.A. que é controlada pela ESP Agropecuária Ltda e possui uma potência instalada de 2MW. O reservatório se localiza na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13; tem 6,2km de comprimento; 18,6km de perímetro; área de 5,6 km² e volume de 24,3 x10⁶ m³.

Figura 4 – Vista da represa do Lobo



Fonte: Matos (2012)

3.2 Coletas de campo

Nos dias 2, 9, 23 e 29 de Junho de 2017 foram feitas quatro visitas de campo para quatro tributários do Reservatório do Lobo. Nessas quatro visitas foi medida a vazão e foram colhidas amostras de água para fazer o cálculo da concentração de sedimentos e a medição de turbidez de cada um desses tributários nos laboratórios do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA).

3.2.1 Medição da vazão

A vazão foi medida utilizando um molinete fluviométrico, uma haste a vau, um contador de velocidade e uma fita métrica. Em um trecho calmo do rio e sem muitos obstáculos e curvas, a fita métrica foi colocada transversalmente. A largura do trecho então foi medida e dividida em seções: caso a largura fosse maior que 3m as seções tinham 20cm ou 30cm de comprimento; caso a largura fosse maior que 3m as seções tinham 50cm de comprimento. A figura 5 mostra a medição de vazão no Rio Itaqueri e os equipamentos utilizados.

Depois de divididas as seções, o molinete foi prendido à haste a vau a 20cm do chão do Córrego Água Branca, devido à baixa velocidade d'água, e a 10cm do chão nos demais rios. Um lado do rio foi escolhido para o início das medições e, na divisão das seções, foi medida a profundidade do rio com a haste a vau e a velocidade da água com o molinete conectado ao contador de velocidade.

Figura 5 – Medição da vazão no Rio Itaqueri em 09.06.2017



Fonte: Autoria própria

Com todos os dados anotados, pode-se aproximar a área de cada seção por um trapézio, a velocidade da água de cada seção pela média das velocidades das suas laterais e a vazão de cada seção multiplicando-se os valores encontrados de área e velocidade. Por fim, a vazão do rio foi calculada somando-se a vazão de cada seção.

3.2.2 Cálculo da concentração e sedimentos

Para o cálculo da concentração de sedimentos, foi usado o método de sólidos suspensos totais da APHA, American Public Health Association (1995). As amostras foram colhidas em duplicata para que fosse possível realizar os procedimentos de laboratório duas vezes, diminuindo as chances de erro devido à comparação de resultados.

Nas idas de campo, foram coletadas amostras de água em recipientes de 500mL que foram conservadas em um isopor com gelo para sua conservação até a chegada no laboratório. No laboratório, os filtros de fibra de vidro foram colocados no equipamento de filtração, foi criado vácuo e eles foram lavados com água destilada e filtrada, conforme mostra a figura 6. Os filtros foram então colocados individualmente em cadinhos e levados para secar na estufa a 103°C ~ 105°C por 1 hora. Passando o tempo, os cadinhos com filtros foram resfriados no dessecador por 30min e depois foram pesados, conforme demonstrado na figura 7. Por fim, todo o processo a partir da secagem na estufa foi repetido até que o peso tenha sido constante ou até que a diferença de pesos tenha sido muito pequena.

Figura 6 – Processo de filtragem no laboratório



Fonte: Autoria própria

Figura 7 – Processo de pesagem no laboratório



Fonte: Autoria própria

A próxima etapa consistiu em filtrar cada uma das amostras coletadas nos filtros limpos e repetir os processos de secagem na estufa por 1 hora, resfriagem no dessecador e pesagem até que os pesos sejam constantes ou com uma diferença muito pequena. Com os pesos anotados, calculou-se a concentração de sedimentos utilizando a fórmula 1.

$$S = (A - B)/C \quad (1)$$

Nos quais:

S = Concentração de sedimentos [mg/L]

A = Peso do filtro no cadinho + resíduo seco [mg]

B = Peso do filtro no cadinho [mg]

C = Volume da amostra [L]

3.2.3 Medição da turbidez

Para medir os valores de turbidez, foi utilizado o Spectrofotômetro da marca Hach modelo DR/2000, mostrado na figura 8. O zero da escala do equipamento é ajustado utilizando água destilada e os valores de turbidez foram medidos a partir de amostras de água dos tributários.

Figura 8 – Espectrofotômetro HACH DR/2000



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Concentração de sedimentos, turbidez e vazão

O resultado imediato das visitas de campo foi a Tabela 2 com os valores encontrados de vazão, concentração de sedimentos e turbidez dos quatro tributários estudados do Reservatório do Lobo.

Tabela 2 – Medições nos tributários do Reservatório do Lobo

Lobo	Concentração	Turbidez	Vazão
02/06/2017	17,3334mg/L	23ntu	0,31633507m ³ /s
09/06/2017	10,6667mg/L	25ntu	0,15586809m ³ /s
23/06/2017	5,3334mg/L	26ntu	0,2030837 m ³ /s
29/06/2017	4,1667mg/L	21ntu	0,182272907m ³ /s

Itaqueri	Concentração	Turbidez	Vazão
02/06/2017	11,6667mg/L	20ntu	0,35563615m ³ /s
09/06/2017	6,5000mg/L	18ntu	0,42552173m ³ /s
23/06/2017	-	21ntu	0,25840359m ³ /s
29/06/2017	3,3333mg/L	18ntu	0,2599706m ³ /s

Água Branca	Concentração	Turbidez	Vazão
02/06/2017	8,3333mg/L	6ntu	0,25628404m ³ /s
09/06/2017	3,1667mg/L	4ntu	0,41091825m ³ /s
23/06/2017	1,0000mg/L	6ntu	0,41552966m ³ /s
29/06/2017	2,6667mg/L	5ntu	0,37621945m ³ /s

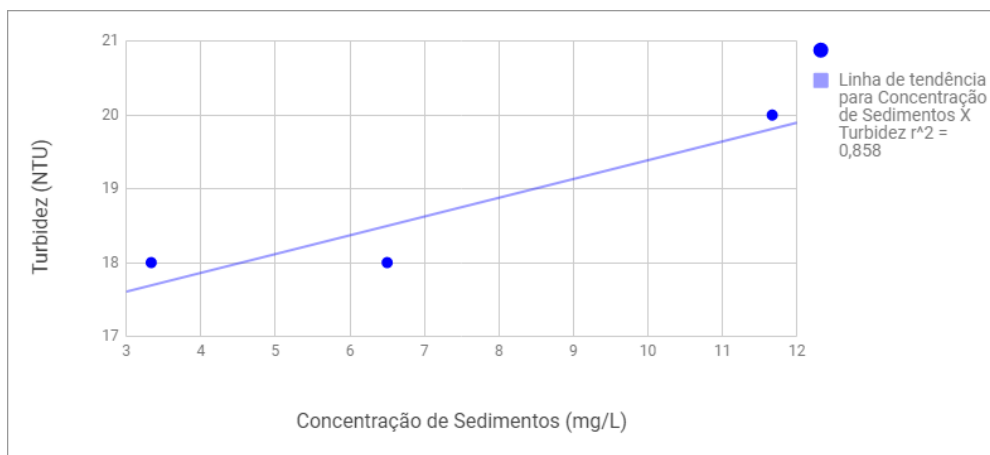
Geraldo	Concentração	Turbidez	Vazão
02/06/2017	4,6667mg/L	3ntu	0,3295989m ³ /s
09/06/2017	3,3333mg/L	1ntu	0,34788568m ³ /s
23/06/2017	-	1ntu	0,29891214m ³ /s
29/06/2017	0,6667mg/L	0ntu	0,30167617 m ³ /s

Vale ressaltar que, no dia 23 de Junho de 2017, em particular para o Rio Itaqueri e Córrego do Geraldo, os resultados de concentração de sedimentos deram valores negativos. Isso se deve ao fato dos filtros terem rasgado durante a filtração das amostras, tanto a amostra principal quanto a duplicata.

Com os dados coletados, buscou-se uma correlação entre os valores medidos para que, no futuro, possa ser diminuído o tempo requerido e os investimentos necessários para coleta e processamento de dados.

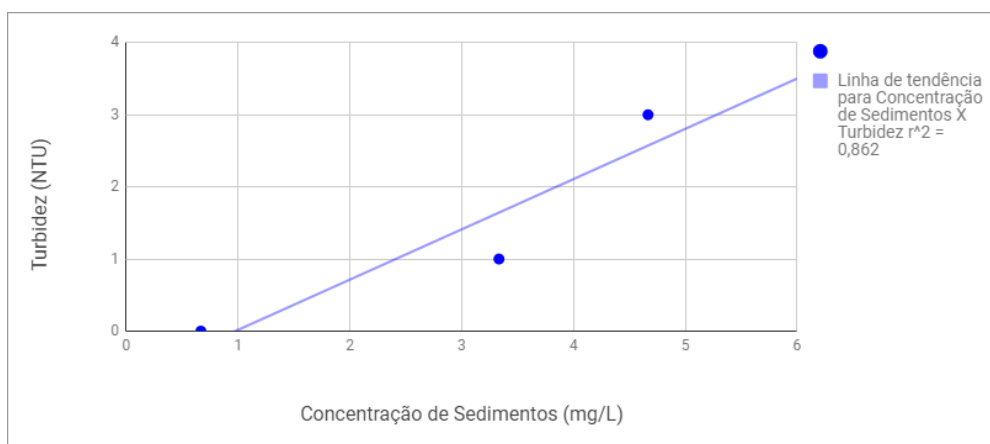
A correlação mais interessante a ser observada foi no caso da concentração de sedimentos com a turbidez. Tanto no caso do Rio Itaqueri quanto no Córrego do Geraldo, a correlação entre os dois dados foi muito forte como constatado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Rio Itaqueri



Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Córrego do Geraldo

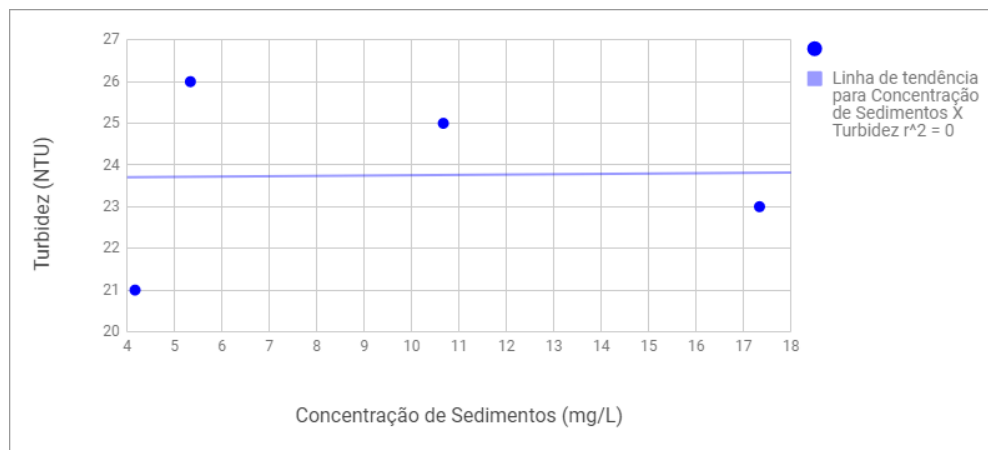


Fonte: Autoria própria

A relação entre concentração de Sedimentos e Turbidez foi medida pelo coeficiente de determinação (R^2), que varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a relação entre os pontos e a reta; quanto mais próximo de 0, menor a relação (SANTOS, VITTI, MAUAD, 2017).

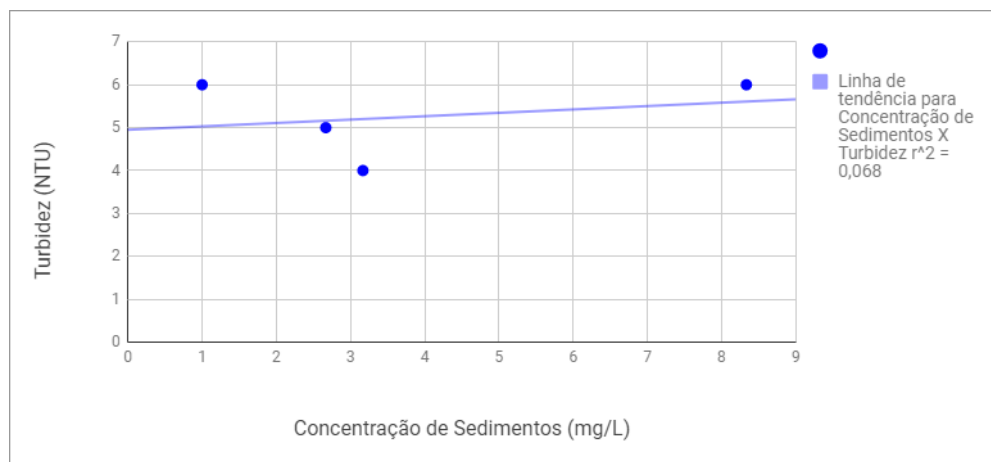
No caso do Ribeirão do Lobo e do Córrego Água Branca, houve uma pequena ou nenhuma correlação entre os dois valores medidos como verificado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Ribeirão do Lobo



Fonte: Autoria própria

Figura 12 – Gráfico da concentração de Sedimentos X Turbidez do Córrego Água Branca



Fonte: Autoria própria

4.2 Descarga sólida

Uma aproximação simples para o quanto de sedimento que entra no reservatório é dada pela multiplicação da vazão com a concentração de sedimentos. Como a vazão é dada em volume por tempo e a concentração em peso por volume, o resultado é uma unidade de peso por tempo.

Tabela 3 – Vazão e descarga sólida

Lobo	Vazão	Descarga Sólida
02/06/2017	0,31633507m ³ /s	473,74385635kg/dia
09/06/2017	0,15586809m ³ /s	143,64780729kg/dia
23/06/2017	0,2030837 m ³ /s	93,58128905kg/dia
29/06/2017	0,182272907m ³ /s	65,78220207kg/dia

Itaqueri	Vazão	Descarga Sólida
02/06/2017	0,35563615m ³ /s	358,48226343kg/dia
09/06/2017	0,42552173m ³ /s	238,97300357kg/dia
23/06/2017	0,25840359m ³ /s	-
29/06/2017	0,2599706m ³ /s	74,87078408kg/dia

Água Branca	Vazão	Descarga Sólida
02/06/2017	0,25628404m ³ /s	184,5237707kg/dia
09/06/2017	0,41091825m ³ /s	143,64780729kg/dia
23/06/2017	0,41552966m ³ /s	35,90176262kg/dia
29/06/2017	0,37621945m ³ /s	86,68204479kg/dia

Geraldo	Vazão	Descarga Sólida
02/06/2017	0,3295989m ³ /s	132,89380186kg/dia
09/06/2017	0,34788568m ³ /s	100,19007393kg/dia
23/06/2017	0,29891214m ³ /s	-
29/06/2017	0,30167617 m ³ /s	17,37741622kg/dia

A descarga sólida é uma aproximação da quantidade de sedimento que adentrou no reservatório no período de um dia. Pode-se comparar seus valores com o obtido por Arroio Junior (2012) uma vez que foi calculado o mesmo parâmetro pelo autor em Junho de 2012 nos exatos mesmos locais do Ribeirão do Lobo, Rio Itaqueri e no Córrego da Água Branca.

Tabela 4 – Comparação das descargas sólidas de 2012 e 2017

Rio/Córrego	Descarga Sólida	
	2012	2017 (média)
Lobo	63,2kg/dia	194,1kg/dia
Itaqueri	129kg/dia	224kg/dia
Água Branca	168kg/dia	104,9kg/dia

Como pode ser visto, a ordem de grandeza dos valores obtidos em 2017 é a mesma que em 2012. Inclusive, Arroio Junior (2012) compara seus valores obtidos com Argenton (2004) que realizou as mesmas medições oito anos antes e, embora tenha uma diferença maior do que quando comparada a 2017, também foi aceitável.

Nota-se que tanto no Ribeirão do Lobo quanto no Rio Itaqueri houve um aumento expressivo da descarga sólida, fator preocupante para a vida útil do reservatório e para a geração de energia que evidencia a necessidade de se pensar em medidas preventivas no início do projeto do reservatório e/ou medidas corretivas após ele ter sido feito.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou fazer uma breve introdução ao assoreamento de reservatórios e seus problemas na geração de energia elétrica, além de demonstrar a coleta e tratamento de dados primários importantes para o estudo de vida útil de um reservatório.

Devido a tamanha importância do problema, recomenda-se a tomada de medidas preventivas, principalmente nos casos onde os reservatórios ainda não foram construídos pois essas são mais econômicas, e medidas corretivas nos casos onde a anterior não é possível ou eficaz.

De forma a continuar com os estudos, os próximos passos para pesquisas futuras seriam:

- Coletar mais amostras e, de preferência, ao longo de um ano inteiro para cobrir tanto o período seco quanto o chuvoso;
- Utilizar de softwares de simulação para simular o depósito de sedimentos e o impacto na geração de energia elétrica para diferentes valores de vazão;
- Realizar uma batimetria do reservatório do Lobo utilizando os mesmos métodos e equipamentos que Matos (2012) para verificar quanto foi assoreado nesse período de tempo e calcular a vida útil do reservatório.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional Águas – ANA. **Orientações para atualização das curvas cota x área volume**, de Dezembro de 2013. Disponível em:

<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaAtualizacaoDasCurvas_Cota_Area_Volume_Versao_Dez2013.pdf> Acesso em: 10 dez. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 3. ed., Brasília, 2008. p. 9.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**.

Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 08 nov. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução nº396**, de 04 de Dezembro de 1998. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/res1998396.pdf>> Acesso em: 08 nov. 2017.

ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. O. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE Mascarenhas, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., Gramado, 1993. **Anais...** Porto Alegre: ABRH.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**, 19ª ed., Washington, American Public Health Association, 1995. 1368p.

ARGENTON, E. C. **Limnologia, balneabilidade e impactos ambientais: uma análise temporal e espacial na represa do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas – SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

ARROIO JUNIOR, P. P. **Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas – SP**. 2013. Dissertação

(Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica e Agência Nacional de Águas. **Resolução Conjunta nº 3**, de 10 de agosto de 2010. Disponível em: <
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/res2010003cj.pdf>> Acesso em: 11 nov. 2017.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000. pg. 9.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2008. 599p.

COIADO, E. M. Assoreamento de reservatórios. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA E. M. C. D. (Orgs.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

LINSLEY, R. J., FRANZINI, J. B., FREYBERG, D. L., TCHOBANOGLIOUS, G. **Water resources engineering**. New York, McGraw-Hill, 4 ed., 1992.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MIRANDA, R. B. **A influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: estudo de caso na Usina de Três Irmãos -SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

POMPÊO, M. L. M. **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. São Luís, MA: Gráfica e Editora União, 1999. 198p.

TUNDISI, J. G. **Produção primária, “standing-stock”, fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa, São Carlos).** 1977. Tese de Livre Docência, Ribeirão Preto, SP, 1977.

SANTOS, F. M.; VITTI, D. M. C.; MAUAD, F. F. **Analysis of the relationship between total suspended solids (TSS) and turbidity in Santa Marina Madalena basin.** In: Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais.**

United States Army Corps of Engineers - USACE. **Engineering and Design: Hydrologic engineering requirements for reservoirs.** EM 1110-2-1420. Washington, DC: Department of the Army. 1997.