



WALISSON SOUZA SOARES

**TAXA DE ASSOREAMENTO NO
RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA
DO FUNIL, MG**

LAVRAS - MG

2015

WALISSON SOUZA SOARES

**TAXA DE ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DO FUNIL, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais – Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Conservação do Solo e da Água, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Marx Leandro Naves Silva

Coorientador

Dr. Marcelo Silva de Oliveira

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Soares, Walisson Souza.

Taxa de assoreamento no reservatório da Usina Hidrelétrica do
Funil - MG / Walisson Souza Soares. – Lavras : UFLA, 2015.
45 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Assoreamento. 2. Modelo digital de elevação. 3. Capacidade
de armazenamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

WALISSON SOUZA SOARES

**TAXA DE ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DO FUNIL, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais – Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Conservação do Solo e da Água, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2015.

Dr. Luíz Antônio Lima UFLA

Dr. Ronaldo Luiz Mincato UNIFAL-MG

Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Dr. Marcelo Silva de Oliveira
Coorientador

LAVRAS - MG

2015

À minha amada esposa Perla, pelo companheirismo.
Aos meus filhos Felipe e Vinícius pela paciência e compreensão.
À minha mãe Marli (*In memoriam*) que tanta falta me faz, mas que olha e torce
por mim lá de cima.
Ao meu pai Francisco, pelo incentivo.
E aos meus irmãos Suelba e Jefferson, pelo apoio e aos quais tanto amo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por esta oportunidade de realização

À Universidade Federal de Lavras

À coordenação do curso PPGTIA

Aos professores, pelo conhecimento transmitido

Ao Professor Dr. Marx Leandro Naves Silva, pela orientação

Ao professor Dr. Marcelo Silva Oliveira, por sua cooperação

Ao Consórcio AHE Funil, por disponibilizar os dados utilizados neste estudo, aos diretores e companheiros de trabalho, pelo incentivo em mais esta realização.

Ao meu irmão Jefferson Francisco Soares, pelo apoio e troca de conhecimentos

Em especial, ao meu amigo Pedro Veloso Gomes Batista, por tudo, por sua disponibilidade de encarar junto comigo este desafio até o final.

E àqueles que não foram mencionados, mas que, de uma forma ou de outra, ajudaram nesta conquista.

O meu muito obrigado a todos!

RESUMO

A degradação do solo pela erosão hídrica representa um problema, não somente pela perda de solo e água como meio de suporte às atividades produtivas, mas, também, por trazerem consequências negativas relacionadas ao assoreamento e contaminação de cursos d'água, lagos e reservatórios. Portanto, neste estudo, objetivou-se elaborar um mapa representativo do assoreamento no reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, com base em Modelo Digital de Elevação, gerado a partir de levantamentos topobatimétricos, realizados em 2014, e, assim, determinar a capacidade de armazenamento atual do reservatório e previsão de um diagnóstico da situação, após 12 anos de operação do empreendimento. Pode se concluir que a diminuição anual da capacidade de armazenamento do reservatório do Funil, apresentada para os dois últimos anos operativos é da ordem de 2,8 milhões de m³ por ano ou 1,05 %, valor superior ao previsto nos prognósticos dos estudos do projeto do empreendimento e aos valores de referências da ordem de 0,5%, para reservatórios brasileiros encontrados na literatura, comprometendo, consideravelmente, a vida útil do empreendimento, caso esse quadro se mantenha. Os pontos de maior assoreamento são no delta do rio das Mortes e Capivari que, em função de um estreitamento da calha, o sedimento concentrou-se mais à montante do delta. O assoreamento está ocorrendo de forma acelerada nos últimos anos e, conseqüentemente, a elevação de fundo do reservatório aumenta os riscos de interferência e inundações em áreas de ocupação antrópica que cresce no entorno do reservatório.

Palavra-chave: Assoreamento. Modelo Digital de Elevação. Capacidade de armazenamento.

ABSTRACT

Soil degradation by water erosion is a problem, not only for the loss of soil and water which is as a support for productive activities, but also for negative consequences related to silting and contamination of streams, lakes and reservoirs. Therefore, this study aimed to develop an evaluation of sedimentation in Funil reservoir based on Digital Elevation Model generated from bathymetric surveys conducted in 2014, determining the current capacity storage of the reservoir and development a diagnosis of the situation 12 years after the hydroelectric power plant operation. It can be concluded that the annual reduction in capacity storage reservoir presented for the last two operating years which was about 2.8 million cubic meters per year or 1.05%, quite above the expected value during the project designed, and reference values from the order of 0.5% for Brazilian reservoirs found in the literature, compromising significantly the useful life operation if this situation continues. The main points of siltation are at the delta of Rio das Mortes and Rio Capivari due to channel narrowing with sediments concentrated slightly upstream of the delta. Siltation is accelerating in recent years and consequently the bottom of the reservoir relevation increases the risk of interference and floods in anthropic areas that grows around the reservoir.

Keywords: Silting. Digital Elevation Model. Capacity of the reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da Bacia do Alto Rio Grande mostrando: A) três principais sub-bacias e B) principais rios e cidades	18
Figura 2	Localização do reservatório da UHE Funil e área de entorno.....	24
Figura 3	Mapa de pontos amostrados na batimetria do ano de 2014	26
Figura 4	Modelo de elevação do reservatório Funil 2014	31
Figura 5	Trecho mais a jusante do Reservatório da UHE Funil	34
Figura 6	Trecho mais a montante do Reservatório da UHE Funil	35
Figura 7	Deltas dos rios Grande, Mortes e Capivari.....	36
Figura 8	: Confluência entre o rio das Mortes e o rio Grande (Abril de 2003).....	37
Figura 9	Confluência entre o rio das Mortes e o rio Grande (Abril de 2013).....	37
Figura 10	Rio Capivari (Fevereiro de 2003).....	38
Figura 11	Rio Capivari (Abril de 2013)	38
Figura 12	Assoreamento identificado na confluência do rio Grande com o rio das Mortes, em junho de 2008, durante o rebaixamento do reservatório	39
Figura 13	Assoreamento identificado no rio Capivari, em junho de 2008, durante o rebaixamento do reservatório	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Área Ajustada e do projeto para o ano de 2012	32
Tabela 2	Volume Calculado 2012	32
Tabela 3	Quadro comparativo das campanhas 2012/2014.....	32

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CAV – Cota Área Volume

MDE – Modelo Digital de Elevação

NA – Nível de Água

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

UHE – Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4	METODOLOGIA	24
4.1	Área de estudo	24
4.2	Levantamentos das Seções Batimétricas	25
4.3	Levantamento planialtimétrico georreferenciado	26
4.4	Cálculo da cota - área – levantamento 2012	27
4.5	Geração do MDE para o levantamento de 2014	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O uso inadequado do solo pelo homem causa sua degradação, notadamente pela erosão hídrica, como consequência ocorre perda gradual da sua capacidade produtiva e contaminação e assoreamento dos recursos hídricos por sedimentos e poluentes de origem difusa. A ação antrópica, por meio da utilização de práticas que destroem o equilíbrio das condições naturais do ambiente, acelera esse processo de maneira intensa.

A degradação do solo pela erosão hídrica representa um problema, não somente pela perda de solo e água como meio de suporte às atividades produtivas, mas, também, por trazerem consequências negativas relacionadas ao assoreamento e contaminação de cursos d'água, lagos e reservatórios.

Com o manejo incorreto do solo nos sistemas de produção vegetal, animal, na mineração e na construção civil, a degradação do solo pela erosão hídrica se estabelece nas sub-bacias e bacias hidrográficas, assoreando e poluindo os cursos de água, impactando os reservatórios.

Durante a segunda metade do século 20, cerca de 45.000 grandes barragens com mais de 15 m de altura e cerca de 800.000 pequenas barragens foram construídas em todo o mundo. Estima-se que mais de 30% do fluxo de sedimentos globais estejam depositados nos leitos dos reservatórios (HU et al., 2009).

A redução da velocidade da corrente de um curso d'água provocada pelo barramento provoca a deposição gradual de sedimentos e, conseqüentemente, o assoreamento, podendo inviabilizar ou reduzir a vida útil dos aproveitamentos hidrelétricos e de reservas de água potável para o consumo humano, ocasionando vários danos socioambientais. Segundo Carvalho et al. (2000), alguns processos de assoreamento são mais velozes do que o previsto e que a

vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países do mundo decresceu de 100 para 22 anos nos últimos 50 anos.

O estudo sedimentológico é particularmente importante para o Brasil, em razão dos sistemas elétricos do país serem predominantemente hidráulicos. Atualmente, mais de 90% da energia elétrica consumida provêm de fontes hidráulicas, cujo papel de destaque deverá se manter ao longo das próximas três ou quatro décadas (CARVALHO et al., 2000).

Para Locher e Scanlon (2012), o assoreamento de reservatórios pode limitar a vida útil de um empreendimento hidrelétrico e esse processo pode ser agravado pelo manejo das bacias hidrográficas à montante.

O assoreamento de reservatórios segue padrões, que devem ser estudados e quantificados para predizerem os danos que serão causados ao aproveitamento, bem como o intervalo de tempo em que ocorrerão tais danos e quais estratégias poderão ser empregadas para minimizá-los (MORRIS; FAN, 1998).

De acordo com o *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios* (CARVALHO et al., 2000), a redução das velocidades das correntes dos cursos d'água provocadas pela implantação de reservatórios cria condições favoráveis à deposição de sedimentos.

Ocorrem, no reservatório, três tipos principais de deposição: delta, depósito de margem e depósito de leito. O delta é formado, principalmente, por partículas grossas, as primeiras a se depositarem, enquanto os demais são caracteristicamente formados por partículas finas que adentram o reservatório por correntes de turbidez. (CARVALHO et al., 2000; MORRIS; FAN, 1998).

Segundo Santos (1998), em seus estudos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, a maior parte dos sólidos suspensos sedimentáveis é constituída por silte, material facilmente erodível e de ocorrência comum na bacia estudada.

Os reservatórios interceptam a maior parte das descargas sólidas transportadas na rede fluvial. A determinação dos volumes de sedimentos neles depositados fornece indicações preciosas e, às vezes, decisivas sobre a produção de sedimentos pelas bacias hidrográficas. Essa determinação é, geralmente, feita por comparação entre levantamentos topobatimétricos feitos antes da construção da barragem e depois de um período de operação do reservatório, com uso de ecobatímetro (TUCCI, 1993).

Quando o aproveitamento se encontra em fase de operação, os estudos sedimentológicos são concentrados em torno do monitoramento das estações sedimentométricas instaladas à montante do reservatório e levantamentos batimétricos da área represada (CARVALHO et al., 2000). Para o monitoramento do assoreamento em reservatórios, os levantamentos batimétricos devem ser realizados necessariamente por ecobatímetros, de acordo com as orientações da Agência Nacional de Águas (ANA). Esse tipo de levantamento possibilita a medição da elevação do fundo do corpo d'água em vários pontos, georreferenciados, ao longo de seções espalhadas pelo reservatório.

De acordo com Abir e Abdallah (2010), o estudo batimétrico e os modelos numéricos de terreno se apresentam como ferramentas para quantificação do assoreamento e dar uma idéia de erosão da bacia.

A batimetria pode ser definida como a ciência que estuda a medição e o mapeamento de profundidades para representar, topograficamente, o fundo do oceano ou outros corpos d'água (KEARNS; BREMAN, 2010).

Em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e com o uso de técnicas de geoestatística, é possível interpolar informações de elevação contidas em vetores (pontos, linhas ou polígonos), para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE), que representam valores de elevação de forma contínua sob uma superfície topográfica. Por meio da sobreposição de MDEs de um reservatório,

obtidas em diferentes épocas, é possível constatar as mudanças ocorridas na sua topografia e, assim, identificar os padrões de assoreamento e a deposição de sedimentos ocorrida num intervalo de tempo. Essas técnicas foram utilizadas por diversos pesquisadores (ALBERTIN; MATOS; MAUAD; 2010; MUNTHALI; IRVINE; MURAYAMA, 2011; ODHIAMBO; BOSS, 2004).

2 OBJETIVO

Elaborar um mapa representativo do assoreamento no reservatório da UHE do Funil, com base no MDE gerado a partir de levantamentos topobatimétricos realizados em 2014 e, assim, determinar a capacidade de armazenamento atual do reservatório e elaboração de um diagnóstico da situação após 12 anos de operação do empreendimento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O Rio Grande nasce na vertente mineira da Serra da Mantiqueira no Município de Bocaina de Minas e junta-se ao Rio Paranaíba, na divisa entre os Estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo, para formar o Rio Paraná. O Rio Grande é o rio que possui o mais longo percurso dentro de Minas Gerais, com 1390 km de extensão. A Bacia do Rio Grande abrange 87 000 km² dentro de Minas Gerais, sendo a segunda maior bacia hidrográfica do estado (MARQUES; CURI; LIMA, 2002).

A Bacia do Alto Rio Grande vai desde sua nascente, a 1980 m de altitude, até à foz do Rio das Mortes a 800 m de altitude. Esses limites foram escolhidos não só por seu significado prático como, também, por já terem sido usados em estudo anterior (SANTOS, 1998) e pela Agência Nacional de Águas na subdivisão da Bacia do Rio Paraná. A Bacia do Alto Rio Grande assim limitada fica constituída por três sub-bacias como demonstrado na figura 1.A e 1.B, correspondendo aos principais braços desse trecho do Rio Grande: a sub-bacia do Rio das Mortes (6 000km²), a do Rio Capivari (2 000 km²) e a do Rio Grande (7 000 km²). A foz do Rio Capivari encontra-se a menos de 2 km da do Rio das Mortes. Assim, as três sub-bacias podem ser consideradas independentes. O Rio das Mortes possui, aproximadamente, 230 km de extensão e tem 68 m de largura com vazão média de 113 m³ s⁻¹, próximo à confluência com o Rio Grande. O Rio Capivari possui, aproximadamente, 70 km de extensão e tem 48 m de largura com vazão média de 34 m³ s⁻¹, próximo à confluência com Rio Grande. O Rio Grande possui, aproximadamente, 240 km de extensão e tem, aproximadamente, 75 m de largura com vazão média de 312 m³ s⁻¹, após receber águas do Rio das Mortes e do Rio Capivari. Os três rios possuem canais de formato trapezoidal, com fundo chato e baixa profundidade. Em épocas normais,

a profundidade varia de 2–3 m no Rio Grande e de 1–2 m nos Rios Capivari e das Mortes (Marques et al., 1998).

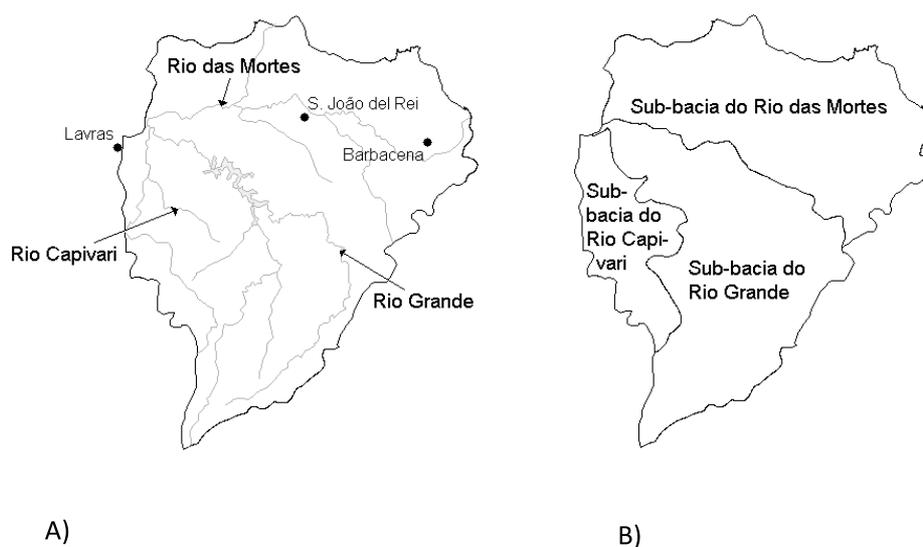


Figura 1 Mapa da Bacia do Alto Rio Grande mostrando: A) três principais sub-bacias e B) principais rios e cidades

Fonte: Marques, Curi e Lima (2002).

Segundo Marques, Curi e Lima (2002), a Bacia do Alto Rio Grande localizada no sul do Estado de Minas Gerais, abrange total ou parcialmente 64 municípios mineiros e ocupa uma área de 15 000 km² com uma população de, aproximadamente, 750 000 habitantes, apresentando baixo crescimento demográfico, aproximadamente 1% ao ano (a média brasileira é de aproximadamente 2%). Apesar disso, existe uma grande diversidade de ambientes antrópicos, desde o intensamente urbano e industrializado até o eminentemente rural.

De acordo com Oliveira e Pinto (2003), o diagnóstico de uso da terra é de fundamental importância para dar subsídio à estruturação de um plano de manejo sustentável de uma bacia hidrográfica, visto que o uso inadequado intensifica a degradação do solo pelos processos erosivos, reduz a produtividade dos solos agricultáveis, degrada os recursos hídricos e gera como consequência, problemas sociais e econômicos.

Em artigo publicado no Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, no auge da crise energética de 2000, Silva e Curi (2001), com base nos dados de Santos (1998) e Silva (2001), relatam os problemas de erosão hídrica e estimam o assoreamento do Reservatório da UHE Funil, devido ao uso e manejo incorreto dos solos na Bacia do Alto Rio Grande, Rio das Mortes e Rio Capivari. De acordo com os autores, além da susceptibilidade natural dos solos da bacia à erosão hídrica, o problema é agravado com a persistência de práticas agrícolas inadequadas e mineração. Um exemplo que trouxe consequências negativas é o cultivo convencional de batata (*Solanum tuberosum L.*) no Alto Rio Grande que reduziu em, aproximadamente, 50% a permeabilidade do solo (SILVA, 2001; SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005).

A vegetação nativa da Bacia do Alto Rio Grande encontra-se bastante afetada pela ação antrópica, sendo provável uma expansão do cerrado com consequente retração das formas florestais nos últimos três séculos. Como consequência, as informações disponíveis sobre qual seria a vegetação nativa original da bacia são bastante desconhecidas e, até mesmo, antagônicas (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, CETEC, 1983; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, 1983).

Atualmente, a forma de vegetação predominante no alto rio Grande é o cerrado, bastante modificado pelas pastagens extensivas, florestas, na sua

maioria, secundárias (capoeiras) encontram-se distribuídas, ocasionalmente, na paisagem (CETEC, 1983).

Induzida pelo homem, a erosão hídrica do solo, muitas vezes, ocorre como consequência da transformação das paisagens a pasto ou terras aráveis e é uma grande preocupação no contexto de degradação da terra (BAAD; FRANZ; REICHEL, 2012).

De acordo com as informações disponíveis, a degradação ambiental na Bacia do Alto Rio Grande pode ser considerada de média a alta. Índícios de deterioração da qualidade da água no Alto Rio Grande já haviam sido apontados anteriormente (CETEC, 1983). Boa parte da bacia, principalmente a sub-bacia do Rio das Mortes, é pontilhada por voçorocas (CETEC, 1983; FERREIRA 2005; FERREIRA et al., 2011), com conseqüente assoreamento dos cursos d'água. De acordo com Giarola et al. (1997), práticas de conservação de solo em trecho representativo da bacia foram consideradas inexistentes (SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005).

Estudos desenvolvidos por Santos (1998) estimaram as perdas de solo por erosão para todo o Alto Rio Grande, com base na quantidade de sedimentos transportados pelos principais rios da bacia. As perdas de solo assim calculadas são da ordem de $3 \text{ Mgha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esse valor difere do medido por Santos et al. (1998), por ser uma média de todos os solos da região e indicar a quantidade de solo que efetivamente alcança os cursos d'água principais. A maior parte das perdas de solo medidas por Santos et al. (1998) redistribui-se pela paisagem, sendo depositada em várzeas, baixadas e leitos de córregos e ribeirões.

O assoreamento é um problema em várias bacias hidrográficas brasileiras, especialmente quando a agricultura intensiva atinge novas fronteiras (AGOSTINHO; THOMAZ; GOMES, 2005).

A construção de uma barragem e a formação de seu reservatório implica em modificações nas condições naturais do curso d'água, a partir da redução na

velocidade da corrente e, conseqüentemente, na capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, favorecendo sua deposição nos reservatórios, que aos poucos, vão perdendo sua capacidade de armazenar água. Portanto, seja o reservatório para fins de geração de energia, de irrigação, de abastecimento ou de outros usos, o conhecimento da vida útil desse empreendimento dependerá, diretamente, do fluxo de sedimentos no curso d'água (LIMA et al., 2003).

A sedimentação do reservatório contínuo não só afeta a qualidade da água, mas, também, a morfologia do reservatório, assim, reduzindo o rendimento de água para um nível de fiabilidade dado (ARAÚJO; BRONSTERTZ; GUNTNER, 2005).

O estudo sedimentológico é, particularmente, importante para o Brasil em razão dos sistemas elétricos do país serem predominantemente hidráulicos. Atualmente, mais de 90% da energia elétrica por nós consumida provém de fontes hidráulicas, cujo papel de destaque deverá se manter ao longo das próximas três ou quatro décadas (CARVALHO et al., 2000). Apesar disso, verifica-se que estudos sedimentológicos não alcançam a profundidade adequada ou ficam incompletos. Estudos hidrológicos referentes ao regime dos rios, determinação das séries de vazões e outros afins, geralmente são efetuados de forma adequada, enquanto os estudos sedimentológicos, são realizados de forma incompleta. Atribui-se, a isso, o fato de que a maior parte da geração de energia no país é feita por grandes reservatórios, cujos problemas de assoreamento são considerados de pequena importância a curto e médio prazo para a geração (ALMEIDA; CARVALHO, 1993).

Em estudos realizados por Mahmood (1987), para o Banco Mundial, ficou evidente que a perda média anual de volume dos reservatórios, devido ao depósito de sedimentos era de 1%, sendo variável de um país para outro, bem como de região para outra. A partir de um estudo realizado pela Eletrobrás/IPH (1994 citado por CARVALHO, 1994), pode-se concluir que a perda anual de

capacidade de armazenamento dos reservatórios do nosso país é de aproximadamente 0,5 %.

Em 2003, entrou em operação a UHE Funil, localizada no rio Grande, entre os municípios de Lavras e Perdões, na região Sul do Estado de Minas Gerais. Com potência instalada de 180 MW, gera energia suficiente para abastecer uma cidade de 500 000 habitantes. O reservatório da UHE Funil compreende uma área de 34,71 km², que se estende pelos municípios de Lavras, Perdões, Ijací, Bom Sucesso, Ibituruna e Itumirim. A cerca de 30 km à montante da localização da usina, no reservatório, existem dois afluentes: o rio Capivari, pela margem esquerda, e o rio das Mortes, pela margem direita.

Santos (1998) estimou que a taxa de assoreamento na represa hidrelétrica do Funil, seria de aproximadamente 0,1 m ano⁻¹, se mantidas as atuais taxas de erosão e transporte de sedimentos, o que comprometerá, futuramente, todo o investimento feito na hidrelétrica. Igualmente importante é o problema da diminuição da abundância dos recursos hídricos. As vazões dos rios da Bacia do Alto Rio Grande medidas semanalmente por Santos (1998) nos anos de 1997 e 1998 são, aproximadamente, 20% inferiores às médias históricas.

O conjunto de técnicas utilizadas para quantificar a água de um corpo d'água é denominado hidrometria. Dentre essas técnicas, temos a batimetria que consiste em levantar dados referenciados ou georreferenciados da profundidade ou cota da superfície do fundo de um reservatório ou seção de um rio. No caso de reservatórios, são levantadas quantas seções forem necessárias para que, através de técnicas de modelagem 3D possa ser calculado o volume que este possui (ESTIGONI; MATOS, 2009).

Os métodos estatísticos para o reconhecimento de padrões têm sido amplamente utilizados e, atualmente, estão num avançado nível de desenvolvimento. Muitos métodos estatísticos são, também, relacionados a métodos paramétricos de reconhecimento de padrões, no sentido de que o

comportamento do classificador treinado é controlado pelos parâmetros de distribuição estatística que são usados para modelar as amostras de dados (VIEIRA, 2000).

Segundo Valeriano (2002), MDE permitem calcular uma série de variáveis topográficas, frequentemente solicitadas nas análises ambientais e nos empreendimentos de engenharia.

Os MDE são comumente utilizados como fonte de dados topográficos na análise de bacias hidrográficas. Segundo Moore, Grayson e Ladson (1991), a topografia de uma bacia hidrográfica tem um grande impacto sobre os processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos ativos na paisagem.

A distribuição espacial das variáveis topográficas pode, muitas vezes, ser usada como uma medida indireta da variabilidade espacial destes processos e permitir que estes sejam modelados. Deste modo, a utilização do MDE se faz necessária na grande maioria das análises realizadas por SIG.

Segundo Tribe (1992), a utilização de MDE em SIG deve gerar sentido de fluxo, fluxo de acumulação, o fluxo caminho, mapas ladeira, aspecto, a elevação, e da rede de drenagem, mais rápido e com maior precisão, em comparação com outros métodos clássicos cartográficos.

Moore, Grayson e Ladson (1991), afirmam que a utilização generalizada de mapas digitais de elevação e a evolução da tecnologia em SIG aceleram os estudos de investigação hidrológico e ambiental.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O reservatório da UHE Funil está localizado no Rio Grande, na bacia do alto rio Paraná, com eixo posicionado na divisa dos Municípios de Perdões e Lavras, no Estado de Minas Gerais. A cerca de 30 km da barragem existem dois grandes afluentes: o rio Capivari pela margem esquerda e o rio das Mortes pela margem direita que drenam diretamente ao encontro do rio Grande para o reservatório de Funil, conforme Figura 2.

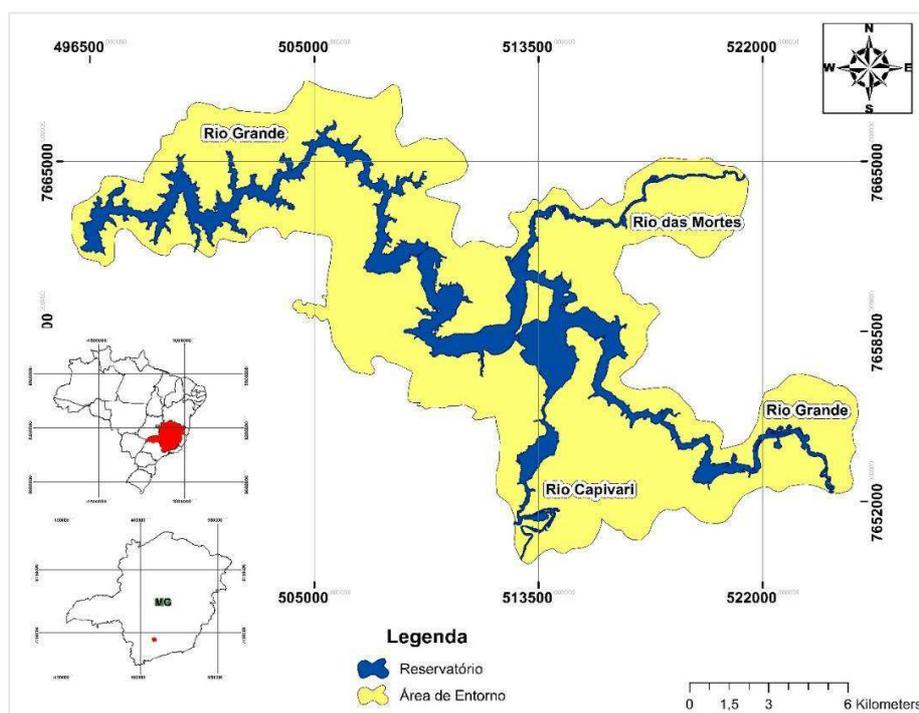


Figura 2 Localização do reservatório da UHE Funil e área de entorno

4.2 Levantamentos das Seções Batimétricas

O levantamento batimétrico foi executado no reservatório da UHE Funil, localizado nos Municípios mineiros de Lavras, Perdões, Ijaci, Bom Sucesso, Ibituruna e Itumirim, para determinação da curva cota x área x volume e os dados disponibilizados pelo empreendimento para este estudo.

O levantamento topobatimétrico das seções transversais do reservatório da UHE Funil, realizado em maio e outubro de 2012, cobriu todo estirão do reservatório no seu leito principal e braços. Foram levantadas 67 seções distribuídas da seguinte maneira: 52 seções no leito principal, ao longo do estirão de 58,5 km do rio Grande, 7 seções no leito do braço esquerdo, ao longo de 17 km do rio Capivari e 8 seções no leito do braço direito, ao longo de 10 km do rio das Mortes, fornecendo uma malha com 2.807 pontos amostrados.

Em 2014, um novo levantamento foi realizado para ajuste da cota x área x volume de forma mais adensada, sendo, para a mesma malha, coletados 69.334 pontos amostrados como demonstrado na Figura 3.

As coordenadas de cada vertical, juntamente com as profundidades, foram obtidas por meio do GPS Map-168 – “Sounder” de 34 canais e precisão submétrica, marca GARMIN.

Traçada uma linha imaginária entre o ponto inicial (PI), na margem direita, ao ponto final (PF) na margem esquerda. Com uma embarcação motorizada, equipada com ecobatímetro em movimento retilíneo uniforme e velocidade de 3,2 km/h foram tomadas as profundidades a cada segundo.

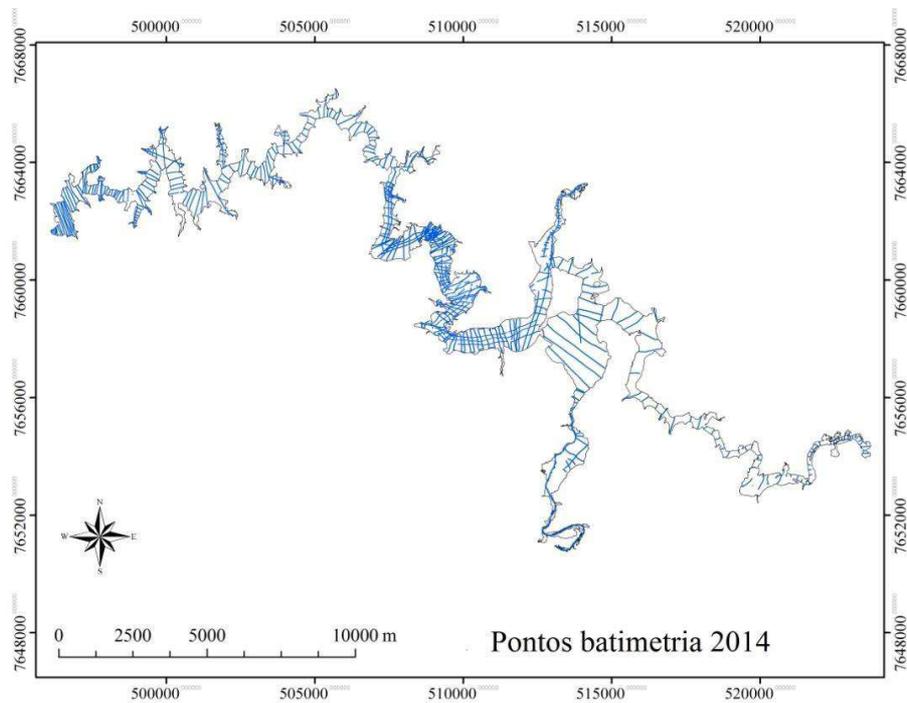


Figura 3 Mapa de pontos amostrados na batimetria do ano de 2014

A referência do nível da água foi lida antes do início de cada percurso horizontal, tomando-se como plano de referência, estacas instaladas para cada seção na margem direita (NA-MD) e na margem esquerda (NA-ME).

4.3 Levantamento planialtimétrico georreferenciado

Foram determinadas as coordenadas dos pontos inicial e final e das linhas de batimetria com o uso de dois receptores GPS L1/L2, no modo estático, da marca CHC, modelo X90, com 24 canais paralelos, de precisão nominal pós-processado, de $\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$, para os componentes horizontais e $\pm (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ para a componente vertical.

Utilizou-se um dos receptores como base, para o transporte de coordenadas ao segundo receptor, Rover. A base rastreou por um período de tempo que proporcionou a sobreposição entre os dados da estação Base e Rover. O tempo de rastreamento do Rover foi de 9 minutos.

Os dados dos receptores foram descarregados e convertidos para formato RINEX, utilizando software próprio do fabricante, o HcLoader.

O pós-processamento foi efetuado com o software Topcon Tools v.7.5.1 demo. As bases de referências foram:

- a) RBMC a MGBH, situada em Belo Horizonte- MG.
- b) MGIN, situada em Inconfidentes- MG.
- c) MGVA, situada em Varginha- MG.

Utilizaram-se, também, efemérides precisas dos satélites para se obter soluções fixas das linhas de base. O método é denominado Posicionamento Relativo Estático e tem como vantagem o aumento na precisão das distâncias estimadas entre receptores e satélites, o que garante uma melhor precisão na determinação das coordenadas.

4.4 Cálculo da cota - área – levantamento 2012

A avaliação do volume do reservatório foi feita considerando as áreas dos espelhos d'água entre as elevações que compõem a sua altura. Entre o fundo e o nível d'água máximo operacional (808,00 m) tem-se em torno de 40,00 m de profundidade. Dividindo o reservatório em sólidos de 5,00 m de altura e determinando as áreas relativas a essas profundidades, entre as elevações de 770,00 m a 805,00 m e a 808,00 m, determina-se o delta volume de cada delta

altura do reservatório, que contabilizados representa o volume do reservatório para cada elevação.

A área entre duas seções foi calculada através da multiplicação da distância molhada entre as duas seções e a largura média entre elas, para cada elevação retirada dos perfis das seções. O somatório das áreas é área total para cada elevação. A distância entre duas seções foi levantada a partir da sinuosidade do leito.

Na avaliação final da relação cota - área - volume com espaçamento de intervalo de metro utilizou-se o artifício da interpolação das áreas.

O procedimento para a determinação da cota x área x volume seguiu o seguinte roteiro:

- a) Foi determinada a distância molhada entre as seções, através da imagem do reservatório obtido no Google Earth
- b) Por meio dos perfis de cada seção batimétrica levantada, foi determinada a largura de cada elevação entre as cotas 770,00 m e 805,00 m e, também, para a elevação 808,00 m.
- c) Foi determinada a largura média entre duas seções contíguas.
- d) Com as distâncias entre duas seções e a largura média, foi calculada a área para cada uma das elevações entre as cotas 770,00 m e 805,00 m de 5 m em 5 m e para a elevação da cota 808,00 m.
- e) Foi comparada a curva cota - área determinada na época do projeto da usina e a curva cota - área levantada em 2012, para a verificação de eventuais discrepâncias.
- f) Em função de grande discrepância encontrada na área total do levantamento 2012 e o de projeto, foi calculada a área para a cota 808,00 m através de imagem do Google Earth.

- g) A partir da curva cota - área calculada em 2012 e a área total obtida através de imagem do Google, foram ajustadas equações exponenciais para essa curva, calculando a cota – área a cada metro.
- h) A partir da cota - área a cada metro, foi calculado o volume, através do método topo piramidal.
- i) A partir da área e volume foi calculado metro a metro, por meio de interpolação linear, o cálculo da área e do volume a cada centímetro.

4.5 Geração do MDE para o levantamento de 2014

A partir do levantamento batimétrico realizado em 2014, obtiveram-se 69334 pontos com medições de profundidade no reservatório. Para o cálculo da cota do leito do reservatório nos pontos amostrados, subtraiu-se o valor médio do nível da água observado durante o período no qual foi realizada a batimetria, de 807,93 m, pela profundidade determinada pelo ecobatímetro. Os valores gerados foram, então, interpolados em conjunção com pontos formados pelos vértices do perímetro do reservatório, com cota de 808 m. O *Topogrid* (HUTCHINSON, 1989) foi o método de interpolação utilizado, através da ferramenta *Topo to Raster*, do programa ArcGIS 9.3 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, ESRI, 2009). Dessa forma, obteve-se um MDE do leito do reservatório, em que valores de elevação estão contidos numa malha de células, representado a topografia submersa de forma contínua.

Para a escolha do tamanho de célula ideal do MDE, adotou-se um critério baseado na densidade amostral e na distância média entre os pontos amostrados, conforme proposto por Hengl (2006). Dessa forma, obteve-se um valor de 5,5m como o mais adequado para a resolução de célula. Uma vez gerado o MDE, um cálculo de capacidade de armazenamento do reservatório foi realizado, subtraindo-se da cota 808, a cota máxima operacional do

aproveitamento, os valores de elevação contidos em cada célula do MDE. O resultado dessa operação representa a profundidade da represa por unidade de célula, considerando-se o nível da água em seu máximo operacional. Em seguida, tais valores foram multiplicados pela área da célula do MDE, de 30,25 m². Dessa forma, obteve-se uma nova malha de células, na qual cada *pixel* continha o valor, em m³, de capacidade de armazenamento do reservatório nesse mesmo *pixel*. O somatório desses valores foi calculado, e, dessa forma, a atual capacidade de armazenamento do reservatório da UHE Funil foi estimada. Metodologia semelhante para o cálculo da capacidade de reservação de represas foi adotado por Ortt Jr., Vanryswick e Wells (2008) e Írvem (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados disponíveis, foi possível gerar um MDE do leito do reservatório demonstrado na figura 4.

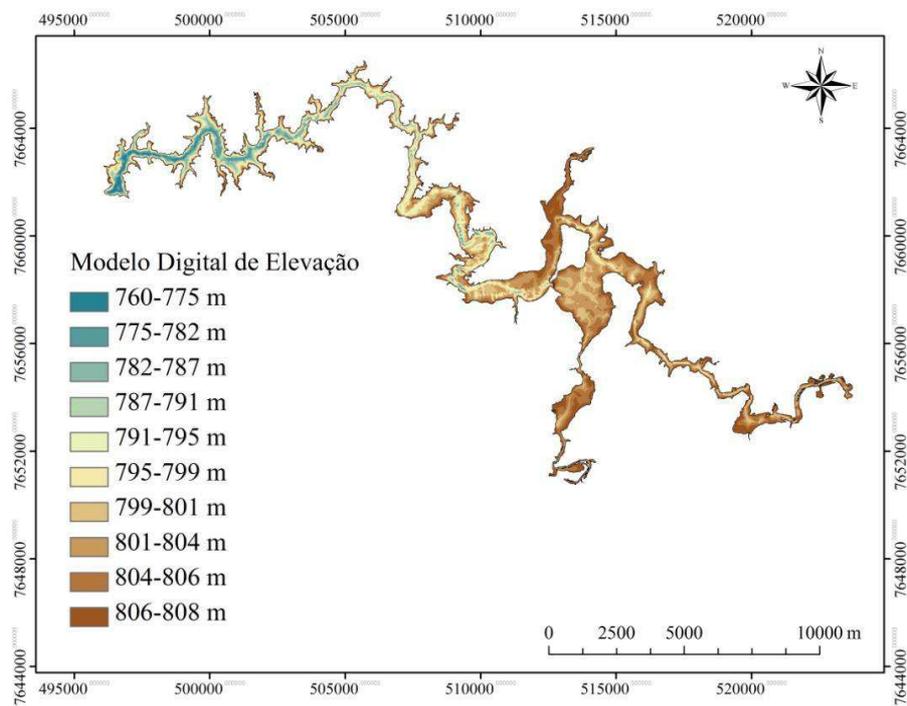


Figura 4 Modelo de elevação do reservatório Funil 2014

O resultado para a capacidade de armazenamento do reservatório de Funil, calculada pela Cota x Área x Volume apresentada pelo empreendimento na batimetria realizada em 2012, estão descritos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Área Ajustada e do projeto para o ano de 2012

AJUSTADA 2012		PROJETO	
Cota (m)	Área (km ²)	Cota (m)	Área (km ²)
808	33	808	34,7

Tabela 2 Volume Calculado 2012

COTA-ÁREA-VOLUME 2012		
Cota (m)	Área (km ²)	Volume (m ³)
808	33	265.245.000

De acordo com os levantamentos de batimetria realizados em 2012, levando em consideração a cota de levantamento 808, de acordo com o ajuste do estudo a área do reservatório ajustada passa a ser de 33 km², diferente do projeto inicial que consta nos levantamentos que seria de 34,7 km².

Em se tratando do volume calculado do empreendimento, levando em consideração a cota 808 no levantamento de 2012, o volume do reservatório seria de 265 milhões de metros cúbicos.

A atual capacidade de armazenamento do reservatório da UHE Funil, a partir do MDE gerado pelos dados coletados em 2014, foi estimada em 259 milhões de metros cúbicos. Os volumes calculados de armazenamento do reservatório para 2012 e 2014 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Quadro comparativo das campanhas 2012/2014

ANO	COTA	ÁREA (KM ²)	VOLUME (MILHÕES M ³)
2012	808	32,99	265,245
2014	808	33,51	259,640

A metodologia aplicada para calcular o volume de armazenamento em 2014 não pode ser utilizada para o mesmo cálculo para os dados de 2012, em razão de sua baixa densidade amostral, considerando o tamanho do reservatório.

Considerando os resultados encontrados, ocorreu em 2 anos operativos 2012 a 2014, uma diminuição da capacidade de armazenamento da ordem de aproximadamente 5,6 milhões de metros cúbicos o que representa 2,1% da capacidade calculada em 2012.

Esses dados vêm ao encontro das estimativas citadas por Mahmood (1987), de que a perda média anual de volume dos reservatórios, em decorrência do depósito de sedimentos era de 1%, e acima dos 0,5% citados por Carvalho, (1994), a partir de um estudo realizado pela Eletrobrás/IPH (1994), para reservatórios brasileiros.

Santos (1998) calculou que o volume anual de sedimentos que contribui para o assoreamento dos rios que formam o atual reservatório de Funil é da ordem de: 1,5 milhão de m³/ ano para o rio Capivari, 290 mil m³/ano para o rio Grande e de 2,25 milhões de m³/ano para o rio das Mortes.

A perda anual apresentada neste trabalho é da ordem de 2,8 milhões de m³/ano para o período amostrado, abaixo dos 4 milhões de m³/ano estimados por Santos (1998).

O MDE gerado, onde valores de elevação estão contidos numa malha de células representando a topografia submersa de forma contínua, permitiu identificar, na parte mais à jusante no sentido do final do fluxo, claramente o canal principal do leito do rio, mas se torna menos definido nas áreas mais à montante, conforme Figuras 5 e 6.

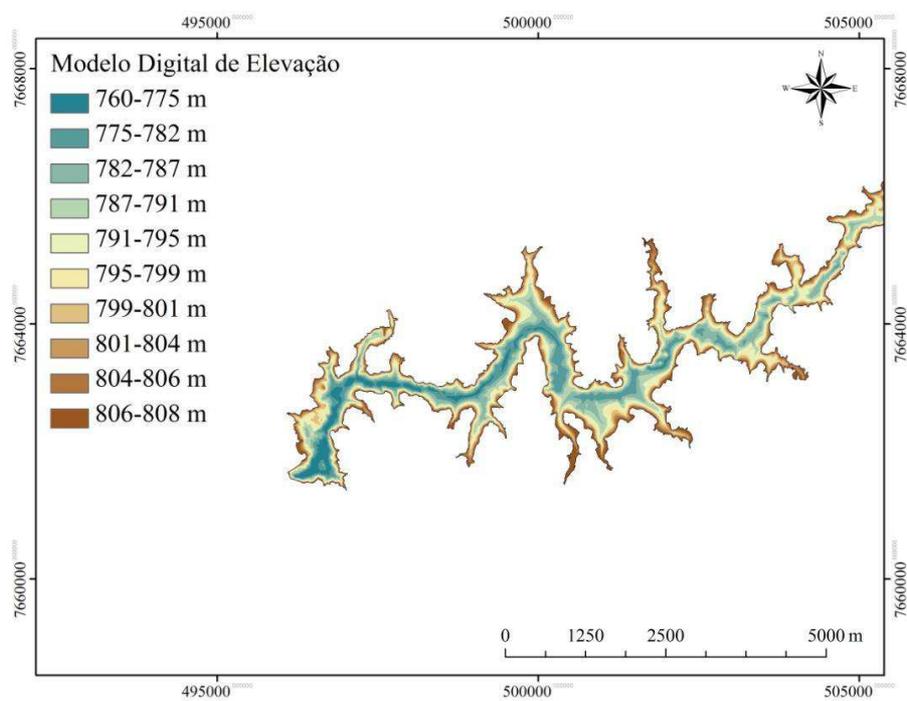


Figura 5 Trecho mais a jusante do Reservatório da UHE Funil

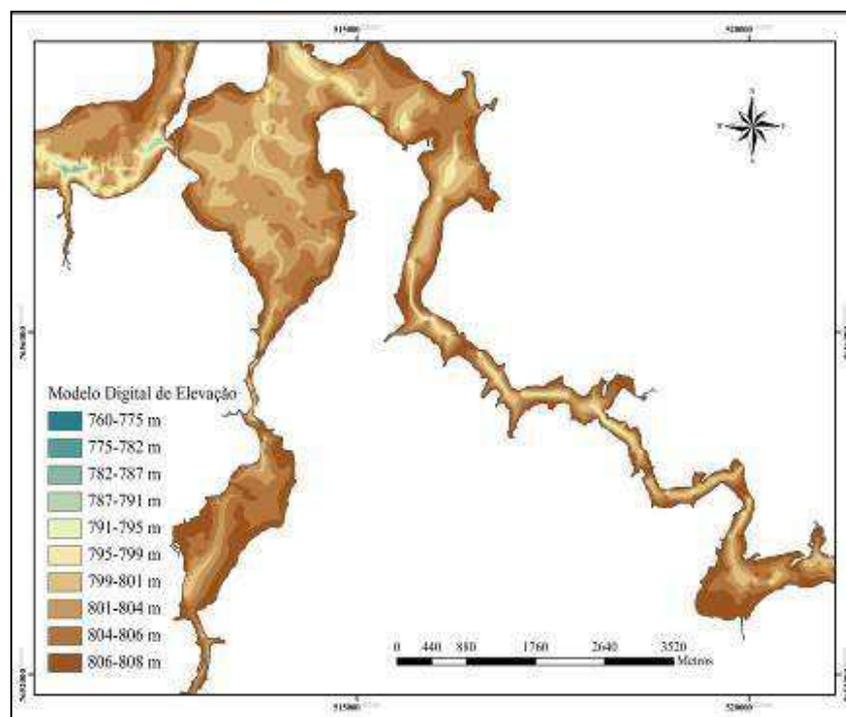


Figura 6 Trecho mais a montante do Reservatório da UHE Funil

Observou-se, também, que as áreas mais assoreadas estão localizadas na região dos deltas dos rios Mortes e Capivari, conforme figura 7.

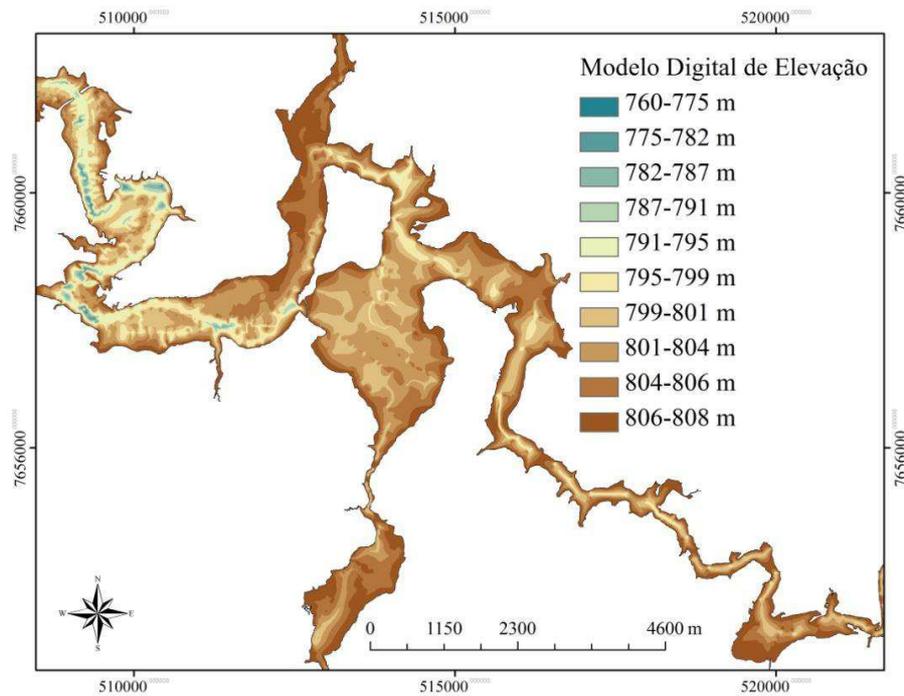


Figura 7 Deltas do rios Grande, Mortes e Capivari

Imagens de satélites da região dos deltas na foz dos rios Mortes e Capivari, extraídas do aplicativo GoogleEarth®, apresentam a evidência de formação de depósitos no rio das Mortes, próximos à foz, e no rio Capivari, a montante da ponte rodoviária. Ainda se observa na imagem de 2013 a diferença de tonalidade da água entre o rio das Mortes e demais cursos de água, fator que evidencia maior turbidez associada às maiores taxas de transporte sólido daquele rio. (Figuras 8 a 11).



Figura 8 Confluência entre o rio das Mortes e o rio Grande (Abril de 2003)
Fonte: GoogleEarth® (2015).



Figura 9 Confluência entre o rio das Mortes e o rio Grande (Abril de 2013)
Fonte: GoogleEarth® (2015).

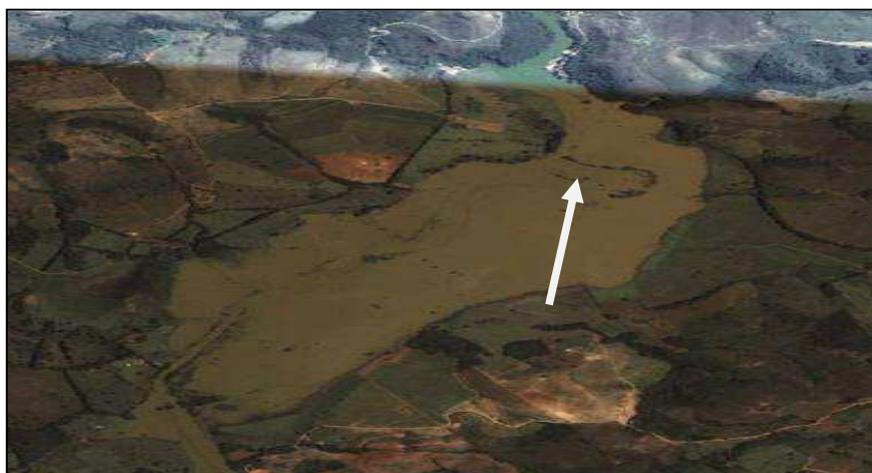


Figura 10 Rio Capivari (Fevereiro de 2003)

Fonte: GoogleEarth® (2015).



Figura 11 Rio Capivari (Abril de 2013)

Fonte: GoogleEarth® (2015).

Imagens disponibilizadas pelo empreendimento do rebaixamento do reservatório realizado em 2008 ilustram o avanço do assoreamento no delta do rio das Mortes e a montante da ponte rodoviária do rio Capivari (figuras 12 e 13)



Figura 12 Assoreamento identificado na confluência do rio Grande com o rio das Mortes, em junho de 2008, durante o rebaixamento do reservatório



Figura 13 Assoreamento identificado no rio Capivari, em junho de 2008, durante o rebaixamento do reservatório

6 CONCLUSÕES

A diminuição anual da capacidade de armazenamento do reservatório de Funil apresentada para os dois últimos anos operativos, é da ordem de 2,8 milhões de m³ por ano ou 1,05 %; valor superior ao previsto nos prognósticos dos estudos de projeto do empreendimento e aos valores de referência da ordem de 0,5% para reservatórios brasileiros encontrados na literatura, comprometendo consideravelmente a vida útil do empreendimento, caso esse quadro se mantenha.

Os pontos de maior assoreamento são no delta do rio das Mortes e Capivari que, em função de um estreitamento da calha, o sedimento concentrou-se um pouco mais a montante do delta.

O assoreamento está ocorrendo de forma acelerada nos últimos anos e, conseqüentemente, a sobrelevação de fundo do reservatório aumentando os riscos de interferência e inundações em áreas de ocupação antrópica que cresce no entorno do reservatório.

O modelo digital de elevação mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliação ambiental proposta, mas é imprescindível o adensamento da malha de pontos amostrais para geração de um modelo mais refinado e uma avaliação mais precisa.

REFERÊNCIAS

- ABIR, M.; ABDALLAH, B. M. Quantification of silting of reservoirs and evaluation of watershed erosion: a case study of three dams in the north of Tunisia. In: WORLD FRIEND CONFERENCE: global change - facing risks and threats to water resources, 6., 2010, Fez, **Proceedings...** Fez, Morocco: IAHS, 2010. p. 382-389. (Publication, 340).
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. **Conservation Biology**, Boston, v. 19, n. 3, p. 646-652, June 2005.
- ALBERTIN, L. L.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. Cálculo do volume e análise da deposição de sedimentos do Reservatório de Três Irmãos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 57-67, dez. 2010.
- ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. de O. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE Mascarenhas, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1., 1993, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 1993. p. 167-173.
- ARAÚJO J. C. de A.; BRONSTERTZ, A.; GUNTNER, A. Influence of reservoir sedimentation on water yield in the semiarid region of Brazil. **Sediment Budgets**, v. 2, n. 292, p.301-330, 2005. (SYMPOSIUM, 7., 2005, Foz do Iguaçu). (IAHS Publication, 292).
- BAADE, J.; FRANZ, S.; REICHEL, A. Reservoir siltation and sediment yield in the kruger national park, South Africa: a first assessment. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 23, n. 6, 586-600, Nov./Dec. 2012.
- CARVALHO, N. de O. et al. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 140 p.
- CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, ELETROBRÁS, 1994. 372 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, version 9.3. Redlands, 2009. CD ROM.

ESTIGONI, M. V.; MATOS, A. J. Comparação de diferentes batimetrias do reservatório da Usina Hidroelétrica do Lobo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. **Anais...** Campo Grande: 2009.

FERREIRA, V. M. et al. Influencia antrópica e atributos de solo: inre-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, n. 1, p. 5-22, jan./abr. 2011.

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG**: origem, uso da terra e atributos do solo. 2005. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158 p.

GIAROLA, N. F. B. et al. **Solos da região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG)**: perspectiva ambiental. Lavras: CEMIG/UFLA, 1997. 101 p.

GOOGLE EARTH®. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers and Geosciences**, New York, v. 32, n. 9, p. 1283-1298, Nov. 2006.

HU, B. Q. Z. S. et al. Sedimentation in the Three Gorges Dam and the future trend of Changjiang (Yangtze River) sediment flux to the sea. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 13, p. 2253-2264, 2009.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v. 106, n. 3-4, p. 211-232, Apr. 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto RADAMBRASIL** - levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983. v. 32, 780 p.

ÍRVEM, A. Application of GIS to determine storage volume and surface area of reservoirs: the case study of Buyuk Karacay Dam. **International Journal of Natural and Engieerinf Sciences**, v. 5, n. 13, p. 39-43, 2011.

KEARNS, A.; BREMAN, J. Bathymetry - the art and science of seafloor modeling for modern applications. In: BREMAN, J. (Ed.). **Ocean globe**. Redlands: ESRI, 2010. p.1-36.

LIMA, J. E. F. W. et al. Fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

LOCHER, H.; SCANLON, A. Sustainable hydropower – issues and approaches. BOROUJENI, H. S. (Ed.). In: **Hydropower** – practice and application. InTech, 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/hydropower-practice-and-application/sustainable-hydropower-issuesand>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

MAHMOOD, K. Reservoir sedimentation – impact, extent and mitigation. **World Bank Tech**, Washington, n. 71, 1987. Paper.

MARQUES, J. J.G.S.M.; CURI, N.; LIMA, J. M. **Recursos ambientais da Bacia do Alto Rio Grande, Minas Gerais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, n. 1, p. 3-30, Jan./Mar. 1991.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**. McGraw-Hill Book, 1998. 848 p.

MUNTHALI, G. K.; IRVINE, B. J.; MURAYAMA, Y. Reservoir sedimentation and flood control: using a geographical information system to estimate sediment yield of the songwe river watershed in Malawi. **Sustainability**, Basel Switzerland, v. 3, n. 1, p. 254-269, Jan. 2011.

ODHIAMBO, B. K.; BOSS, S. K. Integrated echo sounder, GPS, and GIS for reservoir sedimentation studies: examples from two Arkansas lakes. **Journal of the American Water Resources Association**, Herdon, v. 40, n. 4, p. 981-997, Aug. 2004.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F. Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João, SP. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 197-224, ago. 2003.

ORTT JR, R. A.; RYSWICK, S. van; WELLS, D. V. Bathymetry and sediment accumulation of Triadelphia and Rocky Gorge reservoirs. **File Reports**, 2007, Coastal and Estuarine Geology, File Report 2007-03.

SANTOS, D. et al. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183–89, fev. 1998.

SANTOS, E. H. M. dos. **Descarga de sedimentos transportados em suspensão por três rios da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande**. 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

SILVA, M. L. N.; CURI, N. **Uso e conservação do solo e da água e a crise energética**: reflexões e exemplos em Minas Gerais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. v. 26. (Boletim Informativo, 4).

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia Alto do Rio Grande – MG**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

TRIBE, A. Automated Recognition of valley heads from digital elevation models. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v. 16, n. 1, p. 33-49, 1991.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/ EDUSP, 1993. 943 p.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São Jose dos Campos: INPE, 2002. 54 p. (INPE-9364-RPQ/736).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

ZHANG, Q. et al. Human-induced regulations of river channels and implications for hydrological alterations in the Pearl River Delta, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Berlin, v. 25, n. 7, p. 1001-1011, Oct. 2011.