

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
ENGENHARIA AMBIENTAL**

AMANDA AMORIM CORREA GARCIA

**ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA E GRANULOMETRIA DO
SEDIMENTO DE FUNDO DO RIO IGUATEMI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2017

AMANDA AMORIM CORREA GARCIA

**ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA E GRANULOMETRIA DO
SEDIMENTO DE FUNDO DO RIO IGUATEMI**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Dra. Carla Cristina Bem

Co-orientador: Msc. Anderson Braga
Mendes

MEDIANEIRA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA E GRANULOMETRIA DO FUNDO DO RIO
IGUATEMI

por

AMANDA AMORIM CORREA GARCIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 18:40h do dia 05 de dezembro de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Carla Cristina Bem
Prof.(a) Orientador(a)

Fabiana Schutz
Membro titular

Laércio Frare
Membro titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Primeiramente dedico esse trabalho aos meus pais, Armando e Evelyn, e meu irmão Armando Neto, que me conduziram e incentivaram desde o começo de minha jornada.

À minha avó Luiza que tornou possível todo o meu trajeto pelo curso, e por todo apoio durante esse período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, irmão e avó, por todo carinho, apoio, compreensão, confiança e ensinamentos que me foram dados ao longo dos anos e por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

À universidade por ter me dado a oportunidade de realizar esse curso com professores qualificados e excelente ambiente.

Ao meu co-orientador e supervisor de estágio Anderson Braga, meus colegas de trabalho Cristiane Fiorentin e Cicero Medeiros, juntamente com toda a equipe do departamento, por toda a orientação e ensinamento, e principalmente por terem me possibilitado a realização dessa pesquisa.

À minha professora orientadora Carla Bem por toda orientação, paciência e suporte durante todo esse período.

Agradeço a todos meus amigos e meu namorado, que me deram força de vontade para continuar, e alegria ao meu dia-a-dia. Agradeço de forma especial à Júlia Gomes e Délins Coelho por todos esses anos de amizade, e à Paola Lopes e Rebecca Souza, por além de tudo estarem do meu lado nos momentos mais difíceis de todo esse trajeto.

Aos meus colegas de curso por todo o percurso que passamos juntos ao longo da graduação.

Finalmente, a todos que fizeram parte direta ou indiretamente da minha formação e que acabei não citando, o meu muito obrigada.

RESUMO

GARCIA, Amanda. **Estimativa da Descarga Sólida e Granulometria do Sedimento de fundo do Rio Iguatemi**. 2017. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

O assoreamento é um problema muito recorrente nos cursos d'água, tendo como principal causa a erosão antrópica, originada de práticas inadequadas de uso do solo e devastação das áreas de preservação permanente. A erosão produz diversos impactos para os cursos d'água, como por exemplo diminuição da qualidade da água, prejuízos à vida aquática, aumento do risco de enchentes e, por fim, a diminuição da vida útil de reservatórios hidrelétricos. Em vista disso, a empresa Itaipu Binacional possui um monitoramento contínuo dos afluentes do rio Paraná, visando monitorar a quantidade de sedimentos que estão se depositando no reservatório. Os sedimentos podem ser classificados em: sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e os de fundo (composto por sedimentos saltantes e de arrasto), sendo os sólidos de fundo, aliados aos de suspensão que sedimentam os responsáveis por diminuir a vida útil da usina hidrelétrica. Dentro deste contexto, este trabalho realizou a comparação dos valores de descarga sólida de leito calculada por método direto (amostragem) e por método indireto, utilizado pela empresa Itaipu Binacional, próximo à foz do rio Iguatemi, afluente do Rio Paraná pela margem matogrossense do sul. Mais de 64% de todo o sedimento coletado das três amostras ficaram retidos na peneira de malha 50 (0,297 mm), sendo em vazões mais altas o predomínio de granulometrias maiores. Quanto aos valores de descarga sólida, houve diferenças entre os métodos direto e indireto de 1 a 2 vezes nas últimas amostras e de até 5 vezes na primeira, causada possivelmente pelo equipamento ainda não adaptado apropriadamente. Como esperado, a descarga sólida (direta e indireta) mostrou uma relação positiva com a descarga líquida. De modo geral tem-se que a diferença entre o método direto e indireto de estimativa de descarga sólida é muito pequeno.

Palavras-chave: Sedimento de fundo. Rio Iguatemi. Descarga Sólida.

ABSTRACT

GARCIA, Amanda. **Estimation of Solid Discharge and Granulometry from Bottom Sediment of the Iguatemi River**. 2017. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

The silting is a really common problem on the water courses, being the biggest reason the anthropic erosion caused by improper use of the soil and deforestation of vegetation near the rivers. This erosion causes several negative consequences for the water course, for example, the decrease of the water quality for consumption, impairing of aquatic life, causes floods and reduces the lifespan of hydroelectric reservoirs. For this reason, the enterprise Itaipu Binacional has a continuous monitoring of the tributaries of Paraná River to have the control of the amount of sediment that is depositing on its reservoir. This sediments can be classified as: suspended solids, dissolved solids (that don't deposit), and as bottom ones (composed by gross particles, which never leave the bottom, and the jumping particles, that can be on the bottom or suspended), being both types responsible for reducing the lifespan of hydroelectric plants. This paper has the purpose to compare the values of the solid bottom discharge estimated by the direct method (sampling) and the indirect method, used by Itaipu Binacional, which considers the solid bottom discharge as 20% of the total, the granulometry is also gonna be done by sieving the bottom sediment of the Iguatemi River, affluent of the Paraná River by the right bank of Mato Grosso do Sul. More than 64% of all sediment that was collected of all samples were retained in the 50 mesh sieve (0,297), in highest flow discharge there were also bigger sediments, as for the solid discharge, there were differences of 1 to 2 times on the last samples and 5 times on the first one, caused by the use of a sampler without adaptation. About the solid discharge, it was demonstrated a proportion with the liquid discharge. Generally, the difference between the direct and indirect estimation method of solid discharge is small.

Key-words: Bottom sediment. Iguatemi River. Solid discharge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Encontro do Rio Iguatemi com o Rio Paraná	18
Figura 2 - Seção Transversal de coleta no Rio Iguatemi	19
Figura 3 – Fluxograma da metodologia aplicada	20
Figura 4 – Guincho manual tifer utilizado para esticar o cabo de aço	21
Figura 5 - Fluxograma do método de coleta da amostra de sedimento de fundo	21
Figura 6 - Amostrador portátil BLM - 84 adaptado ao moodelo Hayley Smith	22
Figura 7 - Amostra sendo retirada do amostrador e guardada em saco plástico	22
Figura 8 - Amostra com sedimento de todas as verticais	23
Figura 9 - Amostra a ser drenada	25
Figura 10 - Forma contendo amostra na estufa	25
Figura 11 - Peneiras empilhadas no agitador eletromagnético	26
Figura 12 - Amostra retida na Peneira de mesh 50	27
Figura 13 - Granulometria separada pelos béqueres	27
Figura 14 - Fluxograma da análise granulométrica	28
Figura 15 - Fluxograma do cálculo da descarga sólida de arrasto pelo método direto	29
Gráfico 1 - Curva Granulométrica das três amostras de material de fundo do rio Iguatemi	31
Gráfico 2 – Comparativo entre valores pelo método direto e indireto nas amostras coletadas	32
Gráfico 3 - Relação entre Descargas Sólidas e Líquidas	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conversão dos valores de abertura em Mesh para milímetros (mm)	16
Quadro 2 – Campanhas de coleta de sedimento de fundo do rio Iguatemi	23
Quadro 3 - Valores das Descargas Sólidas	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SEDIMENTOS	13
2.2 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	14
2.3 ASSOREAMENTO DE AMBIENTES AQUÁTICOS SUPERFICIAIS	14
2.4 CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA DE FUNDO	15
2.5 QUANTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA	16
3 METODOLOGIA	18
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.2 MÉTODOS	19
3.2.1 Amostragem do sedimento de fundo	20
3.2.2 Análise no laboratório	24
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5 CONCLUSÃO	35
6 REFERÊNCIAS	36
ANEXO A - Perfil da Transversal do Rio Iguatemi	39
ANEXO B – Barco utilizado nas medições a ser posto na água	40
ANEXO C – Cabo de aço esticado nas duas margens do Rio	41
ANEXO D – Distância entre os pontos sendo medida e marcado no cabo de aço	42
ANEXO E – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 1	43
ANEXO F – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 2	44
ANEXO G – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 3	45
ANEXO H – Quadro com valores de Descargas líquida e descargas sólidas (indiretas e diretas)	46

1 INTRODUÇÃO

A produção e o transporte de sedimentos, causados principalmente por intemperismo físico, químico e de origem natural ou antrópica, é um tema importante a ser estudado em bacias hidrográficas, uma vez que pode trazer grandes problemas ambientais como, por exemplo, o assoreamento de rios, lagos e reservatórios. No caso de usinas hidrelétricas, como a Itaipu Binacional, os estudos de sedimentos são essenciais para controlar e estimar a vida útil dos reservatórios.

Os sedimentos podem ser divididos basicamente em dissolvidos, em suspensão, saltantes e de arrasto. Os sedimentos dissolvidos e em suspensão não entram em contato com o fundo do rio e estão sempre suspensos no veio líquido e podem acarretar prejuízos para a vida aquática e para alguns usos da água como captação para abastecimento doméstico, uma vez que o custo de seu tratamento aumenta. Os sedimentos de arrasto são os sedimentos de fundo que estão sempre no leito do curso d'água, e os sedimentos saltantes, que alternam entre ficar em suspensão e no leito, além de trazer prejuízos para a vida aquática e para o tratamento da água, também diminuem a vida útil de reservatórios e prejudicam a navegação. Os sedimentos de fundo (ou de leito) são os sedimentos de arrasto em conjunto com os saltantes.

Existem vários métodos indiretos para o cálculo da descarga de sedimentos de fundo, seja na utilização de fórmulas próprias para isso, seja no emprego de uma porcentagem com base da descarga sólida total. No método direto são realizadas coletas da descarga de fundo com equipamentos específicos em um determinado tempo. O sedimento coletado é pesado e é estimado o transporte horário, diário ou anual. O método mais comumente utilizado é o indireto.

A empresa Itaipu Binacional atualmente utiliza de métodos indiretos para o cálculo da descarga de fundo, mais especificamente o Método Modificado de Colby (1955) onde 20% da descarga total é considerada de fundo, dado obtido da literatura com base em rios com características similares aos por ela monitorados. Para o cálculo dessa descarga total, determinada a partir da descarga de suspensão, é utilizada curva-chave de sedimentos. Com ambos valores é possível obter a

descarga sólida em suspensão, e com ela determinar a descarga total e, finalmente, a de leito. Neste trabalho analisou-se o valor da descarga de fundo que está sendo utilizado pelo método indireto empregado pela Itaipu está de acordo com o valor das coletas realizadas no ano de 2017 em campo e calculado pelo método direto no rio Iguatemi juntamente com a granulometria de seu sedimento de fundo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Determinar o transporte de sedimentos de fundo (em t/ano) na seção transversal do rio Iguatemi- MS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar amostras do sedimento de fundo no rio Iguatemi em diferentes vazões;
- Determinar granulometria dos sedimentos de fundo coletados no rio Iguatemi na seção de medição;
- Comparar os valores obtidos na coleta direta com o valor atualmente empregado na Itaipu Binacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SEDIMENTOS

Sedimento em sua pura definição se refere a qualquer partícula depositada, porém, é comumente utilizado quando designado a uma partícula derivada de rocha ou de materiais biológicos que sofreu intemperismo químico e/ou físico e que pode ser transportado principalmente pela água e pelo vento de seu local de origem até os rios e locais de deposição (SOUSA, 2011).

Os sedimentos podem ser classificados em basicamente três tipos: Os sedimentos em suspensão, que são as partículas mais finas, geralmente silte e argila, com diâmetros aproximados de 0,05mm à 0,002mm respectivamente (EMBRAPA, 2012) e que permanecem sempre em suspensão na água. Os sedimentos saltantes, que alternam entre ficar em suspensão quando a corrente está com maior velocidade e ficar no leito do rio geralmente são compostas pelas areias mais finas. Os sedimentos de fundo são compostos geralmente por areias finas, médias e grossas, com diâmetro de 0,05mm a 2,0mm (EMBRAPA, 2012) e por pedregulhos, que estão localizados sempre no leito do canal (CARVALHO, 2008).

De acordo com Christofolletti (1981) apud MARTINS (2004), são duas as forças principais que atuam sobre a dinâmica fluvial e o transporte de sedimentos: a força da gravidade e a tensão de cisalhamento, onde quando a força da gravidade é maior que a tensão de cisalhamento, os sedimentos se depositam no leito, e quando a situação se inverte, os sedimentos ficam em suspensão.

É comum os sedimentos saltantes e de arrasto serem unificados em uma só categoria: os sedimentos de leito (ou de fundo), uma vez que durante análises de descarga de fundo, existem ambos os tipos (CARVALHO, 2008).

2.2 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A produção de sedimentos é altamente dependente do tipo de solo da região, relevo, clima, fauna, flora e ação humana. Existem solos mais propensos à erosão e ao intemperismo, que seriam os solos arenosos. Relevos menos planos e climas mais chuvosos também aceleram o processo. Quanto à flora, a mesma tem papel fundamental quanto à intensidade da erosão, uma vez que quanto menor a cobertura vegetal, maior é o arraste de sedimento para dentro dos cursos d'água, pois não existe nenhuma barreira física para os mesmos até o rio em dias de chuvas intensas (SCAPIN, 2005).

A erosão e o transporte de sedimentos são processos naturais, porém com a ação desenfreada do homem, acabam se intensificando muito. Ações como a retirada da cobertura vegetal, manejo inadequado do solo, ocupação urbana acelerada sem o planejamento adequado aumentam a erosão, e conseqüentemente o transporte de sedimentos e o assoreamento dos cursos d'água (SCAPIN, 2005).

A quantidade de sedimentos transportadas no curso d'água geralmente é expressa em metros cúbicos, ou toneladas, porém também para uma situação mais específica, em $m^3/km^2/ano$ ou $t/km^2/ano$, quando referida à área de uma bacia hidrográfica (BRUNE, 2014).

2.3 ASSOREAMENTO DE AMBIENTES AQUÁTICOS SUPERFICIAIS

O cálculo da descarga sólida de fundo no curso do rio é importante para se realizar um estudo de assoreamento, que é definido como o depósito de solo na foz de um curso d'água. Esse depósito pode ocasionar em um aumento na ocorrência de enchentes, elevar os custos do tratamento da água para a distribuição, prejudicar a prática de navegação, prejudicar as formas de vida do ambiente aquático e diminuir a vida útil de reservatórios (SCAPIN et al., 2007).

Os custos para desassorear o leito de um rio, lago ou reservatório são elevados; portanto, devem ser priorizadas medidas preventivas acompanhadas de um monitoramento sedimentométrico (CARVALHO, 2008).

Em reservatórios hidrelétricos, geralmente a velocidade da corrente é suficiente para que os sedimentos mais finos em suspensão não se depositem,

fazendo com que os mesmos passem pelas turbinas sem dificuldades, porém os sedimentos de leito, como areias e pedregulhos, que se movem no leito do rio, se depositam no fundo do lago do reservatório causando o assoreamento, que com o passar do tempo diminui a lâmina de água do reservatório, aproximando os sedimentos depositados a tomada d'água da turbina, se esses sedimentos entrarem na turbina, por conta da alta velocidade, os mesmos viram como projéteis, danificando as turbinas sendo necessário manutenção frequente, conseqüentemente diminuindo o lucro da usina, diminuindo sua vida útil (CARVALHO, 2008). De acordo com Yuqian (1989 apud ANEEL, 2000), para trechos de rios importantes ou reservatórios deverão ser monitorados, pelo menos, 80% da área de drenagem compreendida.

Portanto, é fundamental que em usinas hidrelétricas seja conhecida a descarga de leito, descarga em suspensão e a granulometria do material dos afluentes de seu reservatório para se ter um controle da erosão e do assoreamento do reservatório (CARVALHO, 2008).

2.4 CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA DE FUNDO

Existem métodos diretos e indiretos para a determinação da descarga sólida de arrasto de uma seção. Porém, os métodos indiretos são os mais comumente utilizados por conta da dificuldade e o custo de se conseguir os dados diretos. (BRUNE, 2014).

Há vários amostradores que podem ser utilizados para essa coleta, alguns deles são os de Losiebsky, Nesper, Ehrenberger, Muhlhofer, Polyakov e entre outros. Para o método direto é necessário a utilização de equipamentos de coleta como um amostrador portátil BLM – 84 adaptado ao modelo do amostrador Hayley Smith. Esse amostrador consiste em peças conjugadas em aço em inoxidável, onde a parte da frente consiste em um paralelepípedo com seção conhecida, soldado a um tronco de pirâmide, e seu fundo é plano para melhor acomodação no leito do rio. Na parte posterior do equipamento foi ajustada uma saca com tela de malha para a retenção do material de leito, a adaptação foi feita utilizando a armação em forma de torpedo do Hayley Smith (CARVALHO, 2008). Para a amostragem do material de

leito, recomenda-se coletar no mínimo em cinco verticais bem distribuídas (ANEEL, 2000).

Os métodos indiretos variam desde métodos puramente empíricos até modelagens teóricas complexas (MARTINS; STEVAUX, 2005). As principais fórmulas utilizadas para os cálculos de descarga sólida de fundo são as de: Laursen, Engelund & Hansen, Toffaleti, Colby, Fórmula de Yang para areias e pedregulhos, e a de Ackers & White (CARVALHO, 2008).

O cálculo indireto realizado atualmente na Itaipu tem como base o Método Modificado de Colby, que diz que o valor da descarga sólida de fundo pode ser considerado como 20% do valor da descarga total (MENDES et al., 2010).

2.5 QUANTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA

A análise granulométrica do material do leito é realizada utilizando peneiras padronizadas quanto à abertura das malhas e espessura dos fios feitos, sendo a série Tyler a mais comumente utilizada, que possui fios com 0,053 mm de espessura (ANEEL, 2000).

O ensaio consiste em empilhar as peneiras de modo com que a peneira com abertura maior, menor malha (mesh), fique na parte superior, ou seja, as peneiras devem ser empilhadas de forma decrescente com sua malha, e abaixo da peneira mais fina, um recipiente para recolher as partículas mais finas que não serão retidas. Em seguida, as peneiras são colocadas sob agitação por um determinado período tempo em um agitador. Após a agitação ter terminado, as frações retidas em cada peneira são pesadas (ANEEL, 2000).

No Quadro 1 apresenta-se a relação de conversão entre a unidade Mesh e milímetros de acordo com Anvisa (2011).

Quadro 1 - Conversão dos valores de abertura em Mesh para milímetros (mm)

MESH Peneira	Abertura (mm)
30	0,59
35	0,5
50	0,297
60	0,25
70	0,21

MESH Peneira	Abertura (mm)
100	0,149
120	0,125
140	0,105
200	0,074
635	0,02
Fundo	<0,02

Fonte: Adaptado de Anvisa (2011)

O método do peneiramento é mais comumente utilizado para sedimentos de granulometrias maiores como pedregulhos e areias finas, médias e grossas por conta das aberturas das peneiras não conseguirem reter os sólidos mais finos (argila e silte), onde podem ser classificados como: Granulometria menor do que 0,06 mm, sólidos finos; entre 0,06 mm e 0,2 mm, areias finas; entre 0,2 mm e 0,6 mm areias médias; entre 0,6 mm e 2,0 mm areias grossas e acima de 2,0mm como pedregulhos (ABNT/NBR 6502, 1995).

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo analisado foi a seção transversal do rio Iguatemi localizada no estado do Mato Grosso do Sul, no município de Eldorado.

O rio Iguatemi é um curso de água de nível 2 com cerca de 218 km de extensão e aproximadamente 80 metros de largura no local da coleta com profundidade média de 2,5 metros (ANEXO A), caracterizado como um rio de planície, com sua Unidade de Planejamento e Gerenciamento (UPG) de mesmo nome com uma área de 10.073,76 km², pertencente à Bacia do Rio Paraná.

Está localizada no extremo sul do Mato Grosso do Sul, onde tem sua nascente no município de Aral Moreira, e faz a divisa dos municípios de Japorã e Eldorado, desaguando como afluente da margem direita do rio Paraná, como mostra a Figura 1 e o local da realização da coleta na Figura 2 (coordenadas geográficas 23°50'15.8"S 54°19'59.7"W).



Figura 1 - Encontro do Rio Iguatemi com o Rio Paraná
Fonte: Google Maps



Figura 2 - Seção Transversal de coleta no Rio Iguatemi
Fonte: Google Maps

O rio Iguatemi possui uma grande influência sob o reservatório de Itaipu, uma vez que a maior parte da constituição de seu material de fundo é areia, portanto uma parcela alta de seu leito arenoso acaba sendo depositado no fundo do lago de Itaipu.

O clima na região é predominantemente tropical, com invernos quentes e secos. Os níveis de precipitação são constantes ao longo do ano, com os valores máximos (150 mm em média) ocorrendo nos meses de dezembro e janeiro, e os mínimos (50 mm em média) em julho e agosto. Sua vegetação é predominantemente ciliar, e o uso do solo é mais de 80% direcionado à pecuária e agricultura (ESQUERDO et al., 2014).

3.2 MÉTODOS

A metodologia adotada consiste basicamente na coleta da amostra, análise de laboratório (peneiramento para análise da granulometria), a análise dos dados pelos métodos diretos e indiretos e finalmente o resultado, como pode ser observado na Figura 3.

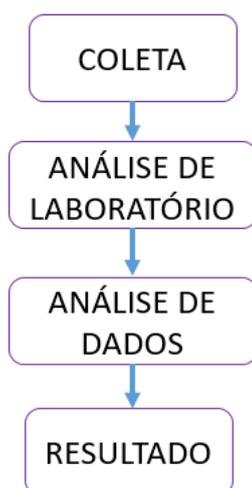


Figura 3 – Fluxograma da metodologia aplicada
Fonte: Autoria própria (2017)

3.2.1 Amostragem do sedimento de fundo

No total foram realizadas 3 coletas. Depois de colocado o barco na água e chegado à seção transversal de monitoramento para a coleta (ANEXO B), um cabo de aço foi esticado entre as margens para garantir a amostragem na seção (ANEXO C) com o auxílio do guincho manual titor (Figura 4). Em cada coleta foi realizada a mediação da largura da seção (ANEXO D); após isso foi estimado a quantidade de pontos de coleta nas verticais equidistantes baseando-se na largura da seção transversal, que pode variar durante o ano por conta das temporadas de chuva, e os mesmos são marcados no cabo de aço para melhor localização. Todo esse processo está indicado no fluxograma da Figura 5.



Figura 4 – Guincho manual titor utilizado para esticar o cabo de aço
Fonte: Autoria própria (2017)

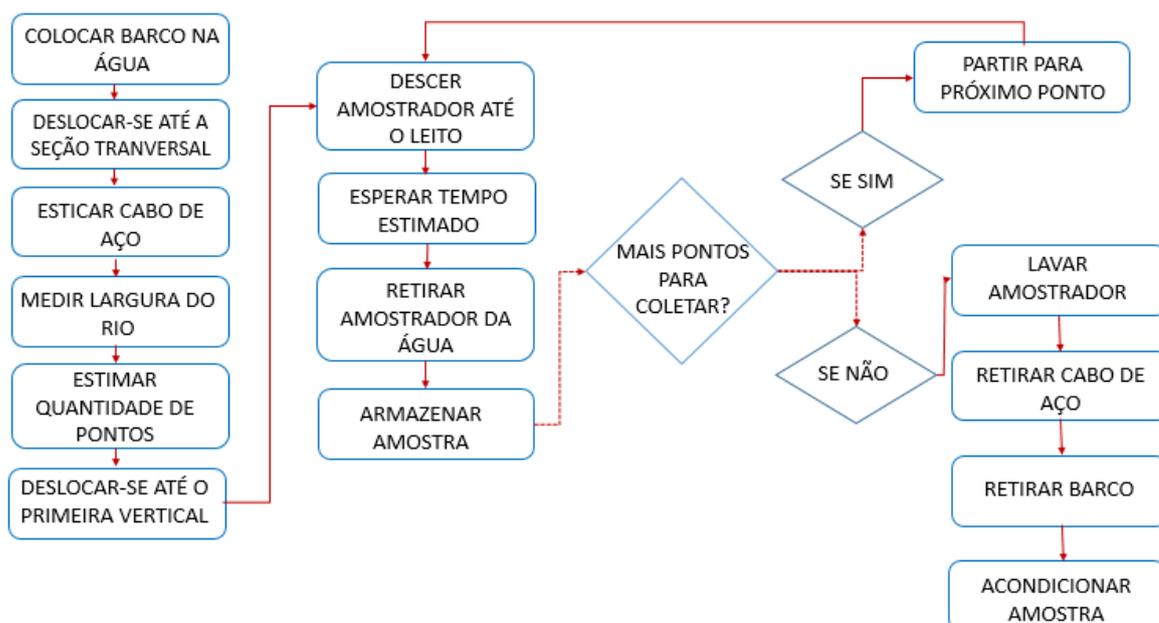


Figura 5 - Fluxograma do método de coleta da amostra de sedimento de fundo
Fonte: Autoria própria (2017)

O equipamento utilizado para coleta do sedimento de fundo é um amostrador portátil BLM – 84 adaptado ao modelo de Hayley Smith, que consiste basicamente em peças conjugadas em aço inoxidável, onde a parte da frente é um paralelepípedo com seção de 7,7 por 7,7 centímetros soldado a um tronco de pirâmide. Seu fundo é plano para melhor acomodação no leito do rio. Na parte posterior do equipamento foi ajustada uma saca com tela de malha para a retenção do material de leito (CARVALHO, 2008) como pode ser observado na Figura 6.

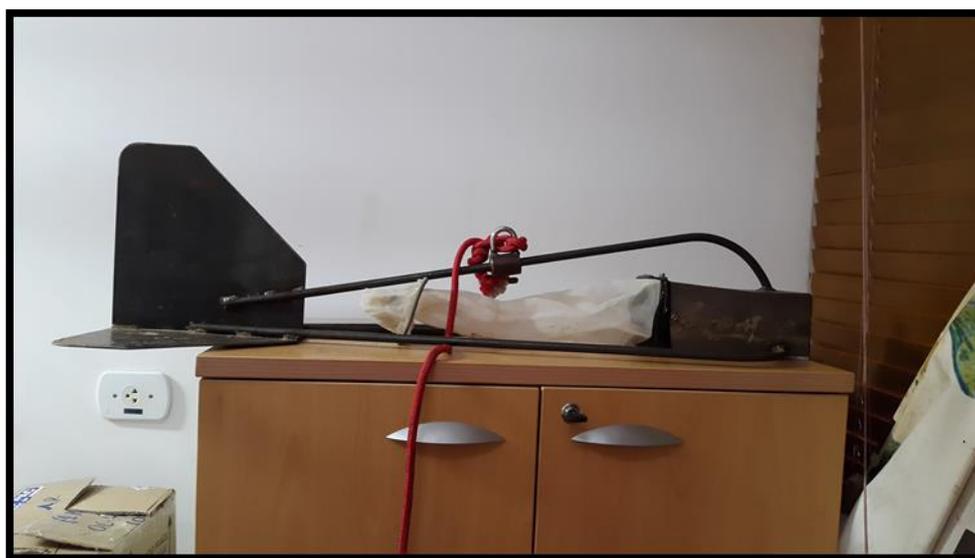


Figura 6 - Amostrador portátil BLM - 84 adaptado ao modelo Hayley Smith
Fonte: Autoria própria (2017)

Em seguida o barco é levado para o primeiro ponto, onde o amostrador é colocado na água, e abaixado até se acomodar no leito do rio, onde permanecerá por um tempo estipulado (mesmo tempo em todas as verticais), nesse caso, dois minutos. Esse tempo é estimado levando em consideração a vazão do rio, e a quantidade de sedimento coletado em cada vertical. Depois de dado o tempo o amostrador é retirado da água, o conteúdo coletado é armazenado em uma sacola plástica identificada (Figura 7) e o barco segue para o próximo ponto de coleta, onde o processo será repetido até todos os pontos serem coletados.



Figura 7 - Amostra sendo retirada do amostrador e guardada em saco plástico
Fonte: Autoria própria (2017)

As amostras são misturadas em um único recipiente (Figura 8). Depois, todo o material de fundo é levado ao laboratório de sedimentologia da Itaipu Binacional para secagem em estufa. O peso seco da amostra total é aferido por meio de balança de precisão e anotado.



Figura 8 - Amostra com sedimento de todas as verticais
Fonte: Autoria própria (2017)

O horário de início e término das coletas também é anotado para que posteriormente se possa obter a vazão média para posterior estimativa da descarga sólida.

O número de verticais coletadas foi estimado com base na largura do rio no momento da coleta, que é influenciado pelos níveis pluviométricos da época do ano,

onde cinco é número mínimo de verticais para coleta de sedimento de fundo (CARVALHO, 2008).

Os detalhes das campanhas de coleta podem ser verificados no Quadro 2.

Quadro 2– Campanhas de coleta de sedimento de fundo do rio Iguatemi

Campanhas	Data	Largura do rio	N° de verticais coletadas	Intervalo entre verticais	Tempo de espera do coletor
1ª Campanha	16/05/2017	90 metros	20	4 metros	2 minutos
2ª Campanha	18/08/2017	80 metros	13	6 metros	2 minutos
3ª Campanha	19/10/2017	80 metros	10	8 metros	2 minutos

Fonte: Aatoria própria (2017)

A primeira campanha de campo foi realizada no dia 16 de maio de 2017, em 20 verticais na seção de medição com 90 metros de largura no rio Iguatemi, sendo cada ponto coletado em um intervalo equidistante de 4 metros. O tempo de amostragem adotado para cada vertical foi de dois minutos. A análise granulométrica foi feita utilizando-se vibração de 50% por 10 minutos, duas vezes.

Já na segunda campanha de campo, realizada no dia dezoito de agosto de 2017, foram feitas 13 verticais na seção de medição com 80 metros de largura no rio Iguatemi (a diminuição da seção transversal do rio deve-se ao fato de nesta data ser um período de seca na região), sendo cada ponto coletado em um intervalo equidistante de seis metros. Na terceira e última coleta, o rio manteve a largura de 80 metros e foram adotadas 10 verticais de coleta, com espaçamento de oito metros.

O tempo de amostragem adotado para cada vertical foi novamente de dois minutos, a análise granulométrica seguiu o mesmo procedimento da amostra da primeira campanha de campo.

3.2.2 Análise no laboratório

Em cada coleta foram analisados os parâmetros de acordo com a Metodologia Modificada de Colby de 1955 (ANEEL, 2000).

Primeiramente a amostra que está armazenada em um saco plástico, ainda com água, é despejada em uma forma de metal, tomando cuidado para que não fique muito sedimento retido no plástico, para evitar perdas de material. Em seguida, o excesso de água na forma é retirado com uma bomba a vácuo (Figura 9), para que então a mesma seja colocada na estufa (Figura 10), em uma temperatura aproximada de 105°C até que todo o sedimento da amostra esteja seco para ser pesado em uma balança.

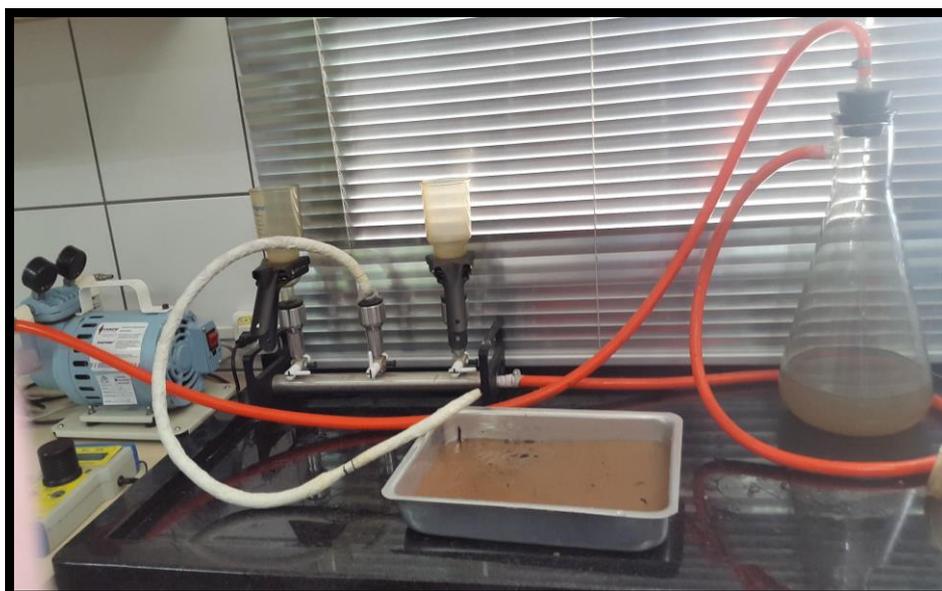


Figura 9 - Amostra a ser drenada
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 10 - Forma contendo amostra na estufa
Fonte: Autoria própria (2017)

Para a próxima etapa de análise da granulometria, foram utilizadas peneiras de diferentes malhas com diferentes diâmetros acopladas a um agitador eletromagnético (Figura 11). É feito o peneiramento de acordo com o Método de Suguio (1973) adaptado, seguindo a escala da Embrapa (2012), utilizando peneiras da série Tyler.



Figura 11 - Peneiras empilhadas no agitador eletromagnético
Fonte: Autoria própria (2017)

Para esta análise, foram utilizadas peneiras de mesh 635, 200, 140, 120, 100, 70, 60, 50, 35 e 30, que são empilhadas de baixo para cima respectivamente sobre o recipiente de fundo, utilizado para coletar as amostras com granulometrias menores do que o mesh 635. Em seguida o peneirador é ajustado para 10 minutos em uma vibração de 50% e a amostra na forma é despejada lentamente na peneira

de 30 mesh. Durante os 10 minutos de peneiramento são pesados os béquers limpos que serão utilizados para colocar as amostras das peneiras.

Assim que termina o tempo programado, o peneirador desliga e as duas peneiras de cima (30 e 35 mesh) são retiradas e o material retido em cada uma é colocado com cuidado (para evitar perdas) nos béquers já tarados, e os mesmos são pesados novamente.

Por conta da maioria da amostra ficar retida no mesh 50 (Figura 12), o peneirador foi ligado por mais 10 minutos e com a ajuda de uma espátula a amostra foi sendo mexida juntamente com o peneirador. Assim que terminado o tempo, as peneiras são retiradas e os materiais retidos colocados nos béquers (Figura 13).



Figura 12 - Amostra retida na Peneira de mesh 50
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 13 - Granulometria separada pelos béqueres
Fonte: Autoria própria (2017)

Quando o volume de amostra coleta é muito grande, o material é dividido em dois e o procedimento é realizado exatamente da mesma forma. De forma resumida o método de análise da granulometria é representado pela Figura 14.

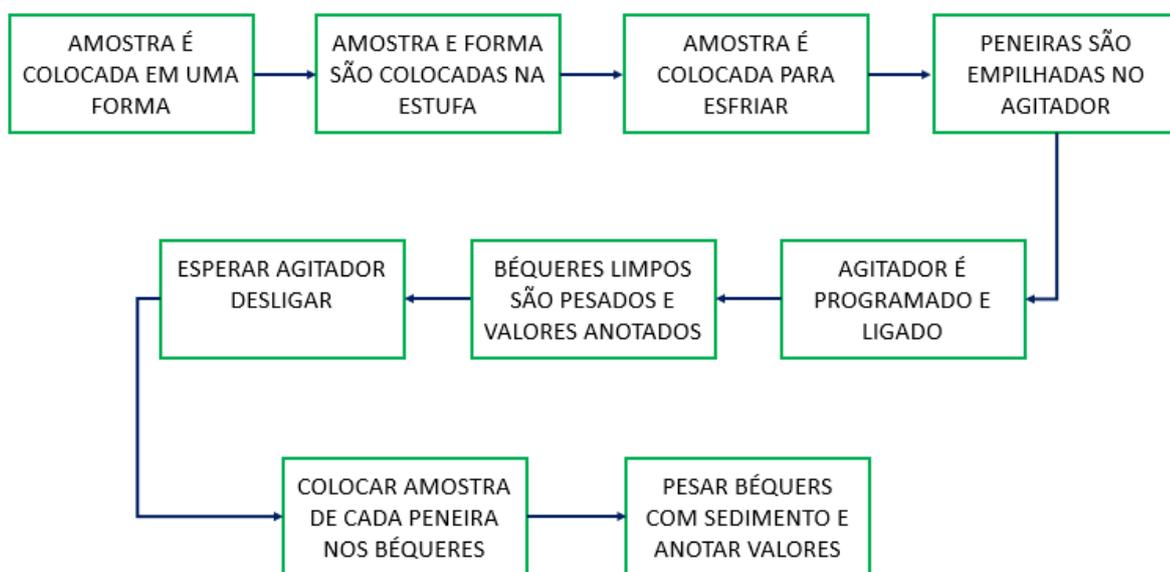


Figura 14 - Fluxograma da análise granulométrica
Fonte: Autoria própria (2017)

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram processados no software Excel, onde é calculado o peso do sedimento em cada peneira e o total da amostra.

Para o cálculo da descarga sólida de arrasto, é realizado o procedimento ilustrado pelo fluxograma na Figura 15, onde primeiramente os pesos dos sedimentos retidos nas peneiras são somados e então normalizados para o tempo de um minuto; como cada coleta foi feita em um tempo de dois minutos, o valor do peso total foi dividido por dois, e em seguida é estimado o peso de sedimento para uma hora multiplicando o valor anterior por 60.

Assim, tem-se o valor do peso total de sedimento que seria coletado (teoricamente) em uma hora, porém, como foram coletados apenas alguns pontos do trecho inteiro do rio, é estimado o quanto seria coletado se fosse amostrado toda a seção transversal do rio. Com os valores da largura do rio, número de pontos, e largura da base do amostrador, obtendo-se o valor final.

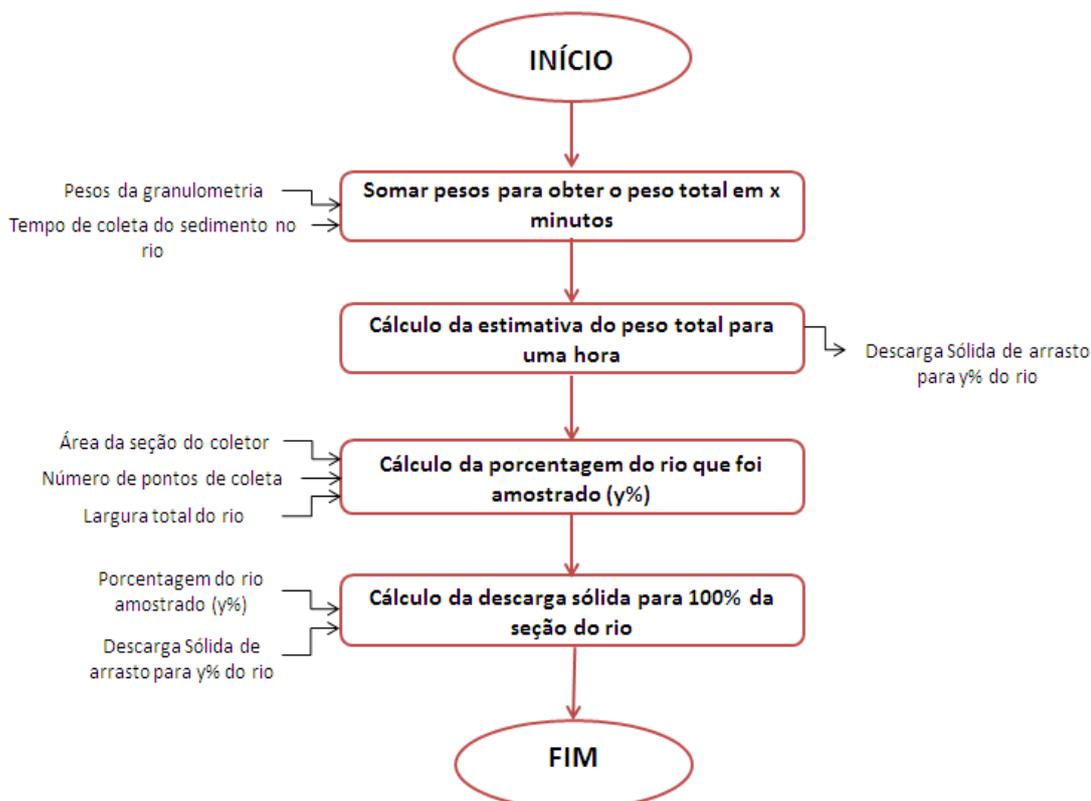


Figura 15 - Fluxograma do cálculo da descarga sólida de arrasto pelo método direto
Fonte: Autoria própria (2017)

Já o cálculo da descarga sólida de fundo da forma indireta é realizado através do método empregado na Itaipu, utilizando-se a curva-chave de sedimentos em suspensão do rio Iguatemi na seção em estudo com base na vazão média da hora da coleta.

É encontrado o valor da concentração de sólidos suspensos (em mg/l) associado àquela vazão média da hora da coleta (em m³/s). Após isso, as unidades são normalizadas e o valor da concentração de sedimentos em suspensão é multiplicada pela vazão, obtendo-se a descarga sólida em suspensão média diária (em t/dia).

Substituindo-se esse valor, e com as Equações 1 e 2, onde Q_{st} é a descarga sólida total, Q_{ss} a descarga sólida em suspensão, e Q_{sl} a descarga sólida de leito, é possível chegar a um sistema linear (Equação 3), e conseqüentemente ao valor da descarga sólida de fundo.

$$Q_{st} = Q_{ss} + Q_{sl} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Q_{sl} = 0,2 * Q_{st} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\begin{cases} Q_{st} = Q_{ss} + Q_{sl} \\ Q_{sl} = 0,2 * Q_{st} \end{cases} \quad (\text{Equação 3})$$

Após se obter os valores pelos métodos direto e indireto e da granulometria da amostra, foram feitas as curvas granulométricas, um gráfico relacionando os valores de descargas líquidas e sólidas (diretas e indiretas) e um gráfico de dispersão relacionando os valores do método direto e indireto. Esses valores são divididos para calcular a relação entre ambos e averiguar a validade da atribuição feita pela Itaipu Binacional à descarga sólida do leito.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A granulometria obtida nos experimentos pode ser observada através do Gráfico 1, pelas curvas granulométricas das 3 amostras, juntamente com os ANEXOS E, F e G com as porcentagens de material retido em cada peneira em cada uma das amostras.

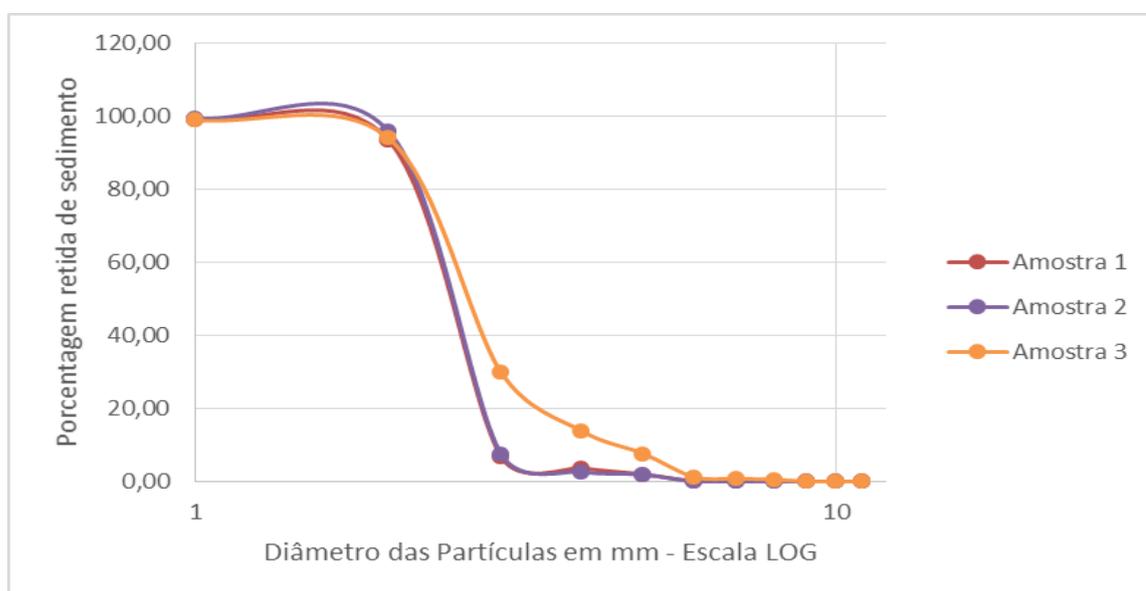


Gráfico 1 - Curva Granulométrica das três amostras de material de fundo do rio Iguatemi
Fonte: Autoria própria (2017)

Pode-se perceber pelas tabelas e pelo Gráfico 1 que a granulometria das três amostras se manteve constante mostrando uma homogeneidade entre as 3 coletas, onde a maior parte de toda a amostra está concentrada nas peneiras de menor mesh, ou seja, com um maior diâmetro de abertura das peneiras.

A peneira que mais reteve sedimento foi a de mesh 50 (0,297 mm) com cerca de 64 à 88% de toda a amostra (ANEXO E, F e G). Já a segunda peneira com mais material retido variou de acordo com a campanha, na primeira foi a peneira de mesh 35 (0,5 mm aproximadamente) com 3% de sedimento acumulado enquanto na segunda e na terceira campanha a de mesh 60 (aproximadamente 0,25 mm) ficou entre 5 e 16% retido da amostra total. Já as demais peneiras de mesh 30, 70, 100,

120, 140, 200, 635 e maior do que 635 obtiveram porcentagens acumuladas abaixo de 7%.

Um dos possíveis motivos para a mudança da distribuição dos sedimentos na terceira amostra (onde em vez de 88% ficou 64% de porcentagem retida de sedimento) seria a diferença de vazão nos três dias de coleta, onde no terceiro dia a vazão foi a mais baixa, com aproximadamente 131 m³/s, enquanto na primeira e na segunda coleta as vazões foram em torno de 200 e 250 m³/s, possibilitando que sedimentos mais finos se depositassem ao fundo, uma vez que a velocidade não se encontrava tão alta.

Mesmo assim, o sedimento de fundo do Rio Iguatemi pode ser classificado como em sua grande maioria como Areia Média de acordo com a ABNT por conta de seus diâmetros mais predominantes serem entre 0,2 e 0,6 mm.

Quanto aos valores de descarga sólida direta e indireta, houve grandes diferenças nos valores, como pode ser observado no Gráfico 2 e no Quadro 3.

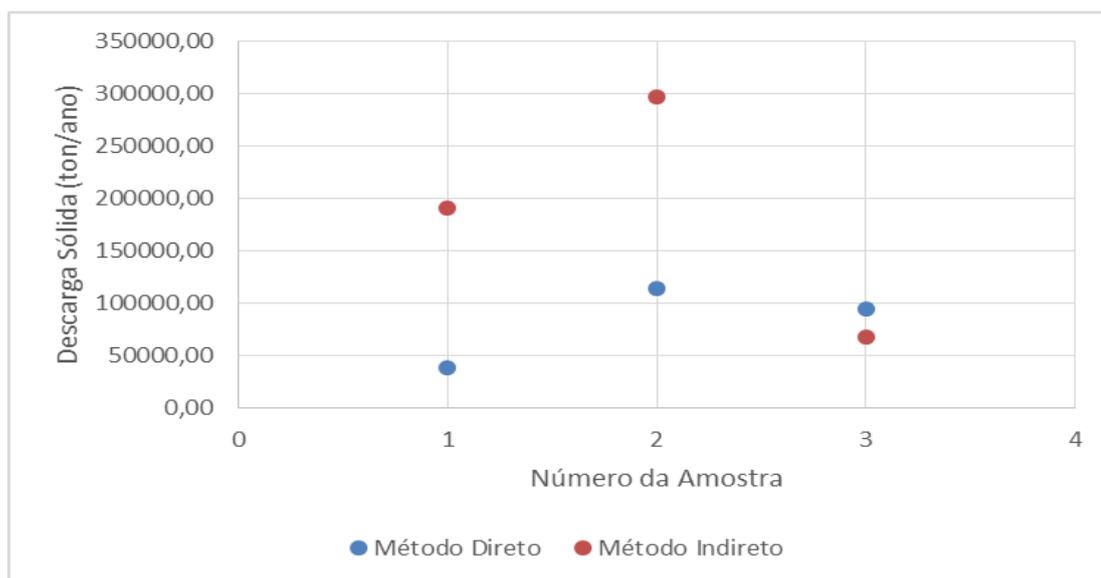


Gráfico 2 – Comparativo entre valores pelo método direto e indireto nas amostras coletadas
Fonte: Autoria própria (2017)

Quadro 3 - Valores das Descargas Sólidas

Número da Amostra	Descarga Sólida Direta (t/ano)	Descarga Sólida Indireta (t/ano)	Relação Descarga Indireta / Direta
Amostra 1	38930,88	191042,19	+4,91
Amostra 2	113867,01	297415,94	+2,61
Amostra 3	95274,95	67970,47	-1,40

Fonte: Autoria própria (2017)

Como se pode observar, houve uma diferença entre os valores de descarga direta e indireta, onde a primeira amostra foi a que se mostrou com maior diferença, onde a descarga indireta se mostrou até 5 vezes maior do que a direta, enquanto a segunda amostra teve uma diferença de 2,6 vezes e a terceira de apenas 1,4 vezes menor. De forma geral, o método indireto se mostrou 6,12 vezes maior que o direto.

Isso pode ter acontecido devido ao fato que na primeira amostra ainda não havia sido feita a adaptação do amostrador BML-84 ao modelo de Hayley Smith, ou seja, o mesmo ainda não possuía uma forma hidrodinâmica deixando-o em direção paralela à correnteza, fazendo com que o amostrador não tivesse estabilidade e girasse no leito do rio, podendo ocasionar em perda de sedimento amostrado em vazões muito altas.

Pela dificuldade da coleta, geralmente não são feitas muitas análises de descarga sólida de fundo pelo método direto. Geralmente outros autores como Brune (2014), Scapin (2005) e Júnior (2013) fazem pesquisas e comparações de descarga sólida de sedimentos apenas com a de suspensão, por não precisar de amostradores muitos sofisticados, a tornando mais fácil de ser obtida.

A comparação dos valores de descarga sólida pelos métodos direto e indireto com a descarga líquida está apresentada no Gráfico 3 e no Anexo H.

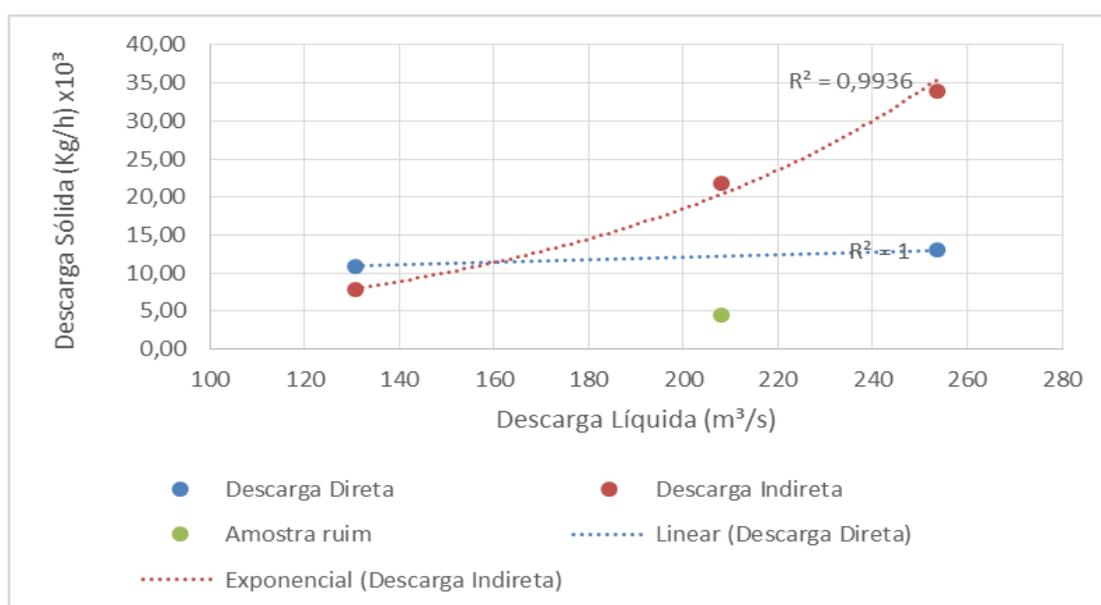


Gráfico 3 - Relação entre Descargas Sólidas e Líquidas
Fonte: Autoria própria (2017)

O ponto verde corresponde à primeira coleta realizada, no qual o amostrador ainda não havia sofrido adaptação, recolhendo bem menos sedimento do que o esperado e saindo da propensão; por conta disso o mesmo foi desconsiderado da linha de tendência dos métodos diretos.

De forma geral pode-se notar que os valores de descarga sólida, tanto direto quanto o indireto, se comportaram como o esperado, aumentando de acordo com a descarga líquida. Um comportamento comum em outros estudos realizados, como o de Gomes (2009) onde a relação entre a descarga sólida e líquida é feita por uma linha exponencial, apesar que sempre há um problema em estimar a descarga sólida em altas vazões por conta do risco na amostragem.

5 CONCLUSÃO

De forma geral, concluiu-se com o trabalho que o sedimento de fundo do rio Iguatemi pode ser classificado como em sua grande maioria composto por Areias Médias.

Pode-se também concluir que para este rio em particular, os valores de descarga sólida calculados pelos métodos direto e indireto não possuem uma diferença significativamente alta.

Também é possível concluir que o amostrador BML-84 sem adaptação não se mostra eficiente para a coleta de fundo em rios com vazões mais altas, por conta da perda de material coletado.

Por ser um rio com uma vazão relativamente alta, e uma grande concentração de sedimentos de fundo, o tempo de coleta de 2 minutos mostrou-se o ideal. E houve uma proporção entre os valores de descarga sólida, tanto direta quanto indireta, e descarga líquida, onde, de forma geral, de acordo com o aumento da mesma, a descarga sólida também aumentava.

Finalizando, seria importante que houvesse mais estudos nesse rio, uma vez que com mais pontos coletados, os resultados se mostrariam mais perto do comportamento real da descarga de fundo do rio. Também seria interessante analisar esses parâmetros nos outros Rios afluentes do Paraná, para se verificar se a descarga sólida de fundo estimada pelo método indireto dos mesmos está próxima dos valores calculados por métodos diretos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gil. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005. Disponível em <http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf> Acesso em: setembro, 2017.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília, DF: 2000.

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Homeopática Brasileira**. 3ª edição, 2011.

BAISH, P. et al. **Projeto Millenium**: Protocolos de Coleta e Análise dos Sedimentos e Material em Suspensão. Instituto do Milênio Recos. 2003. Disponível em <http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Lab%20e%20Praticas/Protocolos_Coleta_Analise_Sed_Baish_et al_Millenium_2003.pdf> Acesso em: junho, 2017.

BRUNE, R. A.. **Métodos de estimativa de Descarga Sólida em Rios – Análise Comparativa**. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental na área de concentração de Recursos Hídricos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

CARVALHO, Newton. **Hidrossedimentologia: Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 2008.

EMBRAPA. **Padronização de métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2012.

ESQUERDO, J. C. D. D. et al. Caracterização de Aspectos Físicos e Socioeconômicos da Unidade de Planejamento e Gerenciamento do Rio Iguatemi,

Mato Grosso do Sul. **Revista GeoPantanal**, Corumbá, MS, n 16, 91-108, jan/jul. 2014. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112666/1/Riolguatemi.pdf>.

Acesso em: maio, 2017.

JUNIOR, P. A.. **Avaliação da Produção e Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Itaqueri, Municípios de Itirapina e Brotas – SP**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARTINS, P. M.. **Dinâmica das Formas de Leito e Transporte de Carga de Fundo no Alto Rio Paraná**. 2004. 69 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MARTINS, P. M.; STEVAUX, J. C.. Formas de Leito de Transporte de Carga de Fundo do Alto Rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Maringá, ano 6, n. 2, 2005, Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/50>>. Acesso em: maio, 2017.

MENDES, A. B.; SILVA, C. M.; COLOMBELLI, M.; PEREIRA, R.; JUNG, A. A.. **Atualização da Estimativa de Vida Útil da Usina Hidrelétrica de Itaipu**. In: IX ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2010, Brasília - DF. IX ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2010.

SCAPIN, J.. **Caracterização do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano na cidade de Santa Maria – SP**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

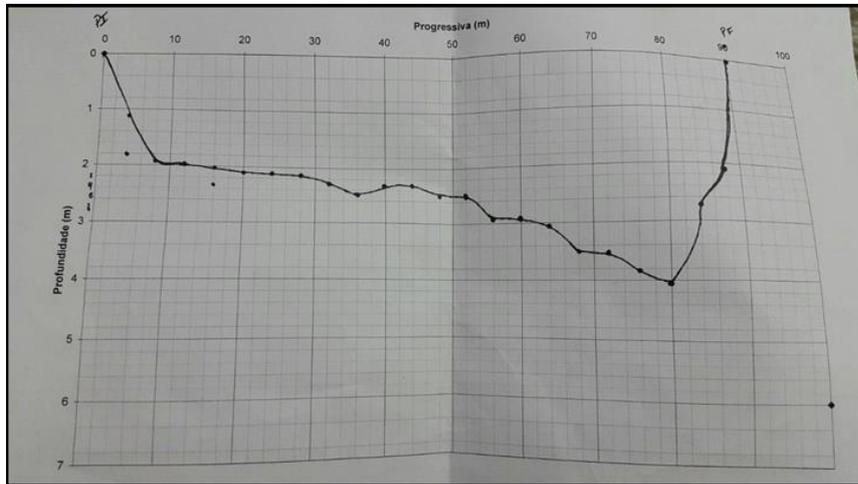
SCAPIN, J. et al. Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Santa Maria, v. 12, n. 4, out/dez 2007, Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=17&SUMARIO=216>>.

Acesso em: maio, 2017.

SOUSA, J. M.. **Desafios da Medição Experimental da Descarga de Fundo no Estuário do Timbó**: Construção e Testes de um amostrador. 2011. 155 f.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

UFJF: Universidade Federal de Juiz de Fora. **Tabela de Granulometria**. Disponível em <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Granulometria.pdf>>. Acesso em maio, 2017.

ANEXO A - Perfil da Transversal do Rio Iguatemi



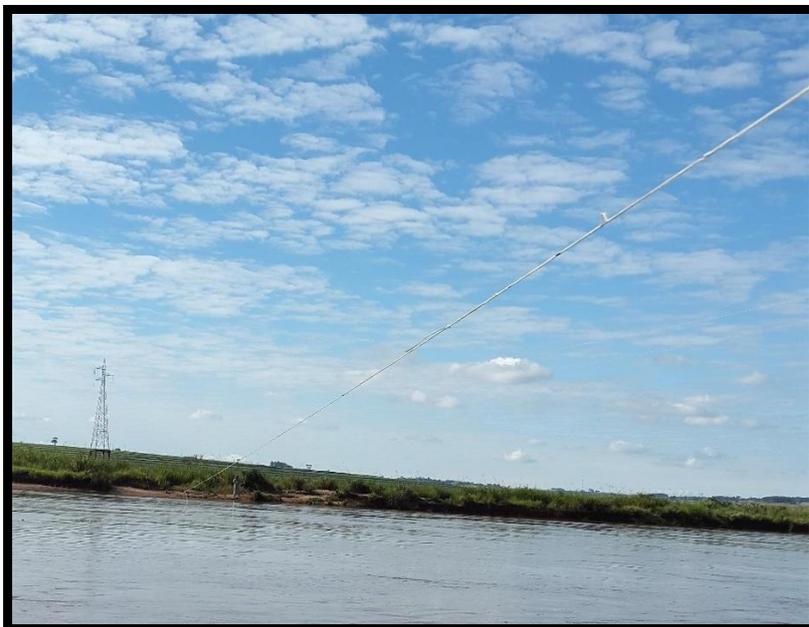
Fonte: Itaipu Binacional (2017)

ANEXO B – Barco utilizado nas medições a ser posto na água



Fonte: Autoria própria (2017)

ANEXO C – Cabo de aço esticado nas duas margens do Rio



Fonte: Autoria própria (2017)

ANEXO D – Distância entre os pontos sendo medida e marcado no cabo de aço



Fonte: Dotto (2017)

ANEXO E – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 1

MESH Peneira	Abertura (mm)	Peso Sedimento (g)	% retida na peneira
30	0,59	35,22	0,65
35	0,50	304,71	5,62
50	0,30	4702,00	86,73
60	0,25	178,62	3,29
70	0,21	91,15	1,68
100	0,15	100,30	1,85
120	0,13	5,57	0,10
140	0,11	1,62	0,03
200	0,07	1,74	0,03
635	0,02	0,53	0,01
Fundo	<0,02	0,01	0,00
PESO TOTAL		5421,47	100,00

Fonte: Autoria própria (2017)

ANEXO F – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 2

MESH Peneira	Abertura (mm)	Peso Sedimento (g)	% retida na peneira
30	0,59	13,16	0,52
35	0,50	84,08	3,32
50	0,30	2237,94	88,48
60	0,25	124,99	4,94
70	0,21	20,57	0,81
100	0,15	47,14	1,86
120	0,13	0,97	0,04
140	0,11	0,20	0,01
200	0,07	0,14	0,01
635	0,02	0,05	0,00
Fundo	<0,02	0,00	0,00
PESO TOTAL		2529,23	100,00

Fonte: Autoria própria (2017)

ANEXO G – Quadro de porcentagem de material retido nas peneiras da amostra 3

MESH Peneira	Peso Sedimento (g)	% retida na peneira
30	31,485	0,90
35	167,854	4,81
50	2240,5	64,21
60	561,444	16,09
70	219,282	6,28
100	223,526	6,41
120	16,552	0,47
140	9,741	0,28
200	15,81	0,45
635	2,726	0,08
Fundo	0,507	0,01
PESO TOTAL	3489,427	100,00

Fonte: Autoria própria (2017)

ANEXO H – Quadro com valores de Descargas líquida e descargas sólidas (indiretas e diretas)

Amostra	Descarga Sólida Direta (kg/h) x10³	Descarga Sólida Indireta (kg/h) x10³	Valores de Vazão (m³/s)
Amostra 1	4,44	21,81	207,92
Amostra 2	13,00	33,95	253,68
Amostra 3	10,88	7,76	130,678

Fonte: Autoria própria (2017)