



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - UFG
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PRPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – CIAMB
MESTRADO EM RECURSOS HÍDRICOS

ANA KAROLYNA NUNES AMARAL

**ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM RIOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE - GOIÁS, BRASIL**

Goiânia, GO
2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

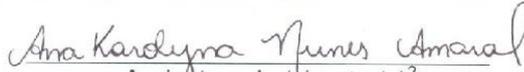
Nome completo do autor: Ana Karolyna Nunes Amaral

Título do trabalho: ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE - GOIÁS, BRASIL

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento **SIM** **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor(a)²

Ciente e de acordo:



Assinatura do (a) orientador (a)²

Data: 12 / 02 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

ANA KAROLYNA NUNES AMARAL

ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE - GOIÁS, BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito obtenção do título de Mestre Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Linha de Pesquisa: Monitoramento e Análise de Recursos Naturais.

Área de Atuação: Recursos Hídricos

Orientador (a): Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga

Goiânia, GO
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Amaral, Ana Karolyna Nunes
ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM RIOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE - GOIÁS, BRASIL [manuscrito]
/ Ana Karolyna Nunes Amaral. - 2019.
CIX, 109 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga .
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Goiânia, 2019.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, mapas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Sedimentos em suspensão. 2. Granulometria. 3. Bacia
Hidrográfica. I. , Klebber Teodomiro Martins Formiga, orient. II. Título.

CDU 55



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO Nº 001/2019

Aos onze dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e dezenove, às 08h30, reuniu-se no miniauditório da Escola de Engenharia Civil e Ambiental - EECA, Câmpus Colemar Natal e Silva, a Banca Examinadora composta pelos: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga – CIAMB, o Prof. Dr. Maximiliano Bayer – CIAMB, e a Prof.ª Dr.ª Noely Vicente Ribeiro – IESA/UFG, para, sob a presidência do primeiro, proceder a defesa da Dissertação intitulada: “ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE - GOIÁS, BRASIL”, de autoria de Ana Karolyna Nunes Amaral, discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de dissertação de autoria da discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

Membro da Banca	Parecer (Aprovado/Reprovado)	Assinatura
Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga	Aprovado	
Dr. Maximiliano Bayer	Aprovado	
Dr.ª Noely Vicente Ribeiro	Aprovada	

JUSTIFICATIVAS e SUGESTÕES:

Após a avaliação, a referida discente foi considerada Aprovada na defesa de dissertação. Às 10:30 horas, o Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga, Presidente da Banca Examinadora, deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou-se a presente Ata.

Prof. Dr. Maximiliano Bayer
Membro Titular

Prof.ª Dr.ª Noely Vicente Ribeiro
Membro Titular

Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga
Presidente

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Deus da minha vida que me propiciou saúde, força e sabedoria para vencer mais uma etapa, sei que sem ele não seria capaz.

Aos meus pais, Lucilene e Adalberto e a minha avó Alda, que mesmo não tendo tanta instrução sempre me apoiaram, e ao meu esposo Gleibio, pela paciência e incentivo.

Ao técnico do laboratório de Hidráulica Tomás e aos meus colegas Guilherme e Gabriel pelas as imensas ajudas a ida a campo, que foram fundamentais a esta pesquisa. Ao técnico do LABOGEF, Lucas Espíndola, pelas correções e sugestões, principalmente na reta final deste.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Klebber Teodomiro Formiga, pela paciência e orientações.

E a todos os professores do CIAMB que de alguma forma conseguiram transferir os conhecimentos arduamente adquiridos, a mim. E a FAPEG pelo incentivo financeiro que auxiliou bastante no desenvolvimento da pesquisa

A todos vocês meu muito obrigado.

E, na verdade, caindo a montanha, desfaz-se;
e a rocha se remove do seu lugar. As águas gastam
as pedras; as cheias afogam o pó da terra; e tu fazes
perecer a esperança do homem.

Jó 14: 18 - 19

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise da dinâmica hidrossedimentológica em seções de rios da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), localizada no Estado de Goiás. O trabalho teve como objetivo analisar o comportamento sedimentológico como maneira de compreender os processos fluviais atuantes nos rios em estudo. Para o desenvolvimento do trabalho, foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão e seis seções na bacia, em pelo menos três pontos. Foram feitos também levantamentos hidrológicos com o equipamento ADCP. Para a análise granulométrica utilizou-se os equipamentos MASTERSIZER 2000 e o LISST – SL. As coletas foram feitas em período de estiagem, no final do mês de julho e no mês de novembro, no início do período chuvoso. As amostras passaram por análises laboratoriais, que possibilitou a interpretação e discussão dos resultados posteriormente. A granulometria dos sedimentos em suspensão teve sua maior representatividade na classe silte. Por meio dos dados coletados a concentração de sedimentos suspensos nos rios da BHRMP variaram de 2,62 a 21,69 mg/l, transportando em média 6,31 ton/dia de sedimentos suspensos no período de seca. Na estação chuvosa a concentração de sedimentos suspensos variou de 39,92 a 127,58 mg/l, transportando uma descarga sólida média de 401,75 ton/dia. A partir dos cálculos de produção específica de sedimentos foi constatado que a bacia produziu 1,72 e 58,18 ton/km²/ano do período seco ao chuvoso respectivamente.

Palavras-chave: Sedimentos em suspensão; Granulometria; Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

The present work show an analysis of hydrosedimentological dynamics in rivers of the River Basin Meia Ponte (BHRMP), localized in the State of Goias. The work was objective to analyze the sedimentological behavior as a way of understanding the river processes in the studied rivers. For the development of the work, were collected sediment in suspension in six rivers of the basin were collected in at least three points in each river. Hydrological surveys were carried out with ADCP equipment. For the granulometric distribution was used MASTERSIZER 2000 and the LISST – SL equipment. The samples were made during the dry season, at the end of July and November during the rainy season. The samples were submitted to laboratory analysis, which allowed the interpretation and discussion of the results afterwards. The granulometry of suspended sediments had their greatest representativity in the silt class. From the collected data, the Suspended Sediment Concentration in the BHRMP rivers ranged from 2,62 to 21,69 mg / l, transporting on average 6,31 tons/day of suspended sediments during dry season. In the rainy season the suspended sediment concentration ranged from 39,02 to 127,58 tons/day. From the calculations of specific sediment production, it was found that the basin produced 1,72 and 58,18 ton/km²/year from the dry to the rainy season respectively.

Keywords: Suspended sediments; Granulometry; Hydrographic basin.

Sumário

AGRADECIMENTOS	6
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
2.1 Clima.....	21
2.2 Uso e ocupação do solo.....	22
2.3 Geomorfologia	24
2.3.1 Declividade	26
2.3.2 Hipsometria.....	27
2.4 Geologia	29
2.5 Solos	30
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
3.1 Dinâmica Fluvial.....	32
3.2 Sedimentação Fluvial	33
3.2.1 Erosão.....	35
3.2.2 Transporte	37
3.2.2.1 Carga dissolvida	38
3.2.2.2 Carga de material de leito	38
3.2.2.3 Carga em Suspensão.....	39
3.2.3 Deposição	41
3.3 Granulometria dos sedimentos	42
3.4 Hidrossedimentologia.....	43
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	48
4.1 Artigo 1: Estudo dos sedimentos em suspensão ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás.....	48
4.2 Artigo 2: Análise da distribuição granulométrica ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	102
ANEXO.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.....	20
Figura 2 - Sub-bacias integrantes da Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte.	21
Figura 3 - Precipitação Pluviométrica Média Mensal da Estação Ponte Meia Ponte, entre 1971 a 2018.	22
Figura 4 - Mapa de uso dos solos da BHRMP. Fonte: Terra Class, 2013.....	23
Figura 5 - Distribuição do uso do solo em 2013 na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte.....	24
Figura 6 - Mapa geomorfológico da BHRMP.....	25
Figura 7 - Mapa de declividade da BHRMP.	27
Figura 8 - Mapa hipsométrico da BHRMP.	28
Figura 9 - Perfil longitudinal do rio Meia Ponte.....	28
Figura 10 - Geologia da BHRMP.....	30
Figura 11 - Mapa de solos da BHRMP.....	32
Figura 12 - Divisão da bacia hidrográfica em três zonas: produção, transferência e deposição. Fonte: Charlton (2008) adaptado de Schumm (1977).	35
Figura 13 - Distribuição Vertical de sedimentos no rio Missouri na Cidade de Kansas – EUA. Fonte: Subcommittee on Sedimentation (1963).....	40
Figura 14 - Relação entre a velocidade média e o tamanho das partículas. (HJULSTROM, 1935 apud CHRISTOFOLETTI, 1981).	42
Figura 15 - Variação climática do rendimento de sedimentos, determinada a partir de estações fluviométricas e levantamentos de reservatórios Langbein & Schumm (1958).	45
Figura 16 - Distribuição da corrente, da concentração de sedimentos e da descarga sólida. Fonte: Subcommittee on Sedimentation (1963).	47
Figura 17 – Locais de amostragens da BHRMP.	51
Figura 18 - a) ADCP; b) Amostrador pontual Garrafa de Van Dorn; c) Garrafa de âmbar.....	52
Figura 19 - a) Dispersor de amostra; b) Balança de alta precisão; c) Filtro; d) Estufa; e) filtro de acetato de celulose com sedimentos.	53
Figura 20 - Variação da Css; Seção 1 - Ribeirão João Leite.	56
Figura 21 – Perfis transversais da Seção 1 - Ribeirão João Leite.	56
Figura 22 – Seção 1- Ribeirão João Leite. a) Período seco (16/07/18); b) Período de chuva (05/11/18).	58
Figura 23 – Variação da Css; Seção 2 - Meia Ponte: Montante.	58
Figura 24 – Seção 2: Meia Ponte Montante. a) Margem esquerda; b) Margem direita; c) Filtros de acetato com os sedimentos do local.	59
Figura 25 - Perfil transversal da Seção 2 - Rio Meia Ponte: Montante.	59
Figura 26 – a) Variação da Css; Seção 3 - Rio Caldas.	60
Figura 27 - Perfil transversal da Seção 3 - Rio Caldas.	61
Figura 28 – Seção 3: Rio Caldas. a) Período seco (13/07/18); b) Período de chuva (07/11/18).	62
Figura 29 – a) Variação da Css; b) Curva Chave da Seção 4 - Meia Ponte: Meio.	62
Figura 30 – Perfil transversal da Seção 4 - Meia Ponte: Meio.	63
Figura 31 – Seção 4 – Meia Ponte: Meio. a) Período seco (16/07/18); b) Período de chuva (16/11/18).	64
Figura 32 – a) Variação da Css; Seção 5 - Rio Dourado.	65
Figura 33 – Perfil transversal da Seção 5 - Rio Dourado.....	65
Figura 34 - Seção 5 - Rio Dourado – Margem esquerda. a) Período seco (20/07/18); b) Período de chuva (16/11/18).	66

Figura 35 – Variação da C _{ss} ; Seção 6 - Rio Meia Ponte: Montante.	67
Figura 36 – Perfil transversal da Seção 6 - Rio Meia Ponte: Jusante.	67
Figura 37 – Seção 6 - Meia Ponte: Jusante. a) Período seco (20/07/18); b) Período de chuva (23/11/18).	68
Figura 38 – Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão da BHRMP. a) Período de estiagem (Julho/2018); b) Período de chuva (Novembro/2018).	69
Figura 39 - Curvas-chave de sedimentos em suspensão para a BHRMP (período de estiagem). 76	
Figura 40 - Curvas-chave de sedimentos em suspensão para a BHRMP (período de chuva).	76
Figura 41 – Locais de amostragens da BHRMP.	85
Figura 42 – a) Granulômetro a laser Mastersizer 2000 MU. Fonte: MALVERN. b) Granulômetro a laser: LISST –SL. Fonte: SEQUOIA.	86
Figura 43 – Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM, no período de estiagem.	87
Figura 44 – Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM no período de chuvas.	89
Figura 45 - Distribuição do diâmetro das partículas dentro do triângulo textural. Erro! Indicador não definido.	
Figura 46 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000 – seção 2.	92
Figura 47 - Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 2.	93
Figura 48 – Comparação de resultados granulométricos – seção 2.	93
Figura 49 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000- seção 3.	94
Figura 50 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 3.	95
Figura 51 – Comparação de resultados granulométricos – seção 3.	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Área dos diferentes usos da BHRMP.....	22
Quadro 2 - Classes Geomorfológicas da BHRMP.....	25
Quadro 3 - Classes de declividade da BHRMP.....	26
Quadro 4 - Solos da BHRMP.....	31
Quadro 5 – Origem dos sedimentos.	33
Quadro 6 - Comparação entre escalas granulométricas.....	42
Quadro 7 - Problemas decorrentes do transporte e deposição de sedimentos.	46
Quadro 8 - Benefícios decorrentes do transporte e deposição de sedimentos.....	46
Quadro 9 – Classificação geral da Concentração de Sedimentos Suspensos.	70
Quadro 10 - Descarga de sedimentos suspensos transportados por dia na BHRMP (período de estiagem).	71
Quadro 11 - Descarga de sedimentos suspensos transportados por dia na BHRMP (período chuvoso).	72
Quadro 12 - Descarga de sedimentos suspensos totais transportados por dia na BHRMP (período seco).	74
Quadro 13 - Descarga de sedimentos suspensos totais transportados por dia na BHRMP (período chuvoso).....	74
Quadro 14 - Valores de produção de sedimentos específicos nas sub-bacias da BHRMP.....	77
Quadro 15 – Classificação granulométrica conforme a ISO 14688-1: 2002.....	87
Quadro 16 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de estiagem.....	88
Quadro 17 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de chuvas.	90
Quadro 18 - Relação entre a C_{ss} e o diâmetro médio das partículas	91
Quadro 19 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetros – seção 2.....	94
Quadro 20 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetro, - seção 3.....	96

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
BHRMP	Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte
c	concentração de sedimento no ponto
C _{ss}	Concentração de sedimentos suspensos
D50	Diâmetro da partícula para o qual 50% do material do leito são mais finos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EIBH	Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IESA	Instituto de Estudos Sócio-Ambientais
ISO	International Organization for Standardization
LABOGEF	Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física
LALLS	<i>Low Angle Laser Light Scattering</i>
LISST	<i>Laser In Situ Scattering and Transmissometry</i>
q _{ss}	Descarga sólida em suspensão parcial
Q _{ss}	Descarga sólida em suspensão
Q _{st}	descarga sólida total (t/dia)
Q _{sm}	descarga sólida medida (t/dia)
Q _{nm}	descarga sólida não-medida (t/dia)
q' _{nm}	descarga sólida parcial não –medida (t/dia/m)
C' _s	concentração medida (mg/L ou ppm)
K	fator de correção
L	largura do rio (m)
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RUSLE	Equação revisada universal da perda de solo

SRA	Superfície Regional de Aplainamento
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
USLE	Equação de Perdas de solos
UFG	Universidade Federal de Goiás
UHE	Usinas Hidrelétricas
V	Velocidade da corrente no ponto de amostragem
WEPP	Water Erosion Prediction Project
ZER	Zona de Erosão Recuante

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com uma área de aproximadamente 2 milhões de km², característico por um clima sazonal, e com uma precipitação média 1500 mm por ano, possuidor de uma biodiversidade singular com cerca de 11 mil espécies de plantas nativas, 199 de mamíferos e cerca de 830 de espécies de aves, contribui com 8 dos 12 recursos hídricos do Brasil, sendo este considerado o berço das águas do país (LIMA 2008; MMA, 2016).

A partir da década de 1960, com a mudança da capital do país para a região Centro-Oeste, a construção de Brasília, o desenvolvimento de programas institucionais de ocupação do campo, como o POLOCENTRO e PRODECER, bem como a construção de rodovias que interligam a região Norte e Sul, surgiram incentivos para a construção de empreendimentos agroindustriais na região central do país, sendo que pouco tempo depois estas atividades se tornariam as principais responsáveis pela economia da região, ocasionando uma mudança abrupta no uso do solo do local (TEIXEIRA *et al.*, 2006; CAVALCANTI, 2011).

Com esta rápida mudança do uso do solo no Cerrado, grandes foram os impactos causados ao meio ambiente decorrente principalmente ao processo de desmatamento. Segundo Latrubesse *et al.*, (2009), cerca de 60% das áreas do Cerrado já foram convertidas e fragmentadas pelo desmatamento e pela expansão da fronteira agrícola, uma vez que nenhum outro bioma do mundo foi convertido tão rápido na história humana como este.

Sendo a vegetação do Cerrado composta principalmente por árvores de troncos tortuosos (*cerrado stricto sensu*), estas são capazes de aguentar muito tempo sem chuva, uma vez que possuem raízes profundas, que as ajudam a captar água subterrânea em tempo de seca, bem como auxiliam na recarga das mesmas. Contudo, com esse rápido desmatamento na região, foram grandes as mudanças que ocorreram neste bioma, prejudicando tanto o abastecimento da água subterrânea, como também intensificando os processos erosivos hídricos (KLINK, *et al.*, 2005).

Os prejuízos advindos dos processos erosivos podem causar danos em diversas áreas, como a perda da biodiversidade florística do local, na agropecuária (mesmo sendo eles um dos principais responsáveis pelo processo erosivo), bem como na contaminação

dos lençóis freáticos, tendo em vista a movimentação lateral de nutrientes e demais produtos utilizados inadvertidamente no campo. Este último pode se atribuir a algum poluente que pode estar ligado as partículas de solo, que em contato com a água as contamina (PORTELLA, 2003).

Ademais, a grande quantidade de sedimentos que alcançam os recursos hídricos pode ocasionar graves problemas relacionados a sobrevivência de animais aquáticos, como também mudanças na geomorfologia fluvial (agração e degradação), podendo prejudicar empreendimentos hídricos, como exemplo as barragens e os pontos de captação para abastecimento público (MERTEN e POLETO, 2006; CARVALHO, 2008).

Latrubesse *et al.*, (2009), onde constou-se uma correlação entre o desmatamento da bacia hidrográfica do rio Araguaia, com o aumento do transporte de sedimentos, a partir da década 1970, mostrando assim que a resposta geomorfológica e sedimentar em um sistema fluvial, pode estar intimamente relacionada com o uso da sua bacia.

Mesmo tendo provas que as interferências antrópicas têm contribuição nos processos de transporte de sedimentos, estes não são os únicos responsáveis por este processo, que segundo Christofolletti (1981), o regime hidrológico de uma bacia bem como a origem do material presente em seus cursos d'água depende de diferentes variáveis tais como: as climáticas, a estrutura geológica da bacia, o relevo, a cobertura pedológica e vegetal (uso e ocupação do solo). Qualquer mudança em uma dessas variáveis poderá interferir na dinâmica fluvial.

Os rios são agentes geomorfológicos capazes de erodir, transportar e depositar sedimentos. Esses processos são interdependentes, que em sua relação constituem uma dinâmica interna na bacia de drenagem, exercendo influência no ambiente fluvial do ponto de vista biótico e abiótico (CHRISTOFOLETTI, 1981; NOVO, 2008).

Conhecer as características sedimentológicas e hidrológicas de um curso hídrico é de suma importância à análise ambiental, uma vez que poderá identificar a origem dos materiais transportados, avaliar os processos que estão ocorrendo no decorrer de seu curso, assim como entender a sua dinâmica. Ademais, estes estudos exibem grande relevância para uma boa gestão, pois esses se tornam instrumentos necessários ao seu planejamento, além de suporte para projetos de recuperação (SANTOS, 2013). Convém destacar que no município de Goiânia e na sua Região Metropolitana, onde se insere grande parte da área de estudo, bem como demais municípios, tem apresentado sérios

problemas com a disponibilidade e qualidade hídrica ao longo dos últimos anos, podendo algumas variáveis como a turbidez estar associadas a dinâmica hidrossedimentar.

No Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA) está encarregada de produzir e disponibilizar dados hidrossedimentológicos, por meio do portal HidroWeb, em que este disponibiliza informações sobre cota, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos. Destaca-se, contudo, que ainda são poucas as estações implantadas nos cursos hídricos brasileiros e a confiabilidade destas ainda são duvidosas, pelo fato de não se saber totalmente como são coletados e se foram tomadas as devidas precauções em suas medições, além da descontinuidade, que muitas das vezes são interrompidas por algum período.

Diante do exposto, estudos hidrossedimentológicos primários são de suma importância do ponto de vista social, econômico e ambiental, uma vez que a produção e o transporte de sedimentos interferem direta e indiretamente nas relações biótica e abióticas de um sistema fluvial, como também no comportamento dos seus processos fluviais, refletindo na estabilidade dos ecossistemas aquáticos (SANTOS, 2013). De acordo com Silva *et al.*, (2004), esses estudos são importantes para o Brasil, uma vez que o setor energético é predominantemente hidrelétrico, podendo o excesso de carga sedimentar comprometer o uso da água para abastecimento público e até mesmo industrial.

Rubin (2003) aponta a necessidade da implantação de um monitoramento hidrossedimentológico na Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte, principalmente nas estações fluviométricas já existentes na área, e sugere a parceria entre as universidades e órgãos do meio ambiente para essa gestão, uma vez que esta bacia é a responsável em disponibilizar recurso hídrico para o município de Goiânia e região metropolitana, como também para as atividades de agricultura e pecuária na área. Porém diante da sua importância, ainda são escassos os estudos na área, principalmente relacionados ao transporte de sedimentos.

Diante disto, este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica sedimentar de rios da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte - Goiás, por meio de alguns componentes do regime hidrológico. Os estudos foram realizados através da caracterização hidrológica e sedimentares, a partir da determinação das concentrações e das propriedades texturais dos materiais coletados. Foram feitos levantamentos em diferentes sazonalidades e em

distintos perfis transversais, propondo-se, diagnosticar a inter-relação entre os dados aferidos com o ambiente de coleta, como também de toda a bacia.

Com base nestas premissas, a dissertação está dividida em quatro partes, sendo: caracterização da área de estudo; referencial teórico e metodológico; bem como os resultados e discussão, subdividido em duas propostas de artigos.

A primeira parte busca evidenciar a área de estudo que norteia acerca das variáveis ambientais que podem influenciar na dinâmica hidrossedimentológica da bacia do rio Meia Ponte.

A segunda parte apresenta a fundamentação teórica, bem como os procedimentos operacionais desta pesquisa, expostos de maneira detalhada, que foram utilizados para elucidar as secções transversais, bem como a dinâmica fluvial da bacia.

A terceira parte são apresentados e discutidos os resultados acerca da dinâmica dos sedimentos em suspensão da bacia do rio Meia Ponte, decorrente de análises realizadas por intermédio de utilização de equipamentos como ADCP, garrafa *Van Dorn*, bem como equipamentos de filtragem, como a membrana de 0,45 micrometros, observando secções com diferentes tendências de energia fluvial.

Por fim, na quarta parte também são evidenciados e discutidos os resultados acerca da distribuição do comportamento granulométrico ao longo dos canais da bacia do rio Meia Ponte, com base na utilização de equipamentos de difração a laser, como o granulômetro a laser, MASTERSIZER 2000 e o LISST (*Laser In Situ Scattering and Tranminssometry*), ainda inéditos de utilização na área de estudo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste estudo foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP) que está inserida na bacia do Paranaíba, na Região Hidrográfica do Paraná, localizada no Estado de Goiás contida entre os meridianos 48° 46' 48" e 49° 44' 51" de longitude e os paralelos 16° 06' 38" e 18° 32' 15,3" de latitude, correspondendo 3,6 % da área total do Estado (12,180 km²), tendo 38 municípios em seu território, concentrando 48 % da população de Goiás (VEIGA *et a.*, 2011). Os municípios mais populosos da bacia são Goiânia, Aparecida de Goiânia, Anápolis, Senador Canedo e Itumbiara que juntos somam com 2.591.309 milhões de habitantes (IBGE, 2017).

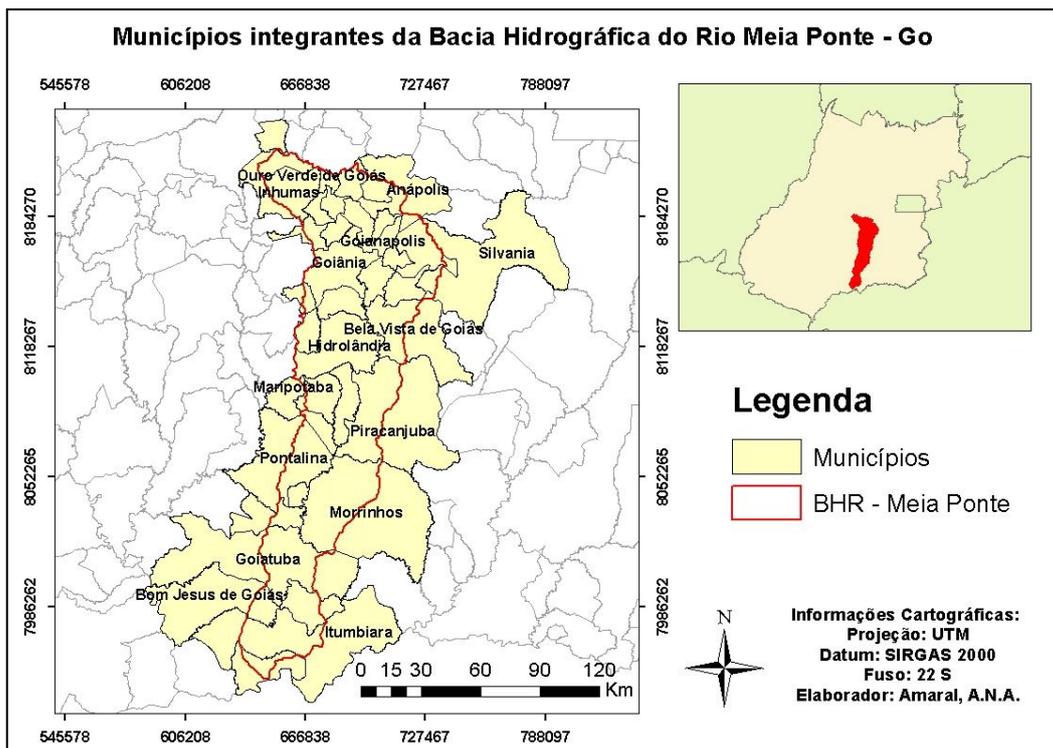


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

O rio Meia Ponte nasce na Serra dos Brandões, nas proximidades de Itauçu, em cotas de aproximadamente 1.000 m e percorre uma extensão de 415 km até desaguar no rio Paranaíba, no reservatório da UHE de São Simão, na cota 395 m, a jusante da cidade de Cachoeira Dourada. Os seus principais afluentes são os rios Inhumas, João Leite, Caldas, Ribeirão Formiga, Dourados e o Ribeirão Boa Vista do Rancho (BARBOSA, 2013).

Existem três principais obras hidráulicas presentes na bacia, a Usina Hidrelétrica do Rochedo, localizado no município de Piracanjuba, a Estação de Tratamento de Esgoto de Goiânia e a Barragem do Ribeirão João Leite, sendo estas utilizadas para o abastecimento e tratamento de água para a população, principalmente de Goiânia e região metropolitana. A BHRMP está dividida em cinco sub-bacias segundo a Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado (2008), sendo elas (figura 2):

- Alto Meia Ponte, que engloba a região da nascente até a foz no ribeirão João Leite, com a área de aproximadamente 2022,45 km²;
- Ribeirão João Leite, que abrange sete municípios e é delimitada como Área de Proteção Ambiental, com área de aproximadamente de 764,74 km²;

- Rio Caldas, que abrange parte de nove municípios goianos, com área de aproximadamente 1288 km²;
- Rio Dourados, que também engloba nove municípios, com área de aproximadamente 1767,08 km²;
- Baixo Meia Ponte, que possui a maior área territorial, abrigando quinze municípios, com área de aproximadamente de 6498,40 km².

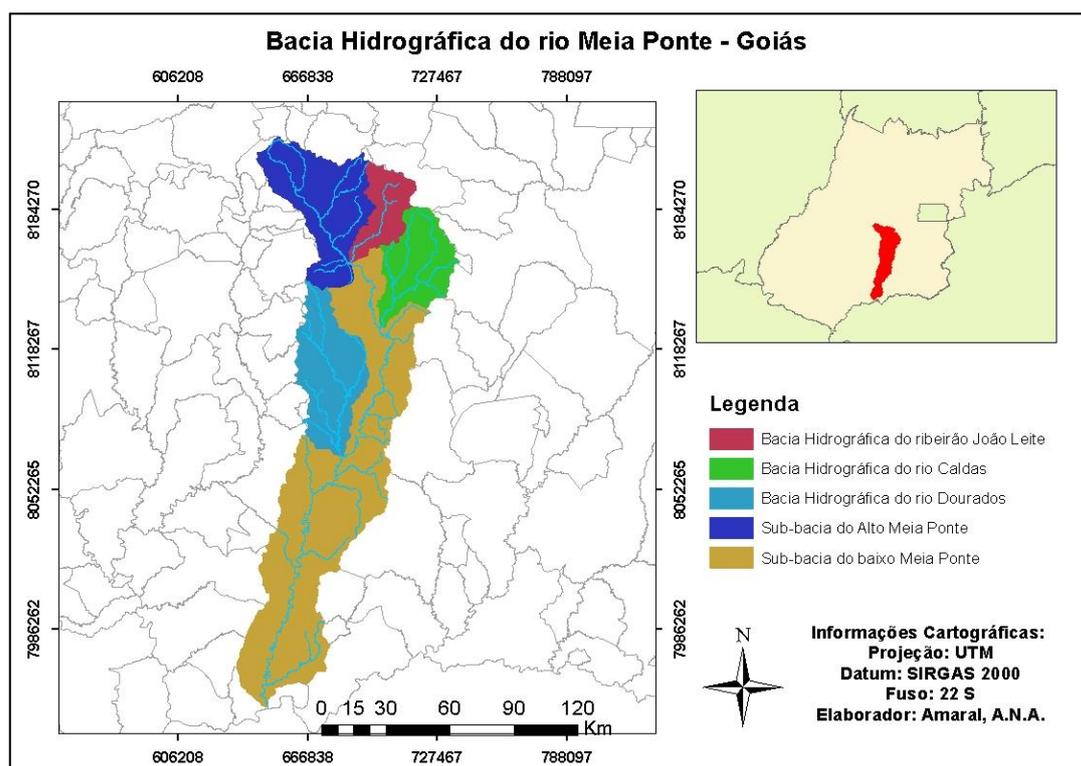


Figura 2 - Sub-bacias integrantes da Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte.

2.1 Clima

O clima da bacia segundo a classificação de Köppen é Aw sendo este o regime pluvial tropical quente semi-úmido. A temperatura média anual é de aproximadamente 20°C, apresentando no mês de julho a menor média de temperaturas mínimas (13°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperaturas máximas (31°C). O regime pluvial (chuva) é bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro (Figura 3). A precipitação pluvial média anual é de 1.500

mm e a umidade relativa do ar média anual é de 66%, apresentado o mês de agosto o menor índice (57%), e janeiro o maior (85%), (GOIÁS, 2001).

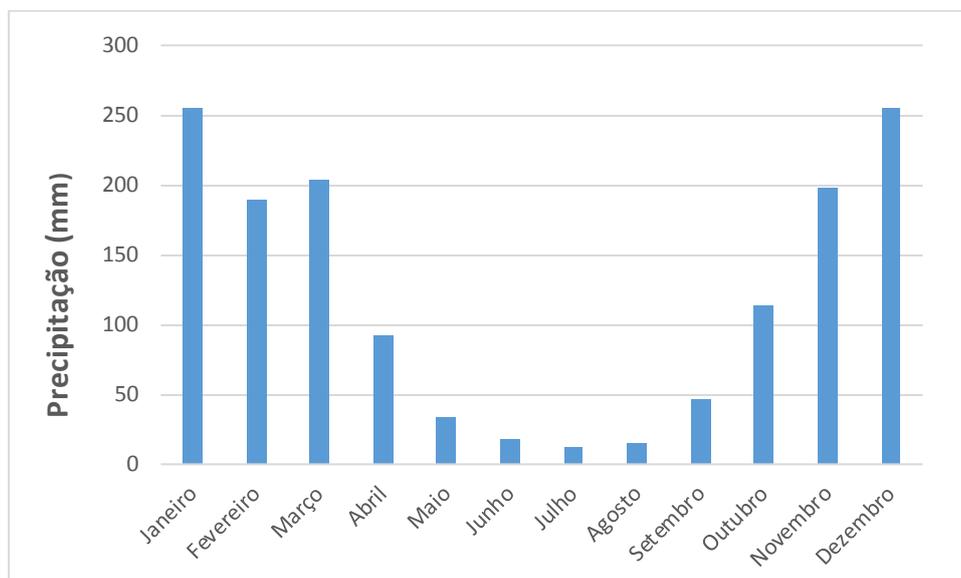


Figura 3 - Precipitação Pluviométrica Média Mensal da Estação Ponte Meia Ponte, entre 1971 a 2018.

2.2 Uso e ocupação do solo

De acordo com a figura 4, podemos identificar que o principal uso da bacia é a pastagem perfazendo uma área de aproximadamente 6.355,96 km² sendo 53,73 % de todo o território da bacia. Esse resultado é diretamente influenciado pela intensa atividade agropecuária presente no Estado de Goiás, sendo esta a principal atividade econômica da região. Outro uso que é bastante difundido na região é a agricultura (Anual e Perene) que conta com uma área de aproximadamente 1782 km², cerca de 15% que também vem aumentando substancialmente nos últimos anos. Os demais usos estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1- Área dos diferentes usos da BHRMP.

Uso e ocupação dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Go (2013)		
Uso	Área (km²)	Porcentagem (%)
Agricultura Anual	1444,72	12,21
Agricultura Perene	337,28	2,85
Mineração	1,81	0,01
Mosaico de Ocupações	16,88	0,14

Natural (Cerrado)	2954,40	24,97
Pastagem	6355,96	53,73
Silvicultura	76,23	0,64
Solo Exposto	4,16	0,03
Urbano	589,76	4,98
Água	42,20	0,35
Não observado	4,82	0,04

Fonte: Terra Class, 2013.

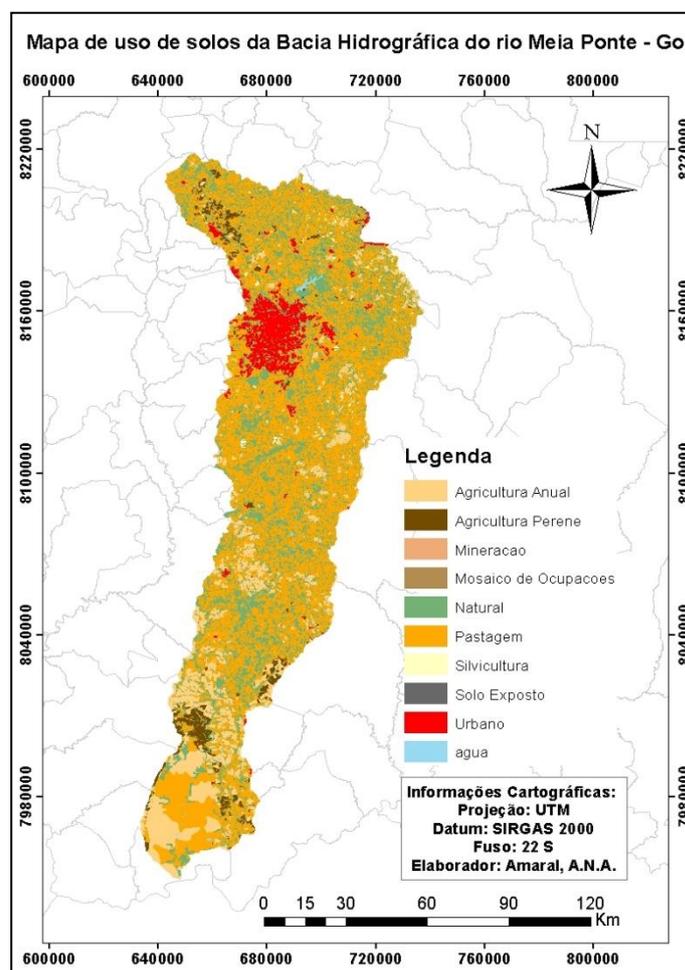


Figura 4- Mapa de uso dos solos da BHRMP. Fonte: Terra Class, 2013.

No uso nomeado como “Natural” é a região onde possui pequenos fragmentos de vegetação espalhados ao longo da bacia, contando com aproximadamente 24,97 % do total da área. Mesmo existindo várias regulamentações legislativas que regulam o uso dessas áreas, que visam preservar esses fragmentos, o que visualizamos ao longo dos anos

é que esse percentual de vegetação só vem diminuindo, sendo isso atribuído aos incentivos públicos a agropecuária, que conseqüentemente trouxe um intenso desmatamento na região, prejudicando vários mananciais, habitats e a fauna.

Na figura 5, estão apresentados em porcentagem, a distribuição do uso do solo em 2013 para os compartimentos na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte.

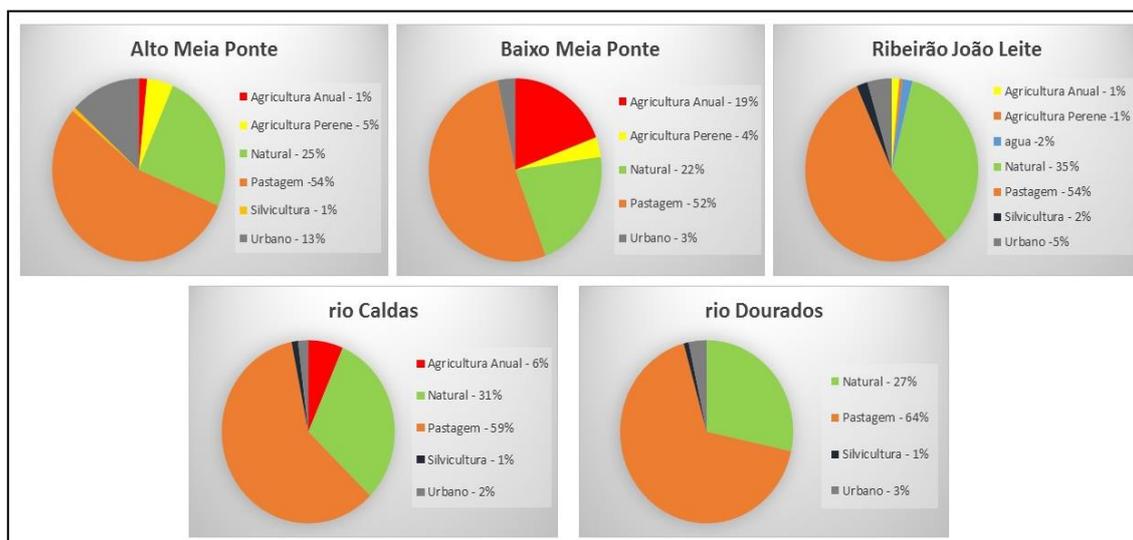


Figura 5- Distribuição do uso do solo em 2013 na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte.

2.3 Geomorfologia

O mapa geomorfológico criado teve como base o “Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás”. A feição mais representativa na área é a SRA III (Superfície Regional de Aplainamento III), onde foram desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas e também sobre rochas da Bacia do Paraná, principalmente sobre rochas basálticas da Formação Serra Geral. Suas cotas variam entre 550-850 metros. Outra feição geomorfológica bastante representativa foi a Superfície Regional de Aplainamento II. Estas foram desenvolvidas principalmente sobre rochas pré-cambrianas e está bem representada nas rochas inerentes as Formações de idade Proterozóica, como o Grupo Araxá, por exemplo, que apresentam algumas rochas menos resistentes como: mica-xistos, xistos, lentes de carbonatos, entre outros, exibindo cotas altimétricas que variam de 900 - 1250m (LATRUBESSE *et al.*, 2006).

As demais categorias podem ser melhor observadas no quadro 2, e na figura 6.

Quadro 2 - Classes Geomorfológicas da BHRMP.

Categorias Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte -Go			
Categoria	Altitudes (m)	Área (km²)	Porcentagem (%)
Agradação	-	91,91	0,74
Estruturais	-	77,84	0,63
Massa d'água	-	31,24	0,25
Morros e Colinas	-	363,46	2,94
SRAII	900 - 1250	3136,67	25,41
SRAIII	550-850	5142,43	41,67
SRAIV	250-550	1450,38	11,75
ZER	-	2046,71	16,58

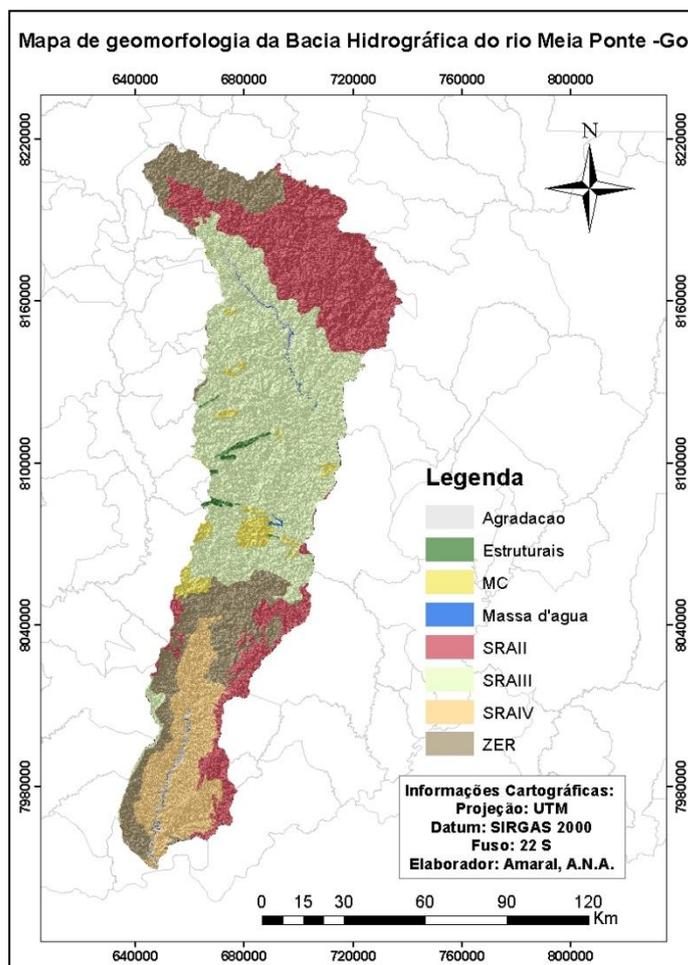


Figura 6 - Mapa geomorfológico da BHRMP.

2.3.1 Declividade

Conforme pode ser observado na figura 7, a bacia é caracterizada por ter como característica geral, relevos mais suaves, variando em sua grande maioria das classes plano a ondulado. A classe mais representativa, é relevo “suave-ondulado”, correspondendo a 34,99 % da área. Esta é caracterizada por apresentar superfícies de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, a declividade varia de 3 a 8%. Outra classe representativa na área, cerca de 24,14 %, é a de relevo “ondulado”. Este designa superfícies de topografia pouco movimentada, constituídas por conjunto de colinas, com declives moderados, entre 8 e 20%, (EMBRAPA, 2006).

As demais classes de relevo são caracterizadas no quadro 3.

Quadro 3 - Classes de declividade da BHRMP.

Distribuição das classes de declividade para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte			
Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	Porcentagem (%)
0 – 3	Plano	3014,44	24,14
3 – 8	Suave - ondulado	4318,32	34,99
8 – 25	Ondulado	2979,57	24,42
25 – 45	Forte - ondulado	1420,03	11,50
45 – 75	Montanhoso	506,45	4,10
> 75	Forte - montanhoso	101,47	0,82

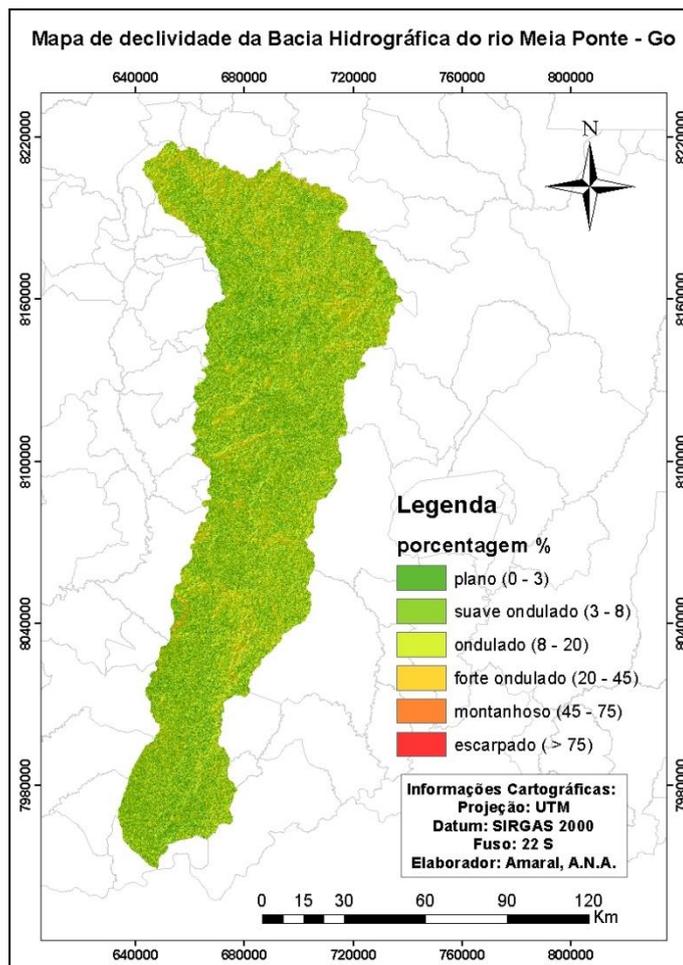


Figura 7- Mapa de declividade da BHRMP.

Deste modo, a constituição topográfica da bacia, apresenta condição bastante propícia para infiltração da água, com conseqüente abastecimento do lençol freático, onde também favorece o desenvolvimento de solos profundos, que apresentam boa drenagem, por exemplo, os Latossolos e Argissolos.

2.3.2 Hipsometria

A altitude da bacia varia de 390 a 1159 metros, sendo suas áreas mais altas na extremidade norte da bacia, e a sua parte mais baixa está localizada a jusante da bacia próximo a sua foz (Figura 8).

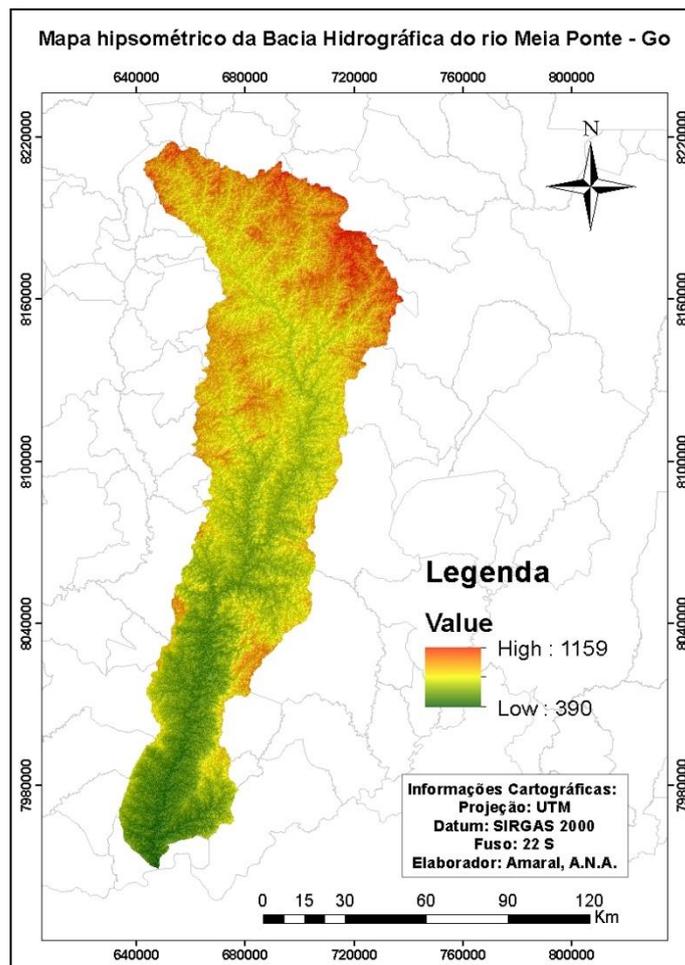


Figura 8 - Mapa hipsométrico da BHRMP.

No software ArcGis 10.1, foi possível fazer também um perfil topográfico da bacia hidrográfica com base na altimetria do rio principal, podendo assim visualizar a diferença entre altimetria da nascente até a foz (Figura 9).



Figura 9- Perfil longitudinal do rio Meia Ponte.

2.4 Geologia

A Geologia da área foi classificada com base na “petrologia”, sendo esta a área da geologia que abrangem a origem, ocorrência, e estrutura das rochas. Esta está agrupada em três principais campos de estudo: Ígnea, Sedimentar e Metamórfica.

Na bacia as rochas Ígneas representam 40,86 % da área, e as principais rochas encontradas nos locais foram Basalto, Granito e os Charnokitos. Estas rochas são conhecidas também, por magmáticas e eruptivas, originando-se da cristalização do magma em altas temperaturas, provenientes do interior da Terra. As rochas Sedimentares representam uma pequena parcela da bacia, 4,96 %, sendo estes compostos por aglomerados de areia e laterita. Estas são formadas a partir da deposição de fragmentos de rochas pré-existentes, a níveis de pressão e temperatura baixos (superfície). Estas podem ser mais susceptíveis a processos erosivos, por conta da sua baixa agregação (TEIXEIRA, 2009).

As rochas Metamórficas, são responsáveis por 54,07% da área de estudo, são formadas a partir da transformação de qualquer outro tipo de rocha já preexistente, quando exposta a um ambiente com pressão e temperaturas diferentes daqueles do qual se originou, (TEIXEIRA, 2009). As principais rochas metamórficas encontradas na área foram os Xistos, Gnaisses e as rochas Calcissilicáticas.

Na figura 10 pode ser observado como estas estão distribuídas na área.

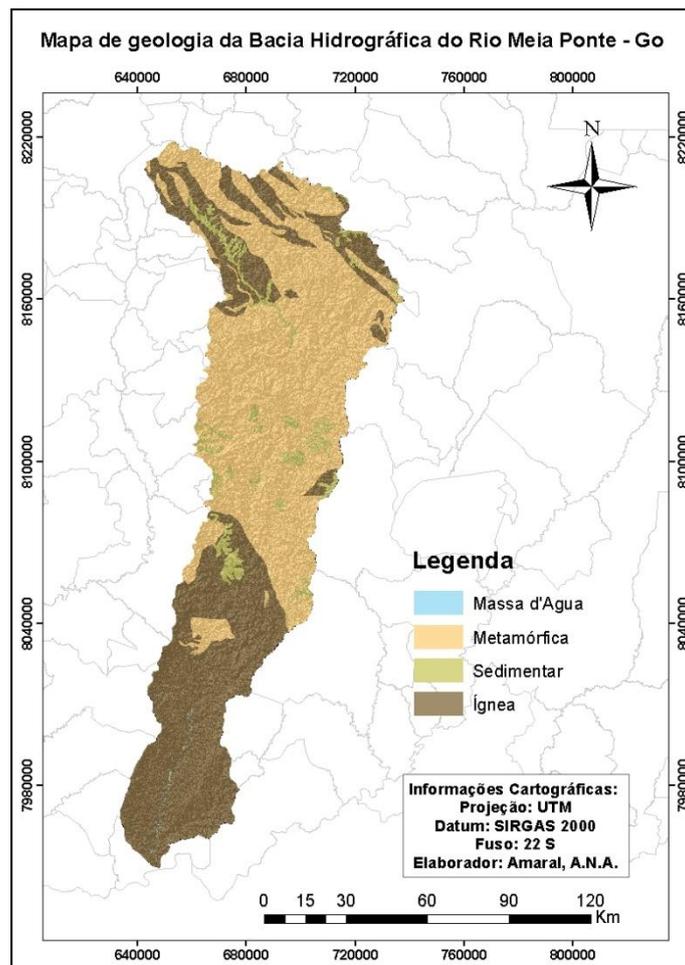


Figura 10- Geologia da BHRMP.

2.5 Solos

A maior parte da área é coberta pelos Latossolos (58%), sendo eles o mais expressivo tanto nesta bacia como em todo Estado. A sua gênese pode ser associada ao derrame basáltico que ocorreu, alcançado a região sul da bacia, que quando intemperizados formaram solos profundos e ricos em óxidos de ferro (EIBH,2012). Estes são na maioria das vezes encontrados em relevos planos a suavemente-ondulados. São conhecidos pela sua baixa fertilidade por vezes ácidos, que também exibem fácil manejo de correção, com a implantação de corretivos e fertilizantes, o que até agora tem possibilitado boas produções. Relacionado ao comportamento hidrológico, são bastantes profundos, bem drenados e permeáveis, esta classe não apresenta grandes problemas quanto ao excesso de água devido a boa estrutura dos agregados e a uniformidade entre os horizontes subsuperficiais, que possuem boas condições de infiltração, (EMBRAPA,2006¹).

Os Argissolos, o segundo mais representado na bacia (20%), tem como principal característica a presença do horizonte B textural (Bt), devido a mobilização da argila de sua parte mais superficial para uma maior profundidade. Estes ocorrem principalmente em áreas onde a paisagem apresenta relevos mais acidentados e dissecados, com superfícies menos suaves (EMBRAPA, 2006). Quanto ao seu comportamento hidrológico, o gradiente textural que caracteriza esta classe de solos, favorece a ocorrência de processos erosivos, principalmente quando associados a um declive acentuado e ausência de cobertura vegetal (EIBH, 2012). Os demais tipos de solos podem ser visualizados na figura 11 e no quadro 4.

Quadro 4 - Solos da BHRMP.

Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Go		
Solo	Área (km²)	Porcentagem (%)
Argissolos	2471,21	20,02
Cambissolos	2238,69	18,14
Gleissolos	140,90	1,14
Latossolos	7200,49	58,34
Neossolos	289,38	2,34

Fonte: SIEG.

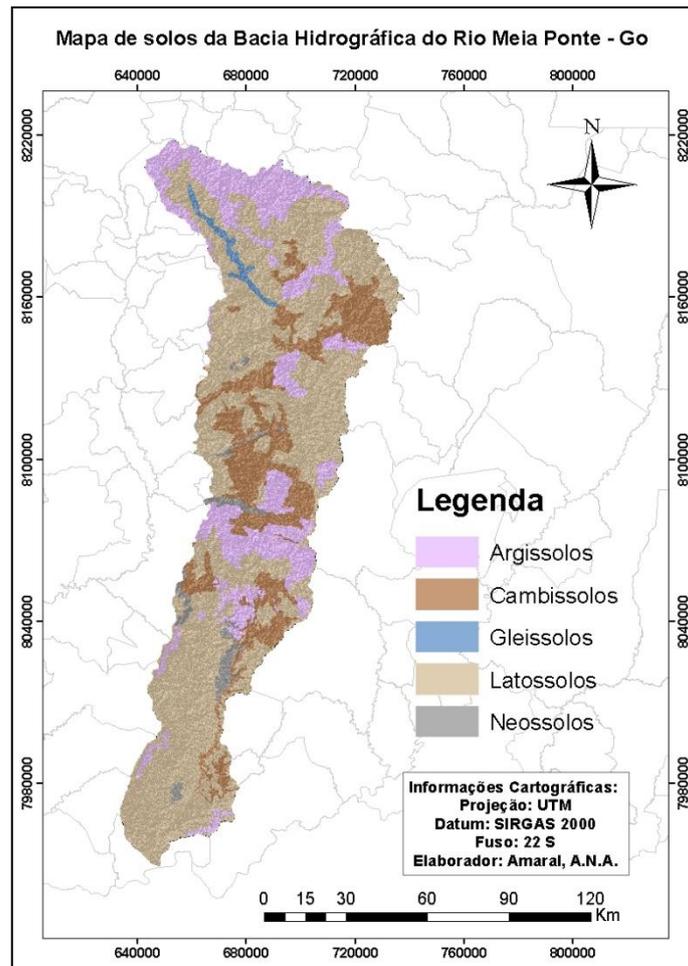


Figura 11- Mapa de solos da BHRMP.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dinâmica Fluvial

O escoamento em canais fluviais ocorre de maneira diversas, e dependem de diversos fatores que controlam a dinâmica do sistema fluvial, e devido a esta quantidade de variáveis e das suas inter-relações, existe uma certa dificuldade em demonstrar ou prever como o canal irá se comportar ao longo do rio.

Para melhor entendimento desta dinâmica, é necessário compreender que existem duas principais forças externas que atuam sobre a água em canais abertos, a gravidade e a fricção. A primeira seria a força que atua verticalmente e possibilita o escoamento de montante para jusante. Já a fricção seria a força exercida pelas superfícies delimitantes do canal do fluido que promove a ação de retardamento em direção contrária à do fluxo, está

também pode ser chamada de força de cisalhamento. Esta força também atua na superfície de contato entre duas camadas de água que escoam com velocidades diferentes (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Existem diferentes tipos de fluxos em canais fluviais abertos, neste destacaremos os fluxos laminares e os turbulentos, uma vez que suas características variam em função de certos parâmetros adimensionais. O *fluxo laminar* ocorre quando as camadas de fluidos deslizam umas sobre as outras, sem que haja difusão entre elas, estas escoam ao longo de um canal reto, suave e de baixas velocidades (PRESS *et al.*, 2006). Como não existem mistura de camadas neste fluxo, as trajetórias dos movimentos do fluido são paralelas e individuais, este não pode manter partículas sólidas em suspensão (CHRISTOFOLETTI, 1981 pg. 3). O *fluxo turbulento* é caracterizado quando diversas camadas de fluidos escoam entre si, causando uma difusão e mistura entre camadas, ocasionado por obstáculos ou irregularidades que existem no fundo do leito (PRESS *et al.*, 2006).

3.2 Sedimentação Fluvial

Segundo Charlton (2008), sedimento é toda a partícula derivada das rochas, onde a partir de processos intempéricos são desagregados e transportados de seu local de origem para locais de mais baixa altitude. Esses são formados principalmente por três componentes: a matéria orgânica, os minerais particulados (incluindo-se carbonatos, argilas, silicatos não argilosos) e os componentes inorgânicos de origem biogênica, conforme o quadro 5 (WETZEL, 1993; POLETO; LAURENTI, 2008).

Quadro 5 – Origem dos sedimentos.

Classificação	Exemplo de Material	Fórmula Química
Litogênico ou terrigênico – gerado no continente, o material é inerte na coluna d'água e representa uma deposição detrítica. As partículas superficiais podem ser um importante sítio de adsorção de matéria orgânica e elemento traços.	Quartzo e materiais argilosos (caolite, illita, etc).	SiO ₂ ; Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈ ; K ₂ Al ₄ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄
Hidrogênico – formado dentro da coluna d'água, quando o produto de solubilidade de algum elemento é superado e ocorre precipitação, ou quando sedimentos provenientes dos continentes ou vulcânicos são alterados	Minerais de Fe e Mn (pirita, aragonita, dolomita, etc).	FeO(OH); MnO ₂ ; FeS ₂ ; CaCO ₃ CaMg (CO ₃) ₂ ;

por abaixamento de temperatura na água do mar.		
Biogênico – originado da fixação de minerais pela biota. As mais importantes fases são a calcite e a sílica opalina e os organismos mais importantes no processo são os fitoplanctônicos. O grau de sedimentação será de acordo com a composição das espécies e a produtividade na coluna d'água.	Calcite, opalina sílica, aragonita, matéria orgânica, etc.	CaCO ₃ , SiO ₂ . nH ₂ O, CaCO ₃
Antropogênica – originado dos processos produtivos industriais e agrícolas; da expansão urbana em áreas ribeirinhas e costeiras, aterros, obras portuárias; lançamento de esgotos, etc.	Miscelânea de minerais, argila, areia, matéria orgânica, etc.	Mistura de compostos vários de acordo com a ocupação demográfica e economia local.

Fonte: Poletto e Laurenti. (2008 pg. 156). Organizado por Amaral, (2019).

A sedimentação seria o processo de acúmulo de sedimentos, que leva em conta os processos hidroclimáticos, enfatizando a relação água-sedimento. Os principais agentes da sedimentação são: a água, o vento, a gravidade, o gelo e os agentes biológicos, incluído a interferência humana, podendo este atuar combinados ou isolados, sendo que para que aconteça o processo de sedimentação há a necessidade que ocorra pelo menos três processos: erosão, transporte e deposição (CARVARLHO, 2008).

De acordo com Charlton (2008), a bacia hidrográfica pode ser dividida em três zonas, a primeira é a zona de produção, que seria o local onde a maior parte dos sedimentos são disponibilizados, esta é localizada sempre a montante. Depois os sedimentos são transferidos para a “zona de transporte”, onde há as interações entre os canais, portanto, as produções de sedimentos não são tão fortes, e na medida que um rio se aproxima do oceano e/ou sua declividade vai diminuindo, é alcançando assim a sua de “zona de deposição”, conforme figura 12.

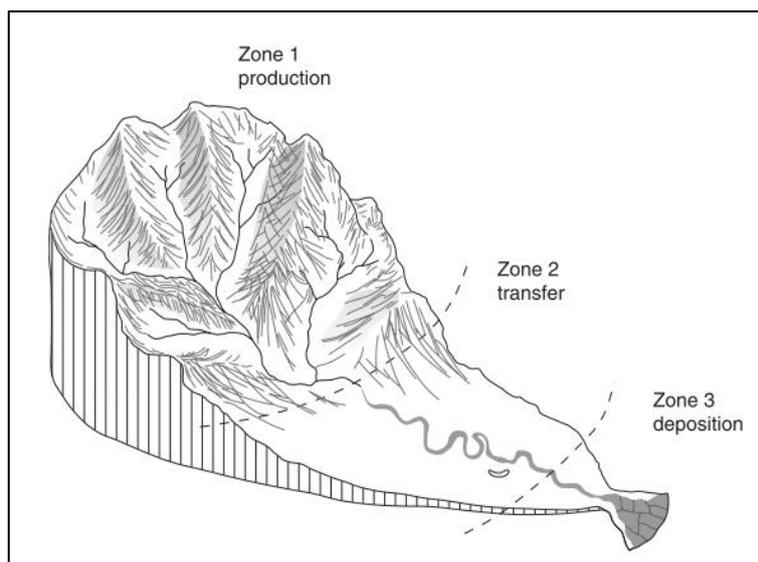


Figura 12- Divisão da bacia hidrográfica em três zonas: produção, transferência e deposição.
 Fonte: Charlton (2008) adaptado de Schumm (1977).

Charlton (2008), corrobora com Guy (1970), em que ambos afirmam que a sedimentação fluvial envolve os processos de remoção (erosão), transporte e deposição das partículas, face a dinâmica da bacia hidrográfica. Além disso, tem-se constatado que muitas das causas da sedimentação fluvial, atualmente, podem estar correlacionadas com a dinâmica da bacia hidrográfica, que pode estar sofrendo interferências antrópicas ou passando por processos de re/ajuste naturais.

De acordo com Christofolletti (1981), alguns aspectos da sedimentação fluvial podem estar relacionados a:

- Remoção intensa de detritos das vertentes, por causa das práticas agrícolas de utilização das terras, das construções urbanas e de transporte em diversas áreas e da utilização dos cursos de água;
- Erosão e deposição detrítica nos canais, afetando determinados modos de uso da terra e das águas;
- Prejuízos estéticos ou físicos oriundos dos sedimentos em suspensão ou dos materiais dissolvidos para diversos usos das águas fluviais.

3.2.1 Erosão

Erosão seria a desagregação de partículas da rocha ou do solo pela ação de agentes ativos. Esta ocorre devido o destacamento do solo pela ação da chuva e do escoamento,

onde as partículas são transportadas para os cursos d'água e encaminhadas para depressões ou terrenos planos (SHI, 2012; CARVALHO, 2008).

A erosão de solos pode ocorrer de duas formas distintas, geológica (ou normal) e/ou acelerada (ou antrópica). Resumidamente a primeira seria a aquela onde a erosão ocorra sem a intervenção humana, atuando apenas pelos processos naturais, e a antrópica, seria aquela provocada pela ação humana, mas estando incluídas nestas também catástrofes como, terremotos, enchentes e erupções vulcânicas (NEARING *et al.*, 2017; CARVALHO, 2008).

Conforme Guy (1970), a erosão máxima ocorre quando há a combinação da precipitação e da temperatura, onde nestas condições o intemperismo e o escoamento ocorrem de forma mais rápida. Sendo que em lugares onde clima é altamente variável ou sazonal, a erosão ocorre de forma mais intensificada.

É conhecido como “erosão bruta” ou erosão total, a quantidade total de sedimentos que são erodidos numa bacia hidrográfica, incluindo este os sedimentos sólidos e dissolvidos, mas quando queremos nos referir apenas aos sedimentos sólidos esta pode ser chamada de “erosão efetiva” (CARVALHO, 2008).

A granulometria é a principal variável de determinação da erodibilidade dos solos, em que as areias, especialmente as finas, são mais facilmente erodidas do que as partículas de silte e argila, isto pelo fato dos grãos mais finos, em especial as argilas, possuírem maior resistência em função das forças coesivas de ajustamento. A preocupação quando o silte e as areias finas, partículas menores que 250 micrometros e maiores que 2 micrometros, se dá em decorrência de seu baixo peso, bem como de sua baixa agregação comparada às argilas, que são evidenciadas como a granulometria de maior resistência (CHRISTOFOLLETTI, 1970; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

É válido salientar, contudo, que em um solo argiloso pode ocorrer maior erosão do que em um arenoso em um mesmo declive, em decorrência da falta da cobertura vegetal, por exemplo, que mesmo essa granulometria sendo mais coesa, a ausência de vegetação não a protege/atenua da atuação dos agentes erosivos, como a chuva por exemplo, contribuindo assim para a desagregação das partículas (GUY, 1970).

Por afim, admite-se que outras variáveis também estão presentes na ocorrência e incidência dos processos erosivos, principalmente os hídricos, como a precipitação,

compreendida como a erosividade, o comprimento de rampa e a declividade das vertentes, a cobertura e uso do solo, bem como a adoção de práticas de manejo e conservacionistas do solo, que ao longo do tempo foram reconhecidas e representadas em diversos modelos, a saber: USLE; RUSLE, WEPP, dentre outras (LAL, 1991).

3.2.2 Transporte

Os sistemas fluviais estão em constante processo de transformação, onde em um curto prazo de tempo, pode-se observar grandes mudanças, e estas podem ser justificadas pela quantidade de sedimentos detríticos que um sistema hídrico escoar. Uma parcela dessa carga detrítica transportada nos rios são derivadas da força erosiva que as águas exercem sobre as margens e sobre fundo do canal, mas a sua maior parte é derivado da remoção detrítica das vertentes (CHRISTOFOLETTI, 1981). Existem dois conceitos importantes para o entendimento do transporte fluvial, um seria a *competência*, que se refere ao tamanho máximo de uma partícula que o rio pode transportar e o outro a *capacidade*, que é à quantidade máxima de sedimentos que o rio consegue transportar. Podemos assim entender que a deposição da carga detrítica transportada pelos rios, ocorre quando há diminuição da competência e da capacidade deste (CHRISTOFOLETTI, 1981; HICKIN, 1995; LERNER, 2003).

A competência dos rios vai diminuindo em direção a jusante, à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, sendo que a velocidade e a força de cisalhamento atuante nos canais são menos intensas que nas cabeceiras (SILVA *et al.*, 2003). Outra explicação sobre a diminuição das partículas a jusante, pode ser relacionada pela entrada de rios tributários, que transportam materiais detríticos diferentes dos providos a montante, causando assim atrito entre as partículas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Os sedimentos providos da erosão são deslocados de sua posição original, e direcionadas a terrenos mais baixos e planos, como depressões ou cursos d'água. Esse deslocamento depende também de diversos fatores como, forma, tamanho peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento

Existem alguns fatores hidrológicos que também controlam as características e o regime do fluxo, sendo alguns deles, as precipitações, a estrutura geológica, as condições

topográficas e a cobertura vegetal. Sendo assim o fornecimento de material detrítico em cursos d'água um fenômeno natural, que trabalha na esculturação dos canais e das paisagens terrestres (CHRISTOFOLETTI, 1981).

As cargas de sedimentos intemperizados podem ser transportadas de várias maneiras, sendo as formas mais comuns: *dissolvida*, *carga de leito* e em *suspensão*.

3.2.2.1 Carga dissolvida

A carga dissolvida em rios é derivada de várias fontes, sendo elas pelos materiais intemperizados das rochas e dos solos, pela atmosfera e biosfera e pelas atividades antrópicas. Estas são transportados em solução química pelos rios (CHARLTON, 2008). A velocidade de transporte da carga dissolvida é a mesma da água, sendo esta transportada até que haja saturação de seu material e ocorra a deposição.

Em épocas de estiagem, onde o nível d'água é dependente da água subterrânea, a concentração de carga dissolvida apresenta maior quantidade do que em épocas chuvosas, onde ocorre a diluição dessas concentrações de sais que são dissolvidos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

3.2.2.2 Carga de material de leito

A carga de leito é representada pelas partículas de areia, cascalho ou fragmentos de rocha que rolam, deslizam ou saltam ao longo do leito e devido ao volume e a densidade destas, a velocidade de transporte da carga de leito é muito mais baixa que a do fluxo d'água. Suas partículas possuem granulometria maior que 0.062 mm (HICKIN, 1995; CARVALHO, 2000).

Segundo Charlton (2008), a energia requerida para transportar sedimentos aumenta conforme o tamanho das partículas, e dependendo do tamanho dessas, só são transportados durante períodos de grandes cheias.

Uma vez que estas partículas estão em movimento, são transportadas a uma curta distância, e logo são depositadas novamente, uma explicação para isto seria que a tensão de cisalhamento exercida no leito do canal varia consideravelmente em curtas distâncias,

frequentemente caindo abaixo do valor crítico necessário para transportar uma determinada partícula. Uma outra explicação, poderia ser pelo fato que com o movimento da carga de leito, outras partículas com possivelmente uma granulometria maior, venham servir como barreira para o transporte desses sedimentos menores, impedindo assim sua movimentação (CHARLTON, 2008).

3.2.2.3 Carga em Suspensão

Carga em suspensão seria as partículas de granulometria reduzida (silte, argila e areia fina), que permanece em suspensão pelo fluxo turbulento e são transportados a jusante do canal (CHARLTON, 2008). As partículas são mantidas em suspensão até o momento em que a turbulência for suficiente para mantê-las, e quando estas atingirem o limite crítico, precipitam-se em trechos de água mais calmos ou em lagos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Existem diferentes níveis de concentração de sedimentos em um perfil transversal, estando eles dependentes da profundidade e do tipo de material presente. Segundo Hickin (1995) partículas de tamanhos menores (argila e silte) possui uma distribuição vertical bastante uniforme, não variando muito do fundo para a superfície, uma vez que não precisam de altas velocidades para se manterem suspensas. Já as partículas de tamanhos maiores (areia), possui uma distinção, onde a distribuição vertical dos sedimentos se dá em maior proporção no fundo dos canais, onde a turbulência é mais atuante, e a medida que vão se aproximando da superfície, onde a velocidade é menor, a sua concentração vai diminuindo. A figura 13, apresenta esta relação com base em um estudo feito na cidade de Kansas nos EUA.

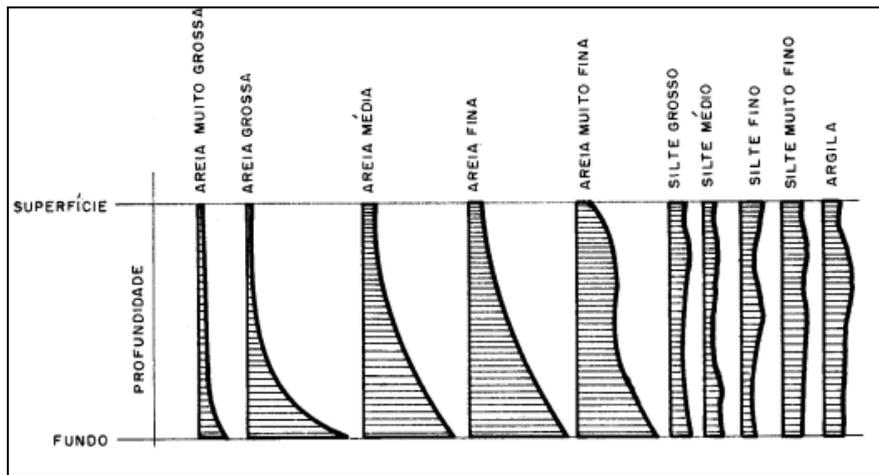


Figura 13 - Distribuição Vertical de sedimentos no rio Missouri na Cidade de Kansas – EUA.
 Fonte: *Subcommittee on Sedimentation* (1963).

Conforme Carvalho (2008), os sedimentos que chegam nos cursos d'água têm diversas granulometrias, e estes passam por um processo de transporte de acordo com as condições locais e de escoamento, sendo que as forças que atuam sobre as partículas pode mantê-las em suspensão ou em fundo. De acordo com o *Subcommittee on Sedimentation* (1963), existem três formas distintas de ocorrer o transporte físico e mecânico dos sedimentos, sendo estes:

- Carga Sólida de Arrasto (ou de Leito): as partículas de sedimento que são transportadas longitudinalmente ao curso d'água, estando predominantemente em contato com o leito;
- Carga Sólida Saltante: as partículas de sedimentos que são transportadas ao longo do curso por conta do efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas;
- Carga Sólida em Suspensão: são as partículas de sedimento que são pequenas o suficiente para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito.

3.2.3 Deposição

Deposição seria a fase da sedimentação onde as partículas transportadas pela água, vento e gelo, são assentadas e/ou quando os minerais dissolvidos se precipitam. Este processo inicia-se quando o meio transportador deixa de ter energia suficiente para movimentar a partícula, ocorrendo assim o seu acúmulo. Este processo ocorre também quando a água se torna supersaturada em solutos (sedimentos químicos), ocorrendo sua precipitação.

Existe um equilíbrio proveniente à quantidade de sedimentos recebidos no rio para que ele se encontre estável, sendo que se a carga sólida for grande, haverá uma tendência de formação de depósitos, ocorrendo assim um processo denominado por “agração” do leito (CHARLTON, 2008). Se ocorrer o contrário, a carga sólida for pequena, o rio vai possuir tendência há “degradação”, neste processo o fluxo d’água é mais intenso, e a concentração de partículas são menores. Este processo ocorre na maioria das vezes a jusante de barragens (CHARLTON, 2008).

Conforme Charlton (2008), as partículas de sedimentos são depositadas quando existe a redução da competência e capacidade do fluxo do rio. É uma vez que os sedimentos não possuem mais forças para se manterem suspensos, estes vão se depositando conforme o seu tamanho (granulometria), onde partículas mais grossas depositam primeiro do que as partículas finas.

Na figura 14 podemos observar este processo, onde as partículas $> 0,01$ mm, tendem a se depositarem a medida que a velocidade do fluxo vai diminuindo. É interessante dar destaque também, nas partículas $< 0,01$, onde mesmo em velocidades quase nulas, estas não se depositam. Isto pode ser atribuído a baixa densidade destas, uma vez que não possuem força suficiente para se depositarem.

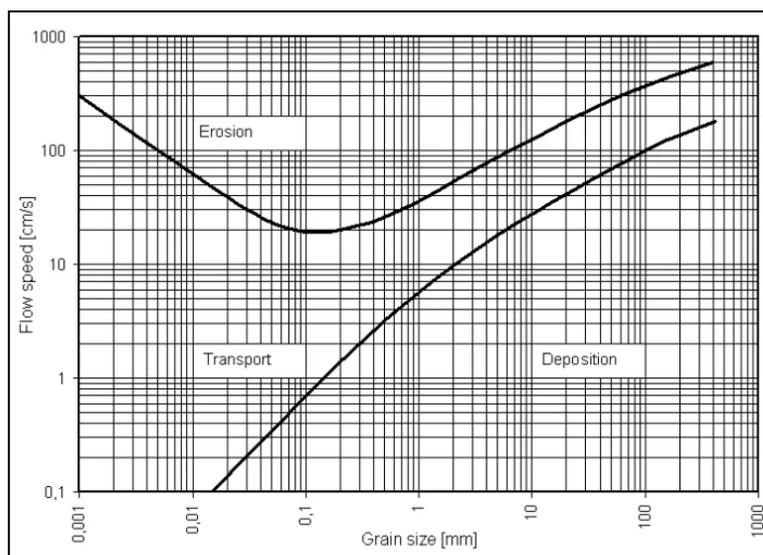


Figura 14 - Relação entre a velocidade média e o tamanho das partículas. (HJULSTROM, 1935 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1981).

3.3 Granulometria dos sedimentos

Granulometria é a área de estudo que determina as dimensões físicas das partículas de uma rocha ou de um outro sólido, que podem variar de tamanhos extremamente pequeno (partículas coloidais), até maiores como argila, silte, areia, cascalho, matacão e rochas. Esta é usualmente expressa em milímetro (mm) ou microns (μm).

Existem vários autores que propuseram classificar os sedimentos detriticos, sendo alguns deles Wentworth (1922), Atterberg (1905) e Krumbein (1963). No Brasil ainda possui a classificação conforme a ABNT 6502/95. A classificação de cada autor é dada conforme a granulometria do sedimento, onde cada um classifica conforme critérios que jugam mais coerentes. No quadro 6, é mostrando a distinção das classificações granulométricas mais utilizadas.

Quadro 6 - Comparação entre escalas granulométricas.

Frações granulométricas	Atterberg (mm)	Wentworth (mm)	ABNT 6502/1995 (mm)	ISO 14688-1: 2002 (mm)
Areia grossa	2,0 – 0,20	2,0 – 0,064	2,0 - 0,60	2,0 – 0,63
Areia média	*	*	0,60 - 0,20	0,63 - 0,20
Areia fina	0,20 – 0,02	2,0 – 0,064	0,20 - 0,06	0,20 – 0,063
Silte	0,02 – 0,002	0,064 – 0,004	0,06 – 0,002	0,063 – 0,002
Argila	< 0,002	< 0,004	< 0,002	< 0,002

*Nesta escala não foi encontrado esta classificação granulométrica.

Analisando longitudinalmente um curso hídrico, pode-se observar que nas cabeceiras dos rios os sedimentos presentes são de granulometria maior, ocorrendo principalmente nesta área os processos de erosão e transporte. A medida que esses sedimentos são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, e vão em direção as zonas de deposição, onde a velocidade do fluxo é menor (CHARLTON, 2008; CARVALHO, 2008).

Existem várias técnicas de análise granulométrica, podendo estas ser realizada por peneiramento, quando temos solos granulares como as areias e pedregulhos, por sedimentação, no caso de solos argilosos, pela combinação de ambos os processos, ou por difração a laser. A seguir são pontuados a características de cada uma dessas técnicas conforme Dias (2004):

- **Sedimentação (pipetagem):** Neste método determina-se a quantidade de material fino existente em fracções dimensionais previamente estabelecidas, tirando proveito das velocidades de sedimentação de cada uma dessas fracções, delas retirando alíquotas por pipetagem. Este é baseado na lei de Stock (velocidade de decantação de uma partícula), para partículas inferiores a 0,063 mm.

- **Peneiramento:** Análise de sedimentos mais grosseiros (2 mm a 0,063 m). Este acontece em um suporte cilíndrico metálico de malha calibrada (parecido com uma peneira), onde são encaixados vários “peneiros” até formarem uma coluna de peneiração. A granulometria é determinada conforme os sedimentos vão ficando nos peneiros.

- **A laser:** Este método granulométrico, que mais corretamente se designa por LALLS – *Low Angle Laser Light Scattering*, baseia-se no princípio de que o ângulo de difração é inversamente proporcional à dimensão da partícula. Onde um feixe de luz monocromática se encontra com as partículas, onde a luz incidente é difractada pelas partículas, gerando-se um padrão de difração estável. Este tipo de aparelhagem determina o volume das partículas, daí se deduzindo o seu raio.

3.4 Hidrossedimentologia

Hidrossedimentologia é o estudo dos sedimentos restrito aos cursos d'água e lagos, este também pode ser chamado de sedimentologia fluvial. O interesse por esta área

é de grande relevância do ponto de vista social, econômico e ambiental, uma vez que a produção de sedimentos interfere direta e indiretamente nas relações bióticas e abióticas de um sistema hídrico.

O comportamento dos sedimentos transportados nos sistemas fluviais pode se dar de diversas maneiras, sendo dependentes das características dos sedimentos (tamanho da partícula, densidade), do regime do escoamento (laminar ou turbulento), da velocidade da corrente, da declividade do leito e dada também pela interferência antrópica no local (uso da terra, obras hidráulicas e outras), com entre várias outras características inter-relacionadas (CHISTOFOLETTI,1981).

Segundo Poletto e Merten (2006), o processo de transferência de sedimento na bacia depende de alguns fatores como, distribuição anual de chuva, uso e manejo do solo, condições geomorfológicas do terreno, umidade antecedente, entre outros.

Os sedimentos que são transportados nos rios são oriundos de processos erosivos que ocorrem em suas vertentes, causados pela atuação dos agentes dinâmicos externos do processo de sedimentação, sendo estes a água, o vento, a gravidade, o gelo e os agentes biológicos. Estes sedimentos são encaminhados para áreas mais planas para a sua deposição, sendo que todos esses processos que envolvem o sedimento, são provenientes de fenômenos naturais que sempre ocorreram através de tempos geológicos, sendo estes responsáveis pela forma atual da superfície terrestre (CARVALHO, 2008). Mas mesmo fazendo parte de um processo natural, a sedimentação pode também ser intensificada pelas atividades antrópicas ocorridas no local, com as atividades agrícolas, construções civis, empreendimentos hídricos, mudança de uso do solo.

Um exemplo desta interferência pode ser observado na figura abaixo, onde pôde ser visto a interferência que determinado tipo vegetação tem na dinâmica fluvial, como mais especificamente na produção de sedimentos. Nesta observamos que em ambientes onde existia uma cobertura vegetal florestal, a disponibilidade de sedimentos para o ambiente foi bastante pequena em comparação aos outros tipos de uso do solo (arbustos do deserto e pastagem), vendo aqui a influência que um determinado uso tem na disponibilidade de sedimentos em um sistema hídrico.

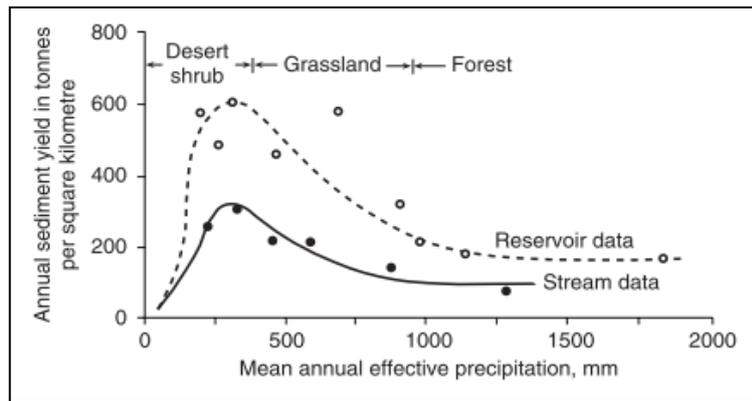


Figura 15- Variação climática do rendimento de sedimentos, determinada a partir de estações fluviométricas e levantamentos de reservatórios Langbein & Schumm (1958).

No trabalho de Cruvinel (2016), foram feitas simulações de perda de solo através do modelo SWAT em bacias hidrográficas do Estado de Goiás, onde apresentou resultados que a ausência total ou parcial da cobertura vegetal, podem aumentar a suscetibilidade de carreamento de partículas nos rios, o que nos permite avaliar que o uso do solo possui interferência na produção de sedimentos, mas não descartando também que este deve ser avaliado em conjunto com outras variáveis.

De acordo com Carvalho (2008), o excesso ou falta de carga sólida em um rio pode provocar diversas alterações neste, sendo que no primeiro caso com uma grande quantidade de sedimentos, o leito começará a se elevar, tornando as enchentes mais frequentes devido à diminuição de capacidade da calha. Já no caso em que ocorre a falta de carga sólida, as margens e o leito dos rios começam a se erodir com a passagem da água. Sendo assim, cada curso d'água possui capacidade de transportar até uma certa quantidade de material sólido, que é denominado como "valor de saturação".

Um dos principais problemas acerca do transporte e deposição de sedimentos, é sua influência nos empreendimentos hídricos (barragens, hidrelétricas, hidrovias), uma vez que esses interferem na funcionalidade e na vida útil destes. Como no Brasil, o fornecimento de energia é predominantemente proveniente de hidrelétricas, o excesso de carga sedimentar em curso d'água pode comprometer o uso da água para abastecimento público ou mesmo para o uso industrial.

Carvalho (2008), apresenta alguns outros problemas relacionados aos processos de sedimentação, no quadro 7 estes são apresentados:

Quadro 7 - Problemas decorrentes do transporte e deposição de sedimentos.

Ambientais	Sociais	Econômicos
Os sedimentos em suspensão impedem a penetração da luz e do calor, reduzindo a atividade fotossintética necessário a salubridade dos rios.	Os sedimentos degradam a água para abastecimento e recreação. E também reduz a qualidade estética do curso d'água	Os sedimentos em suspensão degradam o uso consumptivo da água, aumentando o custo do tratamento.
Diminui a população de peixes nos rios, sobrevivendo as mais resistentes.	Pode provocar a redução das profundidades dos rios, prejudicando a navegação.	Pode provocar a abrasão em turbinas, máquinas e comportas, quando as partículas se movem em alta velocidade, produzindo redução de eficiência ou inutilização a peça.
Atua como portador de poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados. Podendo também ser portador de vírus e bactérias.	Pode elevar o nível de água, aumentando o risco de enchentes, danificando rodovias, propriedades rurais, urbanas e outros.	Pode provocar assoreamento nos recursos hídricos, reduzindo o volume de água e a vida útil do lago.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

Mesmo havendo vários problemas relacionados a presença dos sedimentos, existem também alguns benefícios causados por esse, como a obtenção do cal e do cimento e sendo também a matéria prima para a fabricação de tijolos e artefatos de barro. No quadro abaixo, serão expostos alguns outros exemplos de benefícios ao meio ambiente trazidos pelos sedimentos.

Quadro 8 - Benefícios decorrentes do transporte e deposição de sedimentos.

Benefícios dos sedimentos ao meio ambiente			
Permite um meio no qual as reações químicas podem ocorrer em condições favoráveis.	Permite um meio condutor de microrganismos ou matéria orgânica diversa que melhora a fauna fluvial e marinha.	Atua como redutor de outros poluentes, melhorando dessa forma a purificação da água.	Forma uma camada fértil na parte superior do solo nos campos, várzeas ou área de inundação, devido à deposição em ocasião de enchentes.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

A distribuição de sedimentos em uma seção transversal é determinada por diversos fatores, como a declividade, tipo e tamanho dos sedimentos, precipitação, velocidade da água dentre outros. Sendo essa distribuição variável de uma margem a outra. Na figura 16, pode ser visualizado bem como ocorre essa distribuição.

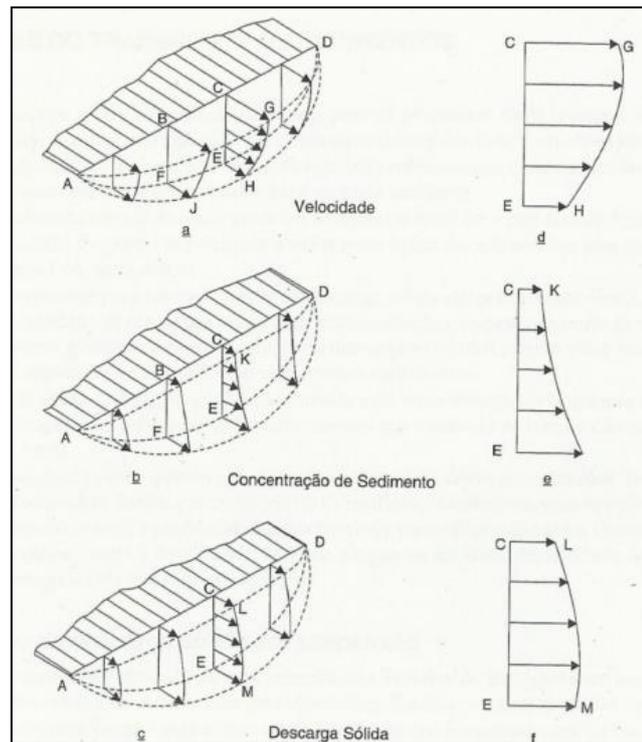


Figura 16- Distribuição da corrente, da concentração de sedimentos e da descarga sólida. Fonte: *Subcommittee on Sedimentation* (1963).

O escoamento em um curso hídrico geralmente é mais lento próximo as margens, sendo as concentrações de sedimentos também menores nestes locais. No centro dos canais (ou mais necessariamente no talvegue), a velocidade do escoamento se encontra mais elevada, e a sua concentração de sedimentos conseqüentemente também. Mas esta relação é dada apenas horizontalmente no perfil, uma vez que o analisando verticalmente, áreas onde correspondem uma maior velocidade não é conseqüente o local onde ocorre a maior concentração de sedimentos.

4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1 Artigo 1: Estudo dos sedimentos em suspensão ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás

1. Introdução

O regime hidrológico de uma bacia hidrográfica bem como a origem do material presente em seus cursos d'água depende de diversas variáveis tais como o clima, estrutura geológica, relevo e a cobertura vegetal. Sendo o fornecimento de material detrítico em cursos d'água um fenômeno natural, que trabalha na esculturação dos canais e das paisagens terrestres desde os primórdios (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Devido a rápida mudança no uso do solo nos últimos anos, grandes também foram os impactos deste ao meio ambiente. A erosão dos solos foi um desses impactos negativos, que além de causar sérios problemas a saúde do solo como interferir negativamente em práticas agrícolas, os sedimentos provenientes deste, quando lançado aos recursos hídricos interferem na morfologia do canal, na sua biota como também na qualidade deste para o consumo.

Segundo Bayer (2010), essa mudança do uso do solo se reflete direta ou indiretamente nas mudanças determinadas de variados aspectos da morfologia do canal e nos parâmetros hidrossedimentológicos como o transporte/carga de sedimentos. Tal correlação se torna positiva a partir da constatação de que o desmatamento da bacia hidrográfica do rio Araguaia, a partir da década 1970, proporcionou o aumento no transporte de sedimentos, evidenciando assim que a resposta geomorfológica e sedimentar em um sistema fluvial pode estar intimamente relacionada com o uso da bacia (LATRUBESSE *et al.*, 2009).

Segundo Siveiro (1999) a erosão pode ser agravada pela influência do homem através dos desmatamentos, construções em geral, mineração descontrolada e atividades agrícolas sem critérios conservacionistas. Causando efeitos ao meio ambiente que vão desde a alteração da qualidade da água dos rios a enchentes provocados pelo assoreamento das calhas de drenagem e dos reservatórios.

Conhecer as características sedimentológicas e hidrológicas de um curso hídrico é de suma importância à análise ambiental de um sistema hídrico, uma vez que poderá identificar a origem dos materiais transportados, avaliar os processos que estão ocorrendo no decorrer do curso, assim como entender a dinâmica sedimentar que este está passando. Como também é de grande relevância para uma boa gestão, pois esses se tornam instrumentos necessários ao seu planejamento, além de suporte para projetos de recuperação (SANTOS, 2013).

A Agência Nacional das Águas (ANA), é a responsável em disponibilizar dados referentes aos recursos hídricos, com também da concentração de sedimentos. Porém por conta do alto custo para a realização dessas coletas, que devem ser executadas por profissionais qualificados, é economicamente inviável a realização periódica desses dados, tomando-se assim por solução a utilização de curva-chave de sedimentos, que em muitos casos tem se mostrado pouco preciso, uma vez que o processo de transporte de sedimento é altamente variável no espaço e no tempo.

Os estudos do transporte de sedimentos em rios são importantes no que diz respeito à poluição, a navegabilidade, a vida útil dos reservatórios, a longevidade dos equipamentos hidrelétricos, habitat dos peixes e abastecimento sanitário (WILLIAMS, 1989). No Brasil esses são ainda mais importantes, uma vez que o setor energético é predominantemente hidrelétrico, podendo o excesso de carga sedimentar comprometer o uso da água para abastecimento público e até mesmo industrial, (SILVA *et al.*, 2004),

Neste contexto de produção de sedimentos, Oliveira (1994) elucida que por meio das atividades agrícolas intensivas, as taxas de sedimentos lançados pelos rios ao oceano aumentaram de 10 bilhões de toneladas/ano para 25 a 50 bilhões de toneladas/ano. Press *et al.*, (2006) também apontam que somando a descarga sólida de todos os rios do planeta, a razão de transporte de sedimentos chega a 16 bilhões de toneladas anuais. Rubin (2003) demonstra a partir de um modelo de estimativa de produção de sedimentos em bacias hidrográficas que a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte produz cerca de 2,64 ton/ha/ano.

Desse modo a presente pesquisa consistiu em realizar o levantamento e análise de dados referentes ao transporte de sedimentos ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), onde buscou-se identificar características hidrossedimentológicas no curso em dois períodos distintos, seco e chuvoso, em seis seções ao longo da bacia. Buscando assim caracterizar e avaliar o curso hídrico em questão, como também fornecer

dados para uma boa gestão e um bom planejamento, diante a falta de dados na área em estudo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

Para a realização deste estudo foram escolhidas seções de rios ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte que está inserida na bacia do Paranaíba, na Região Hidrográfica do Paraná, localizada no Estado de Goiás contida entre os meridianos $48^{\circ} 46' 48''$ e $49^{\circ} 44' 51''$ de longitude e os paralelos $16^{\circ} 06' 38''$ e $18^{\circ} 32' 15,3''$ de latitude. Esta área corresponde a 3,6 % da área total do Estado (12,340 km²), (VEIGA *et al.*, 2011).

2.2 Procedimentos Metodológicos

2.2.1 Levantamento de dados

Inicialmente foi realizado um levantamento ao longo de toda a bacia para a escolha dos locais de amostragens e medições, e com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, foram selecionadas seis seções, tendo pelo menos uma em cada sub-bacia, (figura 17).

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em duas etapas, a primeira no período de estiagem, e a segunda no período chuvoso. As datas referentes a cada campo estão demonstradas abaixo:

- Seção 1: 16/julho e 05/novembro de 2018;
- Seção 2: 13/julho e 05/novembro de 2018;
- Seção 3: 13/julho e 07/novembro de 2018;
- Seção 4: 16/julho e 16/novembro de 2018;
- Seção 5: 20/julho e 16/novembro de 2018;
- Seção 6: 20/julho e 23/novembro de 2018.

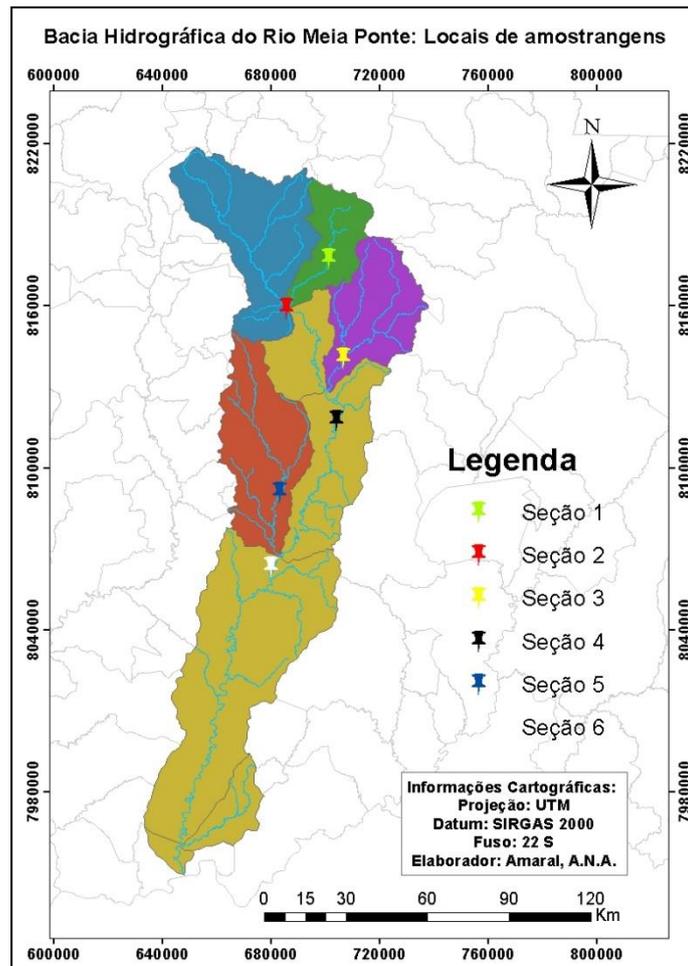


Figura 17 – Locais de amostragens da BHRMP.

Para a determinação da vazão, foi utilizado o *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), equipamento bastante empregado para a medição da descarga líquida de rios, sendo seus métodos muito mais práticos e rápidos que os convencionais. Seu funcionamento parte do princípio de efeito Doppler, que consiste na emissão de ondas sonoras encontrada na faixa ultra-sônica, que são refletidas por partículas em suspensão encontrada na água e no leito dos rios. Este retorno da onda refletida pela partícula é capaz de reconhecer as diferentes profundidades e velocidades, sendo assim possível construir um perfil vertical da coluna d'água (SIMPSON, 2001; CARVALHO(b), 2008; DORNELLES, 2009).

As amostragens foram feitas por meio do amostrador pontual, garrafa de *Van Dorn*, tendo ele a forma de cilindro horizontal equipado com válvulas nas extremidades que são fechadas subitamente ao lançamento de um peso. Devido a massa da garrafa ser pequena e muita das vezes não suficiente para realizar medições mais profundas, foi

escolhido realizar as coletas em pelo menos três pontos de cada seção dos rios, em sub-superfície, sendo elas responsáveis em representar toda a seção transversal. As amostras logo depois de coletadas, eram armazenadas em garrafas de 1 litro e condicionada a um local adequado (caixa térmica), figura 18.



Figura 18 - a) ADCP; b) Amostrador pontual Garrafa de *Van Dorn*; c) Garrafa de âmbar.

2.2.2 Análises Laboratoriais

A próxima etapa consistiu em processar e analisar as amostras coletadas, no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), onde foram realizados os procedimentos de separação, para assim determinar a concentração de sedimentos.

As análises foram realizadas conforme Carvalho (2008) e o Carvalho (2000), pelo método de filtração, sendo esse recomendado pela rapidez de operação e simplicidade de equipamentos, apresentando relativa precisão nos dados, e indicado para pequenas quantidades de sedimentos. Este método consiste na filtração das amostras (sedimento + água) coletadas em campo, com o objetivo de determinar a concentração de sólidos que são transportados no curso hídrico em estudo.

Primeiramente, as amostras foram levadas ao dispersor como forma de homogeneizá-las, logo em seguida passaram pelo processo de filtração, onde foram utilizados filtros de acetato de celulose com porosidade de $0,45 \mu\text{m}$ (pré - pesados), onde os sólidos dissolvidos na amostra são depositados em sua superfície. Após a filtração os filtros são levados a uma estufa à 100°C durante uma hora, deixando 24 horas no dessecador com silicagel, fazendo em seguida uma segunda pesagem deste, conforme, figura 19. O período de descanso do dessecador se torna importante em decorrência do

estabelecimento do equilíbrio da umidade, que por vezes na estufa, mesmo a 100°C, retira a umidade contida na própria fibra da membrana.

Em seguida, realiza-se a aferição da diferença de massa da segunda pesagem com a primeira dividido pelo volume da amostra irá determinar a Concentração de Sedimentos Suspensos (C_{ss}), conforme a equação 1.



Figura 19 - a) Dispersor de amostra; b) Balança de alta precisão; c) Filtro; d) Estufa; e) filtro de acetato de celulose com sedimentos.

(1)

$$C_{ss} = \frac{P2 - P1}{V}$$

Em que:

C_{ss} – Concentração de Sedimentos Suspensos (mg/l);

P2 – Massa do material filtrado mais a massa do filtro (mg);

P1 – Massa do Filtro (mg);

V – Volume da amostra (l).

2.2.3 Cálculo da descarga sólida em suspensão

Para a determinação da descarga sólida de sedimentos em suspensão nos trechos em estudo, foi escolhida a metodologia por amostragem pontual, indicado no livro de Carvalho (2008). Os dados utilizados nesta equação são basicamente a vazão (m^3/s), a concentração de sedimentos suspensos no ponto (mg/l), e uma constante referente ao tempo em segundos (s). O produto destas variáveis resulta no transporte de sedimentos em toneladas ao dia, conforme a Equação 2.

$$q_{ss} = 0,0864 \sum c \cdot V \cdot \Delta p \cdot l \quad (2)$$

Em que:

q_{ss} = descarga sólida em suspensão parcial, no segmento da vertical considerada;

c = concentração de sedimento no ponto;

V = velocidade da corrente no ponto de amostragem;

Δp = profundidade de influência;

l = largura de influência, indo até a metade de cada posição de verticais de medições pontuais.

A descarga sólida em suspensão é obtida pela soma de todas as verticais:

$$Q_{ss} = \sum q_{ss} \quad (3)$$

2.2.4 Cálculo da descarga sólida total

Já para a determinação da descarga sólida total (Suspensão + Fundo), um dos métodos mais conhecidos para realização do cálculo da descarga sólida é o de Einstein (1950), onde ao longo dos anos diversos autores propuseram melhorar a sua equação original, como algumas modificações que facilitam sua implementação, sendo até mais usuais que a original. Colby (1957) foi um desses autores, ele desenvolveu pelo menos três métodos para cálculo da descarga sólida total baseados no método de Einstein (CARVALHO, 2008). Um desses, o método simplificado, usa dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão, para o cálculo da descarga sólida total, sendo este demonstrado pelas equações abaixo (equação 4):

(4)

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

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C'_s$$

$$Q_{nm} = q'_{nm} \cdot K \cdot L$$

Onde:

Q_{st} – descarga sólida total (t/dia);

Q_{sm} – descarga sólida medida (t/dia);

Q_{nm} – descarga sólida não-medida (t/dia);

q'_{nm} – descarga sólida parcial não –medida (t/dia/m);

C'_s – concentração medida (mg/L ou ppm);

L – largura do rio (m);

K – fator de correção.

O valor de Q_{nm} é referente à descarga de arrasto com a descarga não-amostrada, sendo que com auxílio de ábacos (ANEXO), e partir da velocidade média (m/s), da profundidade média (m), da concentração de sedimentos (mg/l) e da largura da seção, é possível estimar seu valor. Os ábacos desenvolvidos por Colby, foram obtidos a partir de um trabalho semi-empírico, baseado em diversos cálculos de descarga sólida, principalmente o de Einstein, e por medições em rios (CARVALHO, 2008).

3. Resultados e Discussões

3.1 - Variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão entre pontos de uma mesma seção

3.1.1 Seção 1 – Ribeirão João Leite

Na seção 1 do ribeirão João Leite onde foram realizadas três amostragens de C_{ss} , uma próxima a cada margem e outra no centro da seção, identifica-se que os valores não variaram muito de uma margem em relação a outra, estando os valores muito próximos, havendo uma pequena quantidade a mais no meio da seção, para a primeira coleta, e na margem esquerda para a segunda coleta, conforme figura 20.

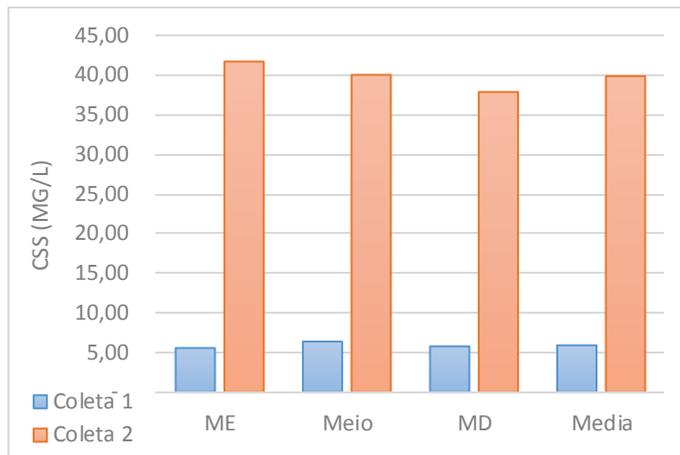


Figura 20 - Variação da C_{ss}; Seção 1 - Ribeirão João Leite.

Constata-se que houve um aumento expressivo da C_{ss} no período chuvoso, aumentando cerca de seis vezes mais em relação ao período de estiagem, evidenciando assim, o aumento de capacidade de transporte entre os períodos analisados. A avaliação do perfil transversal no período chuvoso evidenciou um ganho de largura do canal em direção à margem esquerda, conforme figura 21, onde consequentemente a C_{ss} se mostrou maior, o que indica o retrabalho desses sedimentos em direção a planície de inundação, a partir da calha vazante, dado o aumento da competência e da capacidade de transporte por conta do aumento do deflúvio no período chuvoso.

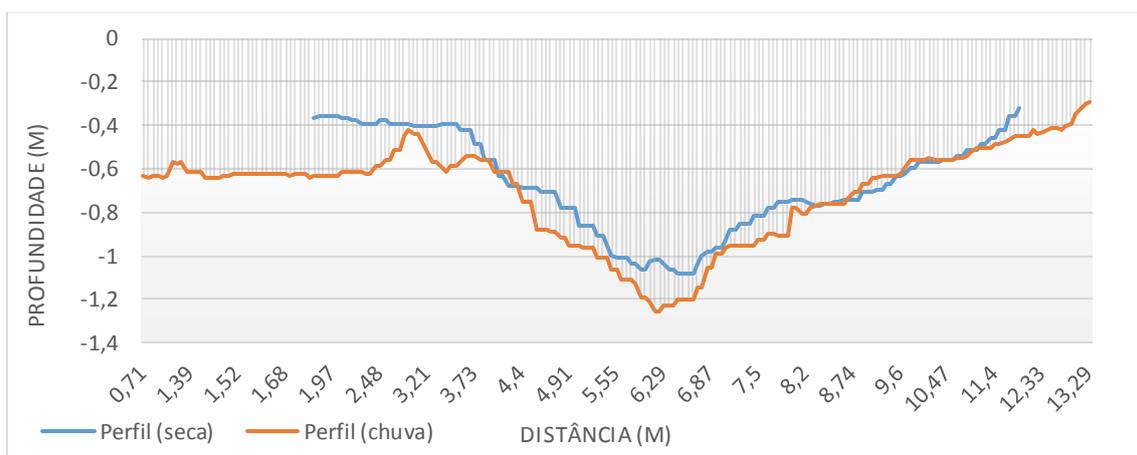


Figura 21 – Perfis transversais da Seção 1 - Ribeirão João Leite.

Este ganho de C_{ss} também pode estar associado a dinâmica fluvial de transporte na margem esquerda, em que materiais de menor erodibilidade tendem a desagregar-se mais facilmente em relação a margem de maior deposição, a margem direita. A diferença entre a profundidade da margem esquerda, entre os períodos chuvoso e seco, apresenta valores de cerca de 20 cm, em relação ao nível de água ($N.A = 0$). Observando a margem direita constatou-se mudança inexpressiva entre os dois períodos.

Verificou-se assim uma colmatação dos sedimentos na margem direita, compatível com uma barra lateral, com baixa alteração entre os períodos chuvoso e seco, mantendo o padrão retilíneo, com pequena sinuosidade, em virtude de uma maior concentração do fluxo no centro do canal, principalmente no período de chuva (CHRISTOFOLLETI, 1981; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A figura 21 ainda mostra que a comparação entre as secções transversais de dois períodos distintos, seco e chuvoso, apresentaram uma oscilação do nível de base do rio de um período a outro, uma vez que a vazão do rio sofreu um pequeno aumento, estando $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$ na época da seca, e $3,24 \text{ m}^3/\text{s}$ no período chuvoso, mas que ainda necessitam de novas observações quanto esta oscilação em um recorte temporal mais amplo, com vistas a indicar um aumento ou não da incisão fluvial.

Pode-se afirmar que em decorrência do processo de alteração da capacidade de transporte, o canal responde às alterações de descarga sólida ajustando a sua forma, aumentando a largura do canal. Ademais, o aumento da C_{ss} tem como origem além destes sedimentos provenientes das margens do canal como também de sedimentos erodidos à montante.

A constatação do retrabalho dos sedimentos oriundos da barra lateral são reforçados a partir da constatação de que as margens estão bastante preservadas, o que pode conferir assim maior resistência a erosão de margem. Casco *et al.*, (2005) afirma que a vegetação tem um efeito dissipador sobre os processos de esculturação dos canais fluviais, diminuindo assim sua potencial ocorrência de fenômenos erosivos.

A comprovação do estágio de conservação da vegetação ripária pode ser vista a partir da figura 22, em que o local apresenta uma vegetação densa, mata ciliar, com árvores de grande porte. Em comparação entre os períodos seco e chuvoso a diferença constatada se dá pelo estado fotossintético, evidenciando maior exuberância na época chuvosa.



Figura 22– Seção 1- Ribeirão João Leite. a) Período seco (16/07/18); b) Período de chuva (05/11/18).

3.1.2 Seção 2 – Meia Ponte 1: Montante

Na seção 2, foram feitas também três coletas, uma próxima a cada margem e outra ao centro. Nesta seção pode-se identificar que os valores de C_{ss} , variaram muito de uma margem a outra, conforme figura 23. Além da aferição por filtragem, foi também possível perceber a distinção da C_{ss} pela tonalidade das cores que variaram bastante entre os locais de coleta nessa seção.

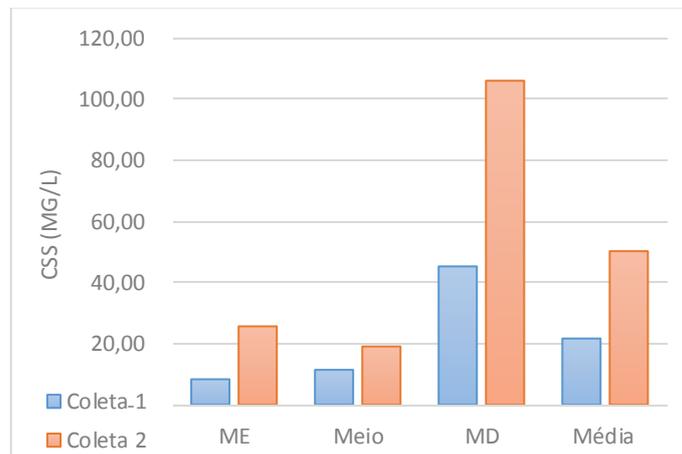


Figura 23– Variação da C_{ss} ; Seção 2 - Meia Ponte: Montante.

Esta distinção pode ser atribuída ao um banco de sedimentos e depósitos tecnógenos dispostos próximo ao fim da margem direita, onde também pode ser observado o lançamento inadequado de esgoto no local, sendo responsável pela coloração escura dos sólidos filtrados, constituído em grande parte por matéria orgânica (figura

24c). Foi observado também que esses podem contribuir com a mudança do padrão do canal, advindo de uma mudança das linhas de fluxo, conforme observamos na figura 24.

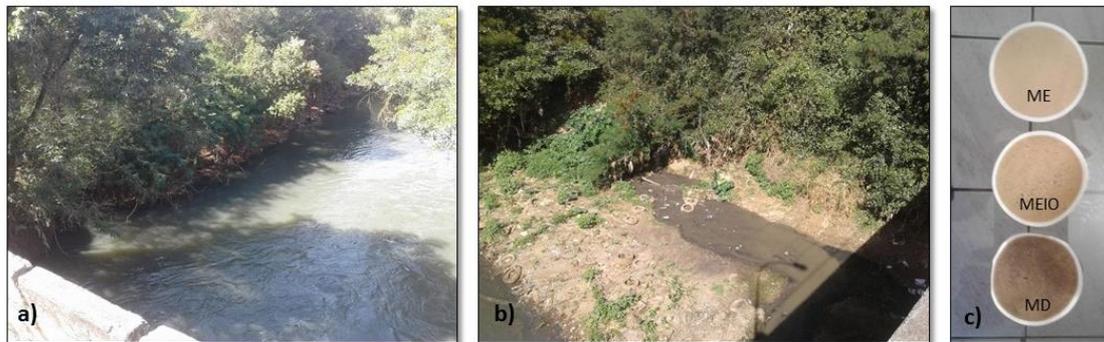


Figura 24– Seção 2: Meia Ponte Montante. a) Margem esquerda; b) Margem direita; c) Filtros de acetato com os sedimentos do local.

Von Sperling, (1996) afirma que os esgotos brutos apresentam uma concentração de sólidos totais que pode variar de 700 mg/L a 1.350 mg/L. Mesmo os valores da Seção 2 estando baixo do apontado por lançamentos de esgoto, podemos atribuir esta justificativa para alta concentração na margem amostrada.

Ademais, diferentemente da seção 01, esta seção apresenta a linha do talvegue mais distribuída, com cerca de 6 metros de distribuição lateral, com poucas oscilações, conforme figura 25, exibindo uma oscilação do nível de base em cerca de 10 cm. Diferentemente, a primeira seção apresenta um talvegue que encontra numa faixa muito restrita no centro do canal.

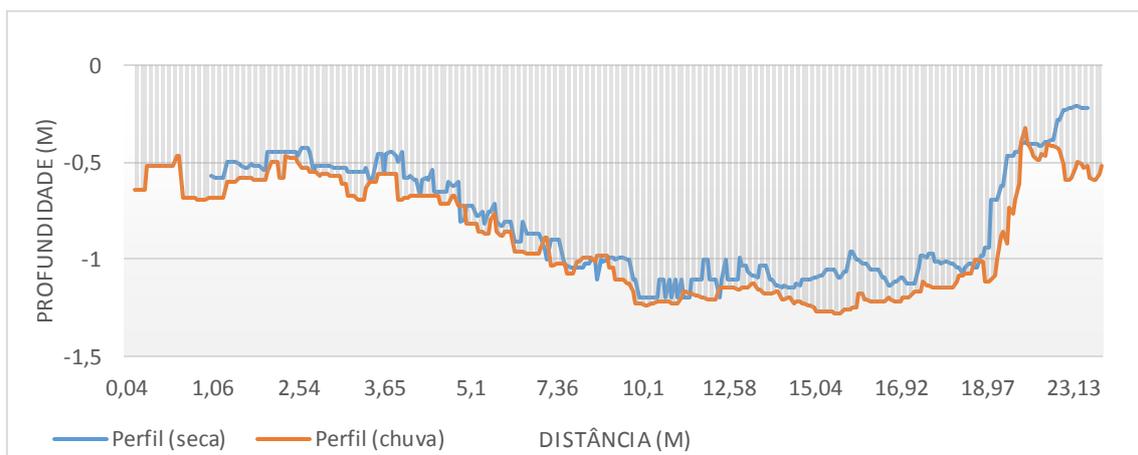


Figura 25 - Perfil transversal da Seção 2 - Rio Meia Ponte: Montante.

A diferença de vazão registrada entre os períodos de estiagem e de chuva também foram maiores em relação a seção anterior, apresentando nessa seção grande contribuição

de deflúvio, algo já esperado. A vazão aferida no local foi de 8,27 m³/s para a primeira amostragem e de 11,32 m³/s no período chuvoso.

3.1.3 Seção 3 – Rio Caldas

Na seção 3, no rio Caldas, foram realizadas três coletas, duas próximas as margens e outra ao centro. Seus valores também não variaram muito de uma margem a outra, exibindo uma diferença entre os locais de coleta da mesma seção de até 2,08 mg/l para a coleta 1, e de 13 mg/l para a coleta 2 (figura 26).

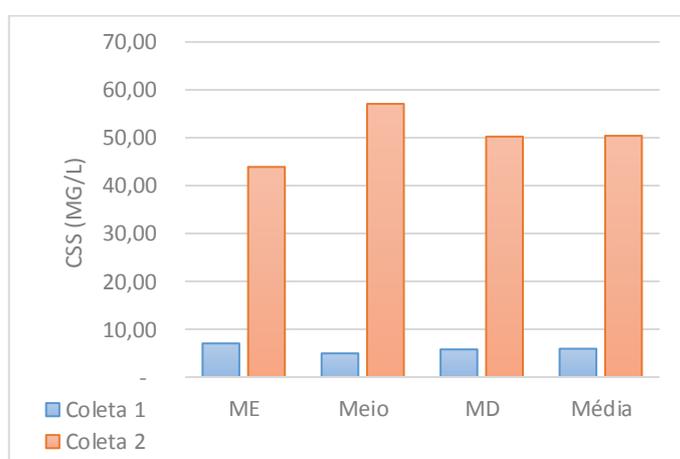


Figura 26– a) Variação da C_{ss}; Seção 3 - Rio Caldas.

Esta diferença entre as amplitudes de C_{ss} podem ser explicadas pela maior competência de transporte no período chuvoso, que em termos gerais, a partir da média como parâmetro de análise apresentou maior acréscimo de C_{ss}, ante as demais seções, partindo de cerca de 6,0 mg/L para 50,5 mg/L. Em outras palavras, há um acréscimo de cerca de 8 vezes da C_{ss} nesta seção de amostragem.

Estudos averiguados em um relatório disponibilizado pela então Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH, indicam que as águas do Rio Caldas apresentam IQA classificado como razoável, com cerca de 45 pontos, sendo que, na oportunidade as águas deste curso exibiram uma concentração de sólidos totais de 90 mg/L e turbidez de 21 UNT, dentro do permitido pela Resolução CONAMA nº357/2005.

Os resultados coletados demonstram uma relativa estabilidade entre a distribuição da C_{ss} na seção. No período chuvoso, a porção do canal com maior atividade de transporte

é a central, próxima a margem direita, conforme figura 27, correspondendo ao talvegue, que apresenta maior energia e capacidade de transporte desses sedimentos. No período de estiagem a margem esquerda apresenta a maior contribuição de C_{ss} .

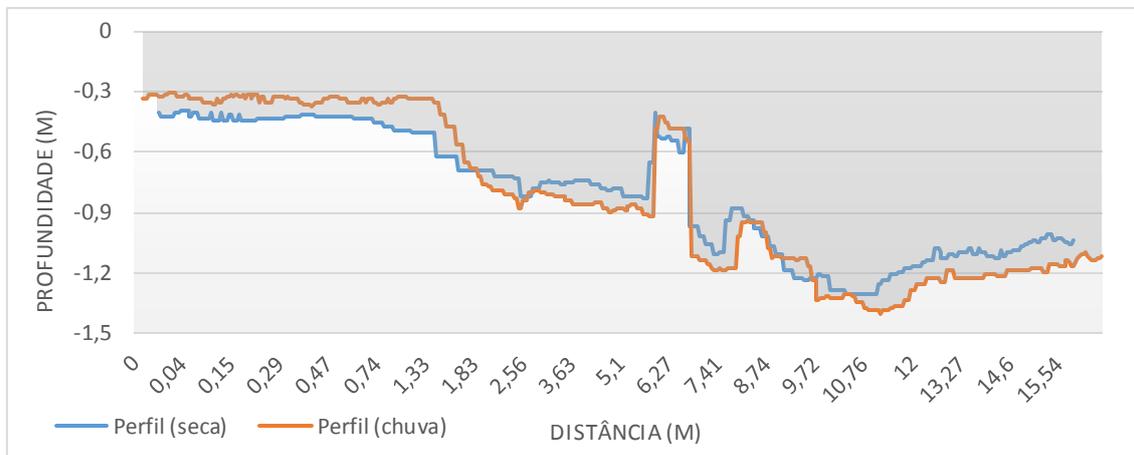


Figura 27- Perfil transversal da Seção 3 - Rio Caldas.

Tal situação sugere uma variação quanto ao comportamento das margens, sendo que a margem esquerda apresenta menor profundidade, conforme figura 12, no período das chuvas, evidenciando uma diminuição de cerca de 10 cm na profundidade, demonstrando a deposição de sedimentos no período chuvoso neste lado.

Em outras palavras, há um retrabalho do talvegue, local de maior energia, com deposição de sedimentos na margem esquerda, em que o deflúvio ali convertido não exibe capacidade de transporte, mantendo-o em suspensão, tendendo a deposição. Destaca-se que este perfil realizado, figura 27, apresenta algumas imperfeições em decorrência da averiguação ser analisada em uma área onde localiza-se uma ponte, podendo haver interferências dos fluxos pelos desvios das pilastras de fundação, conforme observado entre a distância 5 e 7m.

Quanto a preservação das zonas ripárias, pode ser observado que a paisagem na segunda amostragem está bem mais verde e densa que a na primeira, conforme figura 28. Ademais, a água exibe um aspecto mais turvo, no período de cheia, em relação a estiagem, haja visto o aumento da C_{ss} de cerca 8 vezes de um período a outro, conforme já demonstrado. No lado direito há uma árvore que a sua copa alcança o leito do rio, o que interferiu a medição até o fim da margem. A vazão aferida no local foi de 6,16 m^3/s para a primeira amostragem, e de 8,33 m^3/s para a segunda.



Figura 28– Seção 3: Rio Caldas. a) Período seco (13/07/18); b) Período de chuva (07/11/18).

3.1.4 Seção 4 – Rio Meia Ponte 2: Meio

Na seção 4, foram feitas quatro coletas, duas próximas as margens, e outras duas, mais ao centro da seção. Os valores mostraram-se semelhantes em quase todos os pontos de coleta, a não ser pela amostra “Meio 2”, onde obteve um valor abaixo dos demais nas duas coletas (figura 29).

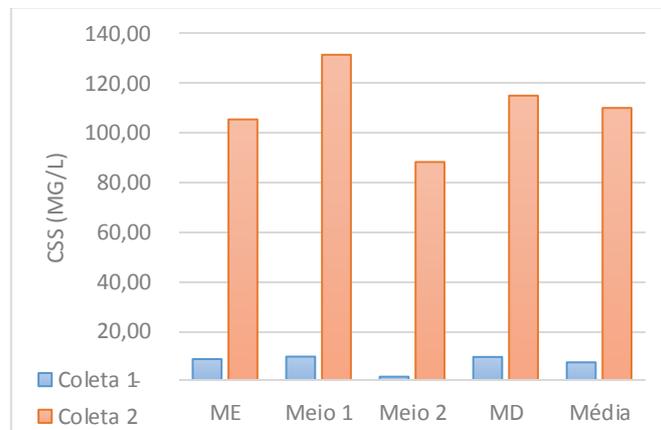


Figura 29– a) Variação da *C_{ss}*; b) Curva Chave da Seção 4 - Meia Ponte: Meio.

Os valores da seção 4 apresentaram-se maiores do que das demais seções anteriores, demonstrando assim, a contribuição e a transferência de sedimentos das bacias a montante. No período de estiagem, o rio apresenta uma concentração praticamente uniforme quando comparada as duas margens, esquerda e direita, e o centro do local coletado, com cerca de 10 mg/L de média. No período chuvoso, a seção apresentou uma concentração de cerca de 117 mg/L, valores maiores aos apontados por Rubin (2002) em

que foram constatados em um local próximo pelo autor uma C_{ss} de cerca de 61 mg/L, ou seja, quase a metade em um recorte temporal de dezessete anos.

Destaca-se que o valor “Meio 2” pode apresentar-se inferior em relação aos demais, em decorrência da obstrução de uma pilastra de sustentação da ponte, que pode reter os sedimentos suspensos e conseqüentemente interferir nas amostragens e em seus resultados.

Os resultados demonstram que houve um crescimento de cerca de 24 mg/L em cerca de 60 km de distância entre os pontos aferidos diretamente sobre o canal do rio Meia Ponte, entre a seção 04 e a seção 02. Ademais, os resultados também demonstram um acréscimo de cerca de 15 vezes mais de C_{ss} entre os dois períodos comparados nesta seção, a estiagem e o chuvoso.

A partir da comparação entre os dois perfis, foi observado que este aumentou sua profundidade em cerca de cinquenta centímetros próximos das margens, e que no centro do canal este se manteve estável, sem grandes mudanças, conforme a figura 30.

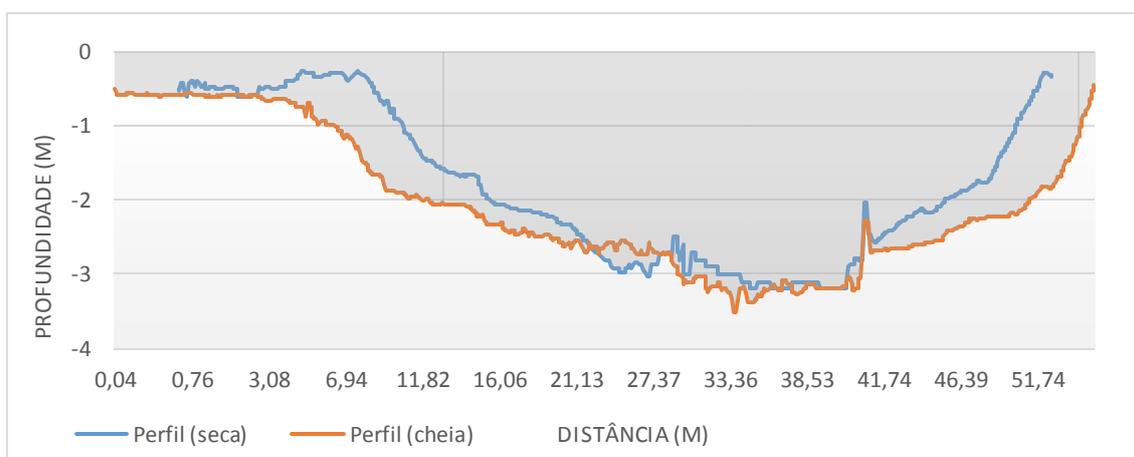


Figura 30 – Perfil transversal da Seção 4 - Meia Ponte: Meio.

A vegetação do local como pode ser observada na imagem abaixo é bastante densa, com a presença de árvores de médio a grande porte. A coloração da água apresentou-se bastante turva na segunda coleta, o que justifica a alta concentração de sedimentos.



Figura 31 – Seção 4 – Meia Ponte: Meio. a) Período seco (16/07/18); b) Período de chuva (16/11/18).

De acordo com Souza (2013) no estudo realizado no rio Tucunduba – PA, os dados de turbidez do período de estiagem para o chuvoso apresentaram-se com uma diferença de até três vezes de uma coleta a outra. Uma vez que os sedimentos no período de seca, tendem a se depositarem nos fundos dos canais, fazendo com que a água presente estar mais límpida. Porém no período de chuvas, estes sedimentos são dispersos, tornando a água mais turva.

A vazão aferida no local quase que dobrou de um período a outro, onde na primeira coleta esteve em 21,55 m³/s e na segunda 38,93 m³/s.

3.1.5 Seção 5 – Rio Dourado

Na seção 5, no rio Dourado, foram feitas três medições, uma próxima de cada margem, e outra ao centro. Seus resultados não variaram muito de uma margem a outra, mas tendo seu maior valor no ponto “Meio” para a coleta 01, e na margem direita ou “MD” para a coleta 2. A *C_{ss}* média para o período de seca foi 8,20 mg/l e para o período de cheia 40,29 mg/l. Na figura 32 está representado os resultados de concentração de sedimento suspensos para esta seção.

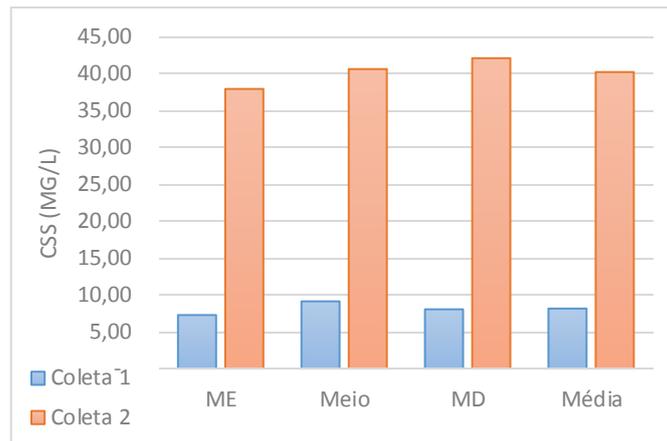


Figura 32– a) Variação da C_{ss} ; Seção 5 - Rio Dourado.

Observando a figura 18 constata-se que a margem esquerda apresentou um aumento na largura do rio, bem como uma maior colmatação de sedimentos no período chuvoso ante o período de seca, demonstrando que este lado está passando por processo de deposição e ampliação de sua planície. o que pode justificado pela menor concentração de sedimentos neste lado da seção, nos dois períodos. A Margem direita onde a C_{ss} foi maior na segunda coleta, período chuvoso, apresenta seu talvegue próximo a largura de 17,2 m e demonstram que processos de erosão e transporte estão ocorrendo no local.

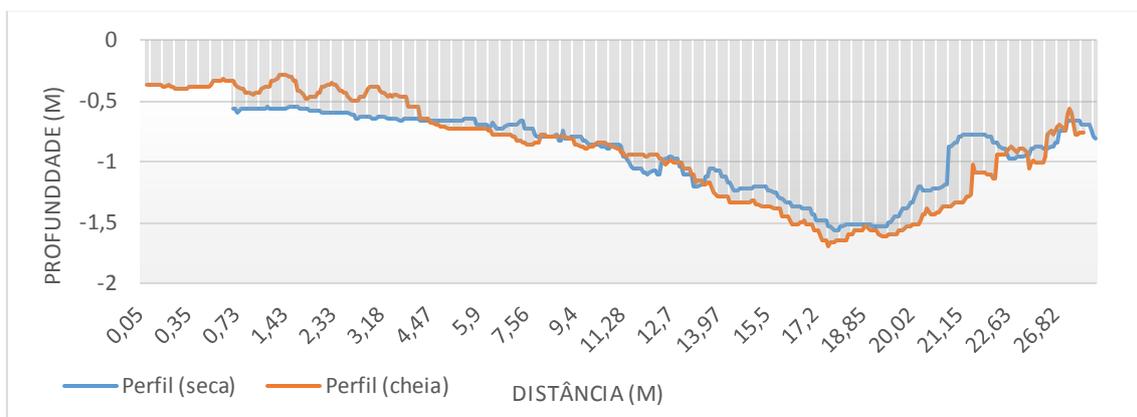


Figura 33– Perfil transversal da Seção 5 - Rio Dourado.

Conforme a descrição feita no local nas duas coletas, foi observado que na margem direita havia a presença de árvores e vegetação gramínea, porém existiam ainda pequenos processos erosivos ocorrendo na margem. Na margem esquerda havia um grande banco de sedimentos, com árvores caídas sobre ele, indicando a evolução das encostas, por erosão de margem. Na figura 34 está demonstrado imagens do local.



Figura 34 - Seção 5 - Rio Dourado – Margem esquerda. a) Período seco (20/07/18); b) Período de chuva (16/11/18).

Mesmo a margem esquerda estando passando possivelmente por um processo de deposição, podemos observar a diferença desta vertente nos dois períodos, uma vez que na seca está manteve-se mais estável com a presença de uma vegetação rasteira no local. Porém no período chuvoso, está se mostra mais erodida, o que justifica a maior C_{ss} neste período, uma vez que nesta época as vertentes que não possuem uma vegetação consolidada, com raízes profundas que dão sustentação a margem, é facilmente erodida com a chuva. A vazão aferida no local foi de $6,78 \text{ m}^3/\text{s}$ para a primeira coleta, e $8,48 \text{ m}^3/\text{s}$ para a segunda.

3.1.6 Seção 6 – Rio Meia Ponte 3: Jusante

Na seção 6 foram feitas cinco coletas ao longo do rio, uma próxima a cada margem, e outras três no distribuídas ao centro do canal. Esta seção foi que obteve a maior mudança de uma coleta a outra, sendo que o valor da C_{ss} média na primeira coleta foi de $2,62 \text{ mg/l}$, e para a segunda um valor de $127,58 \text{ mg/l}$, tendo um aumento de mais de 45 vezes entre os dois períodos (figura 35).

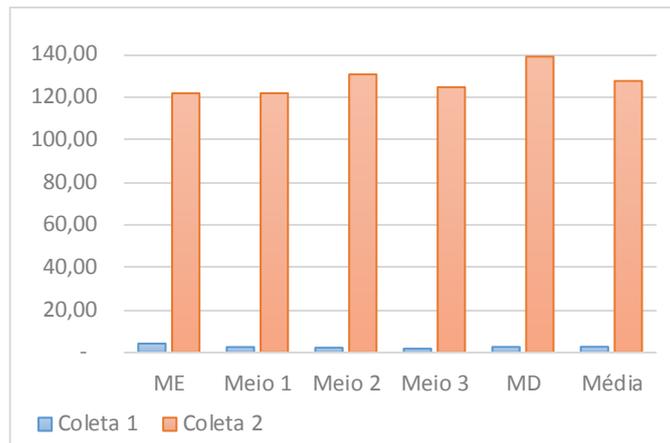


Figura 35– Variação da C_{ss}; Seção 6 - Rio Meia Ponte: Jusante.

Na figura 36, está demonstrado também que houveram mudanças expressivas de um período a outro, onde a profundidade do rio aumentou cerca de um metro em toda a seção. O que acarretou em uma maior concentração de sedimentos suspensos a ser transportado. Isso por consequência da vazão, que está diretamente relacionada com as precipitações, e que são frequentes neste período.

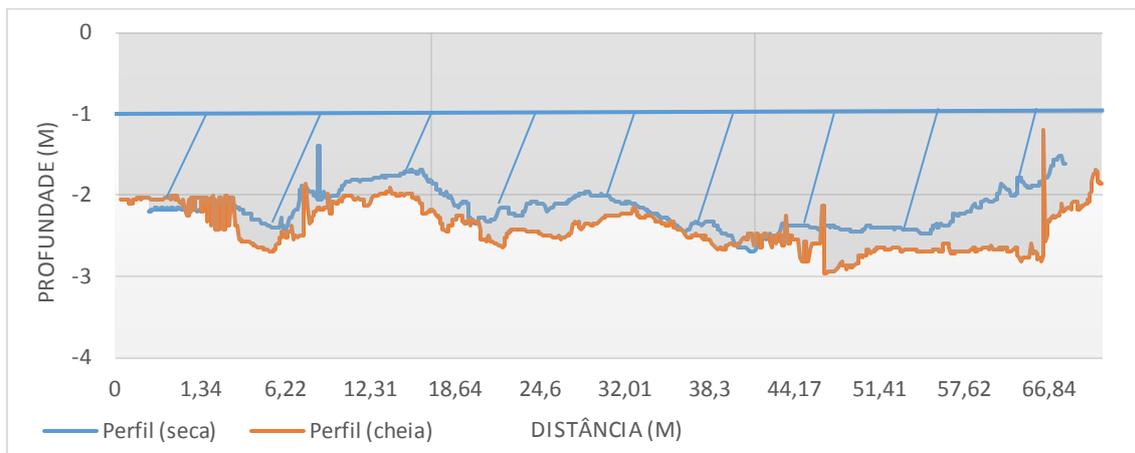


Figura 36 – Perfil transversal da Seção 6 - Rio Meia Ponte: Jusante.

Conforme Rubin (2003), o rio Meia Ponte por se tratar de um rio situado em um clima tropical-subúmido, com duas estações bem definidas, apresenta variações de alguns parâmetros em relação de um período a outro, como exemplo a largura do canal, profundidade, descarga líquida, carga de sedimentos suspensos e de fundo.

De acordo com a descrição feita no local, próximo a margem direita existe uma “trilha” que supostamente é para descer barcos ao rio, parecendo ser uma pratica comum na região, sendo que em épocas de chuva podem favorecer a erosão das margens e

deposição de sedimentos nos rios. Além disso, constata-se que a vegetação está densa, com algumas vertentes desnudas, que confirmam onde o nível d'água alcançam na cheia. A margem esquerda está bastante vegetada, com presença de árvores de grande porte, com apenas pequenos trechos sem vegetação, conforme figura 37.

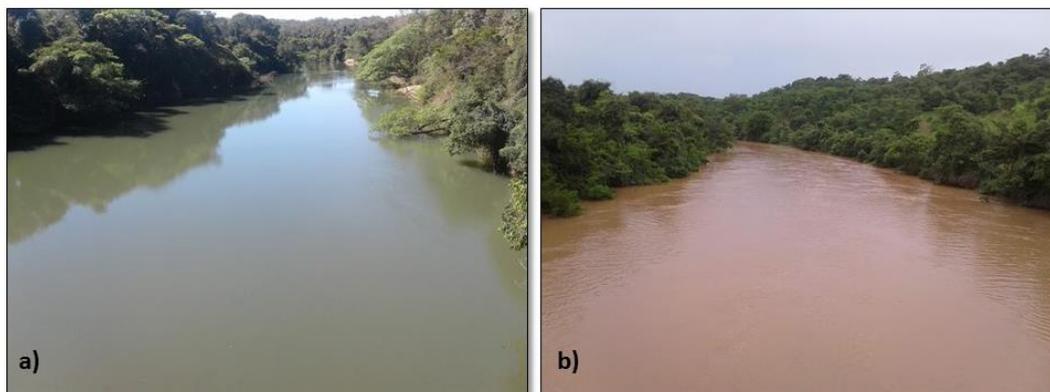


Figura 37 – Seção 6 - Meia Ponte: Jusante. a) Período seco (20/07/18); b) Período de chuva (23/11/18).

A vazão do aferida no local foi de 30,54 m³/s para a primeira coleta e de 114,34 m³/s para a segunda o que sugere nesse trecho um maior transporte de sedimentos mais grosseiros, bem como o recebimento de descargas sólidas promovidas a montante. Tal sugestão se dá pela contribuição de vazão no período de estiagem que não alcançam as velocidades críticas para erosão e transporte de sedimentos, sendo que no período chuvoso além de receberem o aporte de sedimentos a jusante, consegue remobilizar e transportar os sedimentos da mesma calha.

3.2 - Variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte

Da mesma forma que existe uma dinâmica no comportamento dos sedimentos dentro de uma seção transversal, existe também uma ao decorrer do curso (longitudinalmente). De acordo com Charlton (2008), a bacia hidrográfica pode ser dividida em três zonas, a primeira como a zona de produção, que seria o local onde a maior parte dos sedimentos são disponibilizados, depois esses são transferidos para a “zona de transporte”, onde existe as interações entre os canais, portanto, as produções de sedimentos não são tão fortes, e na medida que um rio se aproxima do oceano e/ou sua declividade vai diminuindo, é alcançando assim a sua de “zona de deposição”.

Conforme os dados adquiridos neste estudo, podemos visualizar que a BHRMP apresentou uma dinâmica distinta de uma coleta a outra, sendo que, no período de estiagem a C_{ss} sofreu uma diminuição de montante a jusante, em relação ao rio principal, variando desde de 21,69 a 2,62 mg/l. Porém esta dinâmica não ocorreu no período de chuvas, uma vez que houve um aumento da C_{ss} de montante a jusante, variando de 50,25 a 127,58 mg/l, em relação ao rio principal. Podemos visualizar esta dinâmica na figura abaixo.

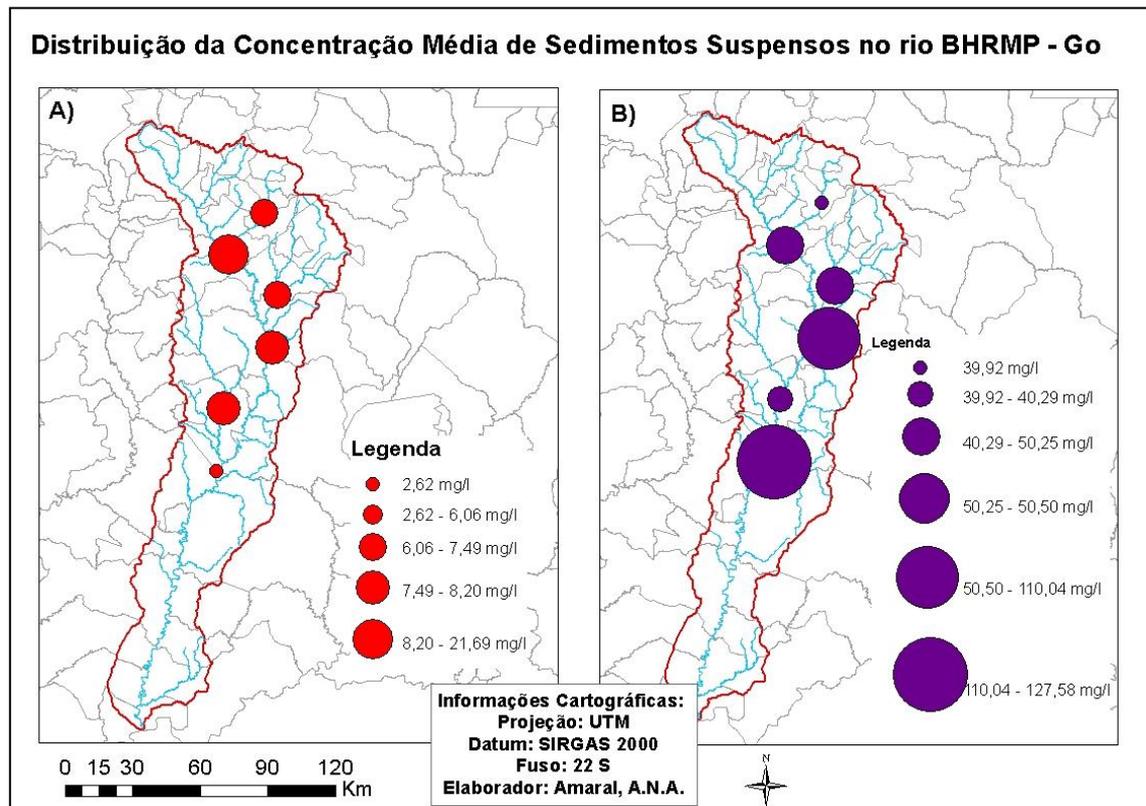


Figura 38– Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão da BHRMP. a) Período de estiagem (Julho/2018); b) Período de chuva (Novembro/2018).

A partir da figura acima foi visualizado que a seção que apresentou maior concentração de sedimentos em suspensão no período de estiagem foi a Seção 2 - rio Meia Ponte 1: Montante, estando na foz da sub-bacia Alto Meia Ponte. Conforme o mapeamento feito para o Cerrado em 2013 intitulado de *TerraClass*, está sub-bacia conta 54% de sua área tomada por pastagem, aproximadamente 6% de agricultura anual ou perene, 25% por áreas naturais, 1% por silvicultura e outros 13% de áreas urbanas, sendo esta a sub-bacia mais urbanizada da BHRMP. A Seção 2 encontra-se dentro do município

de Goiânia, e especificamente onde foram feitas as coletas foi identificado o despejo de esgoto sanitário, o que influenciou nos valores de concentrações, neste período.

A seção 6, foi onde a vazão se manteve mais alta neste período (estiagem), porém foi o local onde houve a menor concentração de sedimentos suspensos, para a primeira amostragem. Já na segunda coleta, este comportamento não se repetiu, sendo a seção onde houve a maior concentração de sedimentos suspensos sendo transportado. Deve-se isso ao aumento da profundidade do canal que teve um aumento de quase um metro em toda a margem.

Mesmo a seção 6 tendo em sua mata de galeria uma vegetação bastante densa, o que impede uma maior quantidade de sedimentos serem erodidos nos rios, esta não foi determinante para que na segunda amostragem essa quantidade de sedimentos fosse menor, uma vez que um outro fator foi mais decisivo, a vazão.

Conforme os resultados apontados por Rubin (2003), os valores de *C_{ss}*, para a estação Fazenda Bonita (mesma localidade da Seção 4) variou de 99,10 para 20,34 mg/l do mês de maio para outubro. Esta diferenciação ocorreu uma vez que em maio a vazão dos rios ainda permanece relativamente alta por conta da precipitação que vai até abril podendo chegar a meados de maio. Já no mês de outubro as vazões dos rios permanecem bastante baixa, uma vez que estes estão a praticamente 5 meses sem receber recarga através das chuvas, o que faz com os valores de *C_{ss}* sejam baixos. Foi observado que estes resultados se apresentaram semelhantes com os dados gerados neste trabalho, onde a *C_{ss}* da seção 4 variou de 7,49 a 110,04 mg/l de um período a outro.

Existem alguns parâmetros que são utilizados para classificar a concentração dos sedimentos suspensos, um desses trabalhos é demonstrado no trabalho de Meybeck *et al.*, (2003), onde apresenta um gráfico classificatório com base nos principais rios do mundo. Segundo essa classificação o rio Meia Ponte se encontra dentro da faixa “muito baixa” a “baixa”, para a primeira coleta e “baixa” a “moderada” para a segunda, conforme o quadro 9.

Quadro 9 – Classificação geral da Concentração de Sedimentos Suspensos.

Classificação	C_{ss} (mg/l)
Muito baixa	< 20
Baixa	20 - 100
Moderada	100 - 500

Alta	500 – 2000
Muito alta	2000 – 10000
Extremamente alta	>10000

Fonte: Extraído e adaptado de Meybeck *et al.*, 2003.

Identificou-se que os valores de C_{ss} , estão intimamente ligados ao período sazonal em que foram feitas as coletas, uma vez que os valores mudaram substancialmente da estação seca para a chuvosa.

Pode-se ver resultados parecidos em vários trabalhos, como o de Garrido *et al.*, (2018), onde foram feitos levantamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - Paraíba, onde foi identificado que no período de seca a C_{ss} obtida no rio foi de 2,53 mg/l para uma vazão de 9,68 m³/s, já na estação chuvosa para o mesmo local a C_{ss} foi de 161,99 mg/l para uma vazão de 19,93 m³/s, tendo uma diferença de 64 vezes a mais de uma coleta a outra. E também em Souza (2011) através do estudo Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, onde a maior C_{ss} ocorreu no período chuvoso com um valor de 1.071,55 mg/l para uma vazão de 5,31 m³/s, e a menor concentração ocorreu no período de seca com um valor de 363,10 mg/l para uma vazão de 0,29 m³/s. Moraes (2016) também apresentou um aumento de 38 vezes entre o período de estiagem e chuvoso, nas Bacias dos Rios Capivari e Jundiá – SP. Segundo Carvalho (2008), 70 a 90 % de todo o sedimento suspenso é transportado em épocas chuvosas, principalmente durante fortes precipitações.

3.3 - Descarga sólida transportada ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte

Com base nos dados adquiridos, foi possível calcular a descarga sólida transportada diariamente em diferentes seções da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, que variaram de deste 1,26 a 14,88 ton/dia, tendo um valor médio de 6,31 ton/dia para a primeira amostragem. Os resultados calculados estão demonstrados no quadro 10.

Quadro 10 - Descarga de sedimentos suspensos transportados por dia na BHRMP (período de estiagem).

Local	Pontos	VV (m/s)	LI (m)	PV (m)	C_{ss} (mg/l)	qss (t.d ⁻¹)	Qss (t.d ⁻¹)
	ME	0,22	3,05	0,27	5,58	0,05	

Seção 1	Meio	0,62	3,05	0,83	6,4	0,87	1,26
	MD	0,30	3,9	0,5	5,8	0,29	
Seção 2	ME	0,44	7,5	0,41	8,35	0,99	7,19
	Meio	0,99	6,85	0,81	11,43	5,47	
	MD	0,15	5,65	0,22	45,28	0,73	
Seção 3	ME	0,05	4,5	0,43	7,16	0,05	3,04
	Meio	0,54	5,5	0,74	5,08	0,98	
	MD	0,71	6,0	0,92	5,91	2,00	
Seção 4	ME	0,27	9,55	2,00	8,8	3,92	14,88
	Meio 1	0,61	8,45	1,83	9,8	8,10	
	Meio 2	0,45	8	2,03	1,70	1,09	
	MD	0,11	14	1,28	9,65	1,76	
Seção 5	ME	0,87	10,1	0,74	7,32	4,12	6,20
	Meio	0,46	4,15	0,85	9,18	1,34	
	MD	0,16	7,65	0,85	8,1	0,73	
Seção 6	ME	0,31	9,5	0,78	4,12	0,83	5,27
	Meio 1	0,47	13	0,6	2,5	0,79	
	Meio 2	0,50	15	0,87	2,18	1,25	
	Meio 3	0,58	12	1,07	1,73	1,12	
	MD	0,43	13,5	0,99	2,55	1,27	
						Média	6,31

VV – Velocidade média da vertical; LI – Largura de influência; PV – Profundidade da Vertical; C_{ss} – Concentração de Sedimentos Suspenso; q_{ss} (t.d⁻¹) - descarga sólida em suspensão da vertical; Q_{ss} (t.d⁻¹) – descarga sólida em suspensão da seção.

Pode-se observar que a Seção 2 apresentou a maior concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}), entretanto esta não foi a que obteve a maior descarga de sólidos suspensos transportados, sendo este título adquirido pela Seção 4, que mesmo não tendo a maior concentração, obteve uma vazão relativamente alta, sendo uma das variáveis no cálculo de Q_{ss}.

A seção 1 e 3 foram as que tiveram os menores valores de Q_{ss}, pode-se atribuir isto a largura da seção que foram as menores entre as demais, e também a baixa velocidade presente nestas. A C_{ss} nestas seções também se mantivera baixas.

Com base nos dados adquiridos na segunda coleta (estação chuvosa) podemos determinar que a BHRMP transporta cerca de 13,10 a 1.505,42 ton/dia, como um valor médio de 401,75 ton/dia, transportando cerca de 64 vezes a mais de um período a outro (Quadro 11).

Quadro 11 - Descarga de sedimentos suspensos transportados por dia na BHRMP (período chuvoso).

Local	Pontos	VV (m/s)	LI (m)	PV (m)	C _{ss} (mg/l)	q _{ss} (t.d ⁻¹)	Q _{ss} (t.d ⁻¹)
	ME	0,26	5,1	0,44	41,75	2,10	

Seção 1	Meio	0,68	3,4	0,77	40,08	6,17	13,10
	MD	0,64	4,8	0,48	37,92	4,83	
Seção 2	ME	0,96	9,74	0,6	25,67	12,44	27,40
	Meio	1,18	8,57	0,86	19,08	14,34	
	MD	0,15	5,29	0,32	106,00	0,62	
Seção 3	ME	0,28	6,66	0,51	44,00	3,62	47,54
	Meio	0,84	6,66	0,83	57,17	22,93	
	MD	0,82	6,54	0,9	50,33	20,99	
Seção 4	ME	0,78	13,72	1,74	105,42	169,60	766,35
	Meio 1	0,99	13,71	2,34	131,48	360,79	
	Meio 2	0,98	13,78	1,9	88,25	195,64	
	MD	0,28	14,79	0,98	115,00	40,32	
Seção 5	ME	0,36	9,29	0,52	38,00	5,71	50,66
	Meio	0,96	9,34	0,92	40,70	29,00	
	MD	0,55	9,36	0,85	42,17	15,94	
Seção 6	ME	0,80	9,37	1,76	121,78	138,81	1.505,42
	Meio 1	1,13	6,25	1,66	121,80	123,38	
	Meio 2	0,94	12,5	1,82	130,67	241,43	
	Meio 3	1,19	18,75	1,73	124,67	415,78	
	MD	0,96	23	2,21	139,00	586,03	
						Média	401,75

VV – Velocidade média da vertical; LI – Largura de influência; PV – Profundidade da Vertical; C_{ss} – Concentração de Sedimentos Suspenso; q_{ss} (t.d⁻¹) - descarga sólida em suspensão da vertical; Q_{ss} (t.d⁻¹) – descarga sólida em suspensão da seção.

Diferente da primeira amostragem, a seção que obteve o maior valor no cálculo de transporte de sedimentos suspensos foi a seção 6, estando quase que o dobro do segundo maior resultado, seção 4. Este alto valor é atribuído a sua vazão, que foi a mais alta dentre todas as outras, mais um outro fator foi determinante para esse alto valor foi a C_{ss} que também foi a maior entre todas as seções. Esta seção foi a que obteve maior diferença entre um período a outro, isto pode ser justificado por esta se encontrar a jusante dos outros pontos, e ser a que recebeu a maior quantidade de sedimentos provenientes de montante, porém esta relação só se aplicou no período chuvoso.

A seção 1 foi a que obteve menor valor, assim como na primeira coleta, uma vez também que esta foi a seção que obteve a menores mudanças de um período a outro, tendo um aumento da vazão de apenas 1,2 m³/s.

Através dos dados adquiridos e da equação de Colby (1957), foi possível estimar também a descarga sólida total (suspenso + fundo) transportada na BHRMP, onde observamos que são transportados ao dia em média cerca de 25,64 toneladas de sedimentos, com um desvio padrão de 13,08 ton/dia. Os valores variam de 7,19 a 44,84 ton/dia, conforme o quadro a seguir:

Quadro 12 - Descarga de sedimentos suspensos totais transportados por dia na BHRMP (período seco).

Local	P (m)	L (m)	VM (m/s)	Css (mg/l)	Qsm (t.d ⁻¹)	Qnm (t.d ⁻¹)	Qst (t.d ⁻¹)
Seção 1	0,53	10	0,21	5,93	1,26	5,93	7,19
Seção 2	0,48	20	0,51	21,69	7,19	35,89	43,08
Seção 3	0,69	16	0,25	6,06	3,04	9,69	12,73
Seção 4	1,79	40	0,18	7,49	14,88	29,96	44,84
Seção 5	0,81	22	0,23	8,20	6,2	18,04	24,24
Seção 6	0,86	63	0,24	2,62	5,27	16,51	21,78
Média	0,86	28,50	0,27	8,66	6,31	19,34	25,64
Desvio Padrão	0,41	16,63	0,10	5,63	3,99	9,78	13,08

P - profundidade; L- largura do rio; VM - velocidade média; Css – c=concentração de sedimentos em suspensão; Qsm - descarga sólida em suspensão medida; Qnm - descarga sólida não medida; Qst : descarga sólida total.

O maior Q_{nm} (descarga sólida não medida) calculado foi na seção 2, onde apresentou uma descarga sólida alta devido a sua ‘velocidade média’ e a C_{ss} que foram as maiores entre as seções. Esta como já foi apontando, é a seção onde o nível de antropização foi a maior entre as outras, uma vez que é a única que se encontra dentro de uma zona urbana, mostrando-se assim que as interferências antrópicas podem refletir diretamente na dinâmica e nas características dos rios.

A seção 4 com base nos cálculos, é a seção que transporta uma maior descarga sólida total (suspensão + fundo), com um valor de aproximadamente de 45 ton/dia. Nesta pode ser verificado que mesmo tendo a menor velocidade média entre todas, possui uma largura relativamente alta, como também a maior profundidade entre todos os trechos analisados.

Foi calculado também a descarga sólida total para o período chuvoso, que esteve entre 41,82 a 3.520,46 ton/dia, com um valor médio de 868,90 ton/dia, com um desvio padrão de 1.363,67 (t.d⁻¹).

Quadro 13 - Descarga de sedimentos suspensos totais transportados por dia na BHRMP (período chuvoso).

Local	P (m)	L (m)	VM (m/s)	Css (mg/l)	Qsm (t.d ⁻¹)	Qnm (t.d ⁻¹)	Qst (t.d ⁻¹)
Seção 1	0,56	13,3	0,53	39,92	11,17	30,64	41,82
Seção 2	0,59	23,6	0,73	50,25	49,15	177,47	226,62
Seção 3	0,75	19,84	0,65	50,5	36,35	97,21	133,56
Seção 4	1,74	56	0,76	110,04	370,11	790,16	1.160,27

Seção 5	0,76	28	0,62	40,29	29,52	101,136	130,66
Seção 6	1,83	73	1,004	127,58	1.260,38	2260,08	3.520,46
Média	1,04	35,62	0,71	69,76	292,78	576,12	868,90
Desvio Padrão	0,59	23,50	0,16	38,67	494,14	870,97	1.363,67

P - profundidade; L- largura do rio; VM - velocidade média; C_{ss} – concentração de sedimentos em suspensão; Q_{sm} - descarga sólida em suspensão medida; Q_{nm} - descarga sólida não medida; Q_{st} : descarga sólida total.

Conforme o trabalho de Rubin (2003), onde foram feitos cálculos com base nos dados fluviométricos de quatro estações dentro bacia do rio Meia Ponte, apresentaram valores de Q_{st} que variaram de 52,58 a 2067, 00 ton/dia, para o mês de maio e outubro no ano de 2000. Apresentaram também dados de concentração de sedimentos suspensos que obteve um valor médio de 61,76 mg/l, estando bastante próximo do calculado na segunda coleta (quadro 13), que foi de 69,76 mg/l.

Observou -se que a maior descarga solida total calculada foi novamente a seção 6, transportando diariamente cerca 3.520,46 ton/dia. O Q_{nm} (descarga sólida não medida), ou seja, carga de fundo, obteve um valor médio de 576,12 ton/dia.

Conforme o estudo de Scapin (2007), onde foram feitas avaliações de métodos de cálculos de descarga solida total, o método de Colby (1957) foi um dos que apresentaram melhores resultados, perdendo apenas para o método de Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955). Sobrinho (2013) também aponta que o método Colby (1957) teve um ajuste satisfatório em relação a outros métodos, sendo este indicado para obtenção da descarga sólida total indireta.

Com base nos dados gerados, foi feito um gráfico de curva-chave correlacionando os dados de Q_{ss} e Q_{st} com os dados de vazão, onde foi obtido os seguintes coeficientes de correlação R^2 respectivos 0,236 e 0,117. Na figura 39 está representado esses resultados.

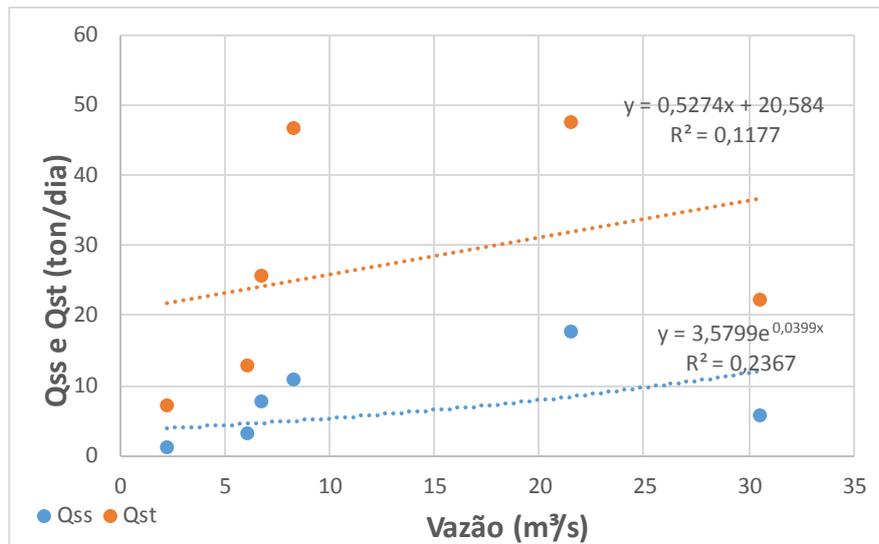


Figura 39- Curvas-chave de sedimentos em suspensão para a BHRMP (período de estiagem).

Pode-se observar que a correlação entre os dados se apresentou baixa, e que relação entre Q_{ss} com a vazão, mostrou-se um pouco melhor do que a Q_{st} . Conforme Gomes *et al.*, (2009), para obter-se uma análise mais consistente das curvas regressão linear é necessário um maior número de dados, por ser tratar de séries hidrológicas. Uma vez ainda que no Cerrado existe dois períodos climáticos bem definidos, onde as mudanças são bastante significativas. Segundo Carvalho (2008), a plotagem de uma grande quantidade de dados hidrológicos pode apresentar curvas distintas de um período a outro.

Sendo assim com os dados adquiridos na segunda coleta, foi possível realizar outro gráfico de curva-chave, demonstrando agora a relação no período de chuva (figura 40).

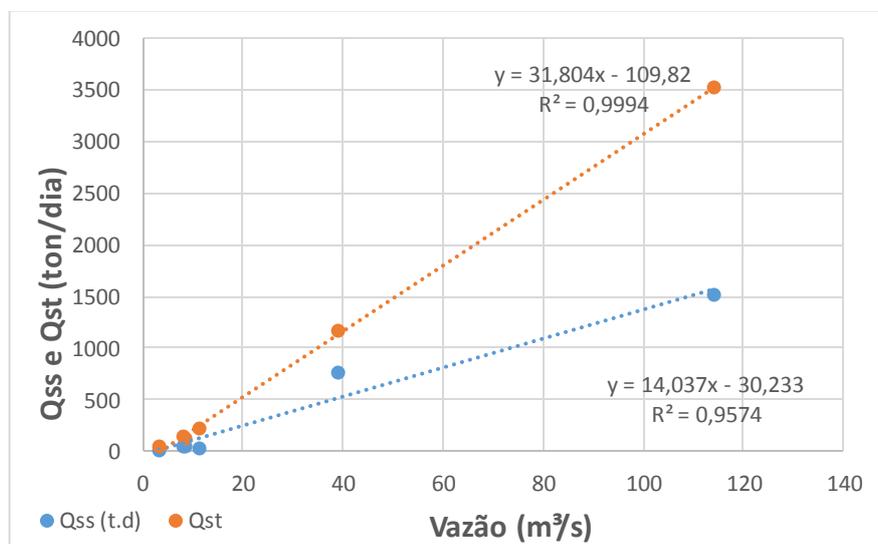


Figura 40- Curvas-chave de sedimentos em suspensão para a BHRMP (período de chuva).

Observa-se agora que os resultados apresentaram uma boa correlação de Q_{ss} e Q_{st} com a vazão, tendo um R^2 de 0,95 para a descarga de sólidos suspensos e de 0,99 para a descarga sólida total, indicando que esses melhores se ajustaram no período das chuvas. No trabalho de Garrido *et al.*, (2018), foi possível identificar uma melhora destas curvas-chaves também no período de chuvas, no estudo realizado no Rio Piancó- Piranhas-Açu.

De acordo com Walling & Webb (1983) e Meybeck *et al.*, (2003), a produção de sedimentos é geralmente expressa em ton/km²/ano ou ton/ha/ano ou também pode ser expressa em kg/km²/dia ou kg/ha/dia. A partir disto então foi calculado descarga sólida em suspensão específica (ou apenas produção específica de sedimentos), com base na área de cada sub-bacia. As seções 4 e 6 por se encontrarem na mesma sub-bacia, Baixo Meia Ponte, foram calculados juntas por meio de uma média. Os resultados encontrados estão apresentados no quadro abaixo.

Quadro 14 - Valores de produção de sedimentos específicos nas sub-bacias da BHRMP.

Sub-Bacias	Período	Área (km²)	Vazão (m³/s)	Qss (ton/dia)	Qss. Esp. (ton/km²/ano)
Ribeirão João Leite	Seco	764,74	2,23	1,26	0,60
	Chuva		3,24	13,10	6,25
Alto Meia Ponte	Seco	2022,45	8,26	7,19	1,30
	Chuva		11,32	27,40	4,94
Rio Caldas	Seco	1288,00	6,06	3,04	0,86
	Chuva		8,33	47,53	13,47
Rio Dourados	Seco	1767,08	6,77	6,20	1,28
	Chuva		8,48	50,65	10,46
Baixo Meia Ponte*	Seco	2153,28	26,04	20,15	3,41
	Chuva		76,63	1135,88	192,56
BHRMP*	Seco	7995,57	12,57	37,84	1,72
	Chuva		30,77	1274,56	58,18

Obs.: Qss esp. = descarga sólida em suspensão específica média. * Os dados de área utilizados para os cálculos foram realizados da seção 6 a montante.

A sub-bacia que apresentou um dos menores valores produção de sedimentos, foi a do Ribeirão João Leite, onde com base nos dados coletados transporta 0,60 ton/km²/ano no período de estiagem e 6,25 ton/km²/ano no período chuvoso. Segundo Oliveira (2013), onde apresenta uma estimativa de produção de sedimentos por meio do modelo SWAT na mesma sub-bacia, o valor estimado de produção de sedimentos variou de 0,4 a 0,6

ton/ha/ano, enquanto com base na estimativa direta deste trabalho calculou um valor de 0,06 ton/ha/dia (ou 6,25 ton/km²/ano) para a maior *C_{ss}* encontrada.

A sub-bacia do Baixo Meia Ponte, teve comportamentos distintos entre os dois períodos, sendo que no período de estiagem teve uma produção estimada de apenas 3,41 ton/km²/ano e enquanto no período de chuvas produziu cerca 192,56 ton/km²/ano, valores semelhantes a grandes rios do mundo como, o rio Amazonas que chega a transportar 168,8 ton/km²/ano e como o rio Doce que produz cerca de 148 ton/km²/ano (Guyot *et al.*, 2005; Lima, 2006; Souza, 2011).

Com base nos dados adquiridos por todas as sub-bacias podemos estimar que a Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte produziu cerca de 1,72 a 58,18 ton/km²/ano (0,01 e 0,58 ton/ha/ano) do período de estiagem ao chuvoso, para o ano em estudo. Segundo o trabalho de Cruvinel (2016) onde foram feitas estimativas de perda de solos por meio dos modelos SWAT e EUPS na Bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, os valores de perda de solos foram de 13,97 e 15,52 ton/ha/ano, de um modelo para outro.

4. Conclusões

Conforme os resultados adquiridos, conclui-se que a BHRMP possui uma *C_{ss}* média de 8,66 mg/l, transporta diariamente em média cerca de 6,31 ton/dia de sólido em suspensão e 25,64 ton/dia de descarga total (suspensos + fundo) para a estação seca. E para o período das chuvas uma *C_{ss}* média de 69,79 mg/l, uma descarga de sedimentos suspensos média de 401,75 ton/dia e uma descarga total de 868,90 ton/dia. A produção específica de sedimentos para os dois períodos respectivamente são de 1,72 e 58,18 ton/km²/ano. E de acordo com a classificação apontada por Meybeck *et al.*, (2003) a BHRMP está classificados entre as classes baixas e moderadas.

Houve um significativo aumento na produção de sedimentos de um período a outro, atribuindo isto ao período sazonal em que ambas as coletas foram realizadas. Segundo Carvalho (2008), 70 a 90% de todo o sedimento suspenso é transportado em épocas chuvosas, principalmente durante fortes precipitações. Moraes (2016) também apresentou um aumento de 38 vezes entre o período de estiagem e chuvoso, nas Bacias dos Rios Capivari e Jundiá – SP.

As curvas-chaves realizadas com os dados de Q_{ss} e Q_{ss} em relação a vazão mostraram-se pouco correlacionadas na primeira amostragem, apresentando índices de correlação menores que 0,3. Porém no período de chuvas esses valores apresentaram bem relacionados, apresentando índices acima de 0,95. Porém afirmamos que com uma maior quantidade de dados podemos melhor ajustar essas curvas, onde a área de estudo será melhor representada.

Conclui-se a necessidade do monitoramento constante das questões hidrossedimentológicas de rios do Cerrado, com de todo o Brasil, sendo este de elevada importância para uma eficiente gestão, principalmente em bacias onde são captados recursos para abastecimento público, onde são necessários um padrão de qualidade.

5. Referências

BARBOSA, Duane Izabel. **Vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, Goiás**. Dissertação. 2013.

BAYER, M. (2010). **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do rio Araguaia**. (Doctoral dissertation, Tesis. Universidade Federal de Goiás. Brasil).

CARVALHO, N. de O. **Guia de práticas sedimentométricas**. ANEEL, Superintendência de informações hidrológicas, Brasília, DF, 2000.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática. 2ª. rev., atual. e ampliada-Rio de Janeiro: Interciência**, 2008.

CARVALHO, Thiago Morato. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.(b).

CASCO, S.L.; CHIOSSI, N.I.N.; NEIFF, J.J. **La vegetación como indicador de la Geomorfologia Fluvial**. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n.1, 2005 p. 123 – 136.

CRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blucher, 1981.

COLBY, Bruce R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 5, p. 708-717, 1957.

COSTA, M. S. C. V. da. **Visão histórica do controle da erosão em Goiás.** In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7.** Anais. Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

DORNELLES, Andre Mito. **Utilização de um Perfilador Acústico de Correntes por Efeito Doppler (ADCP) para a estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS).** 2009.

EINSTEIN, Hans Albert et al. **The bed-load function for sediment transportation in open channel flows.** Washington DC: US Department of Agriculture, 1950.

LATRUBESSE, E. M. et al. **The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: the case of the Araguaia River.** *Geomorphology*, v. 113, n. 3, p. 239-252, 2009.

LELI, Isabel Terezinha; STEVAUX, José Cândido; DA NÓBREGA, Maria Teresa. **Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte.** *Boletim de Geografia*, v. 28, n. 1, p. 43-58, 2010

LIMA, J. E. F. W. et al. **Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro.** VII encontro nacional de engenharia de sedimentos, 2006.

MEYBECK, M. et al. **Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers.** *Global and planetary change*, v. 39, n. 1-2, p. 65-93, 2003.

MORAES, Graziela Meneghel et al. **Transporte dos Sedimentos Finos em Suspensão e Origem da Matéria Orgânica nas Bacias dos Rios Capivari e Jundiá (SP).** *Geochimica Brasiliensis*, v. 30, n. 1, p. 1, 2016.

OLD, G.H., Leeks, G.J.L., Packman, J.C., Smith, B.P.G., Lewis, S., Hewitt, E.J., Holmes, A. Y. (2003). **“The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanized catchment: Bradford, West Yorkshire.”** *The Science of the Total Environment*, v.314-316, p.495-512.

OLIVEIRA. A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de Caçapava, Rio Paranapanema, SP/PR.** São Paulo, 1994. Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, W. N. **Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do ribeirão João Leite. 2013. 179 f.** 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PRESS, Frank et al. Para entender a Terra. **Tradução Rualdo**, 2006.

RUBIN, Julio Cezar. **Sedimentação quaternária, contexto paleoambiental e interação antrópica nos depósitos aluviais do Alto rio Meia Ponte-Goiás/GO.** 2003.

SANTOS, Aline Aparecida dos. **Dinâmica hidrossedimentológica nos Rios Aguapeí e Peixe, Oeste Paulista.** 2013.

SCAPIN, Juliana; PAIVA, JBD de; BELING, Fábio A. **Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 4, p. 5-21, 2007.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial.** Oficina de Textos, 2017.

SILVA, A. M.; SHULTZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2004.

SIMPSON, Michael R. **Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler.** US Department of the Interior, US Geological Survey, 2001

SIVIERO, Maria Rejane Lourençoni. **A produção de sedimentos a montante de uma seção do Rio Atibaia associada a descarga sólida transportada.** 1999. 82f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000293679>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

SOBRINHO, Teodorico Alves; SONE, Jullian Souza; ANACHE, Jamil Alexandre Ayach. **Avaliação de métodos para a estimativa da descarga sólida total em rios.** ABRH.2008.

SOUZA, Wagner Luís da Silva et al. **Produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para a Zona Costeira da Região Metropolitana do Recife.** 2011.

SOUZA, Claudio André Pinheiro; ATAÍDE, Luan Barbosa; DO RÊGO, João Ricardo Souza. **Avaliação da qualidade da água do rio Tucunduba Belém-Pará.** 2013.

SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION. *Determination of fluvial sediment discharge.* Inter-Agency Committee on Water Resources. Report nº 14. Washington, D. C. 1963.

GARRIDO, Jose Wagner Alves et al. **Determination of key curves of discharges of suspended sediment in the hydrographic basin of Piancó-Piranhas-Açu River.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 69-75, 2018.

GOMES, Rafael José et al. **Avaliação da descarga líquida e sólida em seção natural da bacia do alto Ipanema-PE.** IX JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO-UFRPE, 2009.

GUYOT, J.L.; FILIZOLA, N.P.; LARAQUE, A. **Régime et bilan du flux sédimentaire de l'Amazone à Óbidos (Pará, Brésil) de 1995 à 2003.**

VEIGA, A. M.; CARDOSO, M.R.D.; LINO, N. **Caracterização Hidromorfológica da bacia do Rio Meia Ponte.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais... Maceió, 2011.

VON SPERLING, M. (1996). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2 ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 243p.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. **Patterns of sediment yield.** In: **Background to Palaeohydrology.** Chichester, UK. p.69-100. 1983.

4.2 Artigo 2: Análise da distribuição granulométrica ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás

1. Introdução

Os rios são um dos principais meios de transporte de sedimentos, sendo estes provenientes de processos erosivos que ocorrem na superfície, causados pela atuação dos agentes dinâmicos externos, como o vento, a gravidade, o gelo e agentes biológicos. Os sedimentos transportados por estes, são encaminhados de suas cabeceiras, para áreas planas ocorrendo assim sua deposição, sendo que todos esses processos que envolvem o sedimento, são provenientes de fenômenos naturais que ocorrem através de tempos geológicos, sendo os responsáveis pela forma atual da superfície da terra (CARVALHO, 2008). Mas mesmo fazendo parte de um processo natural, esta pode ser intensificada pelas atividades antrópicas ocorridas no local, com as atividades agrícolas, construções civis, construção de empreendimentos hídricos como mudanças no uso do solo.

A granulometria é a área de estudo que determina às dimensões físicas das partículas de uma rocha ou de um outro sólido, que podem variar de tamanhos extremamente pequeno (partículas coloidais), até maiores como argila, silte, areia, cascalho, matacão e rochas. Esta é usualmente expressa em milímetro (mm) ou microns (μm). De acordo com Charlton (2008), as partículas que ficam em suspensão em rios são de granulometria reduzida, variando de argila a silte, onde permanecem em suspensão pelo fluxo turbulento, sendo que as partículas maiores tendem a sedimentar gradativamente (TOMAZONI *et al.*, 2005).

Amorim (2009) indica que conhecer a granulometria dos sedimentos transportados, é de grande importância para entendermos a hidrodinâmica de rios e lagos. Lima *et al.* (2006), aponta que o conhecimento sobre a distribuição granulométrica de sedimentos do leito de rios é fundamental para o uso de métodos indiretos de cálculo da descarga sólida total em uma seção transversal, bem como para outros estudos hidrossedimentológicos. Dabney *et al.* (2006), mostram que conhecer a distribuição do tamanho das partículas é importante uma vez que esta pode alterar a dinâmica do transporte dos sedimentos, com também para prever práticas de gestão, mais eficientes.

Existem várias técnicas de análise granulométrica, podendo estas ser realizada por peneiramento, quando temos solos granulares como as areias e pedregulhos, por

sedimentação ou filtração, no caso de solos argilosos, ou por técnicas de difração a laser. Este último é muitas das vezes preferido, por conta da facilidade e rapidez na operação e na disponibilização dos resultados, mas tendo um custo mais elevado por conta da obtenção do equipamento.

Um desses equipamentos que utilizam a tecnologia de difração a laser é a série LISST (*Laser In Situ Scattering and Transmissometry*), tendo como fabricantes a empresa *Sequoia Scientific, Inc.* Estes realizam suas medições através do princípio de difração de luz laser, na qual se calcula a distribuição do tamanho de partículas sólidas a partir dos diagramas de difração de cada partícula, pressupondo que as partículas, ao interagirem com o feixe de luz, promovam um diagrama de luz intrínseco ao seu tamanho (BORTOLUZZI *et al.*, 2006).

Outra série de equipamentos que também realizam as análises granulométricas a partir da tecnologia de difração a laser, é a série de equipamentos Mastersizer, fabricado pela empresa *Malvern Panalytical*. Este realiza suas análises a partir do índice de refração, pela incidência de laser na amostra a partir de detectores óticos. Atualmente são os equipamentos mais utilizados nas análises granulométricas automáticas no mundo (MALVERN, 2018). A principal diferença entre estes dois equipamentos é que o primeiro realiza as análises *in situ*, não necessitando de coletar amostras.

Diante disto, este trabalho tem como objetivo identificar a distribuição granulométrica ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás (BHRMP), como também realizar a comparação dos resultados granulométricos a partir dos equipamentos LISST – SL e MASTERSIZER 2000 UM.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

Para a realização deste estudo foi escolhido seções ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte que está inserida na bacia do Paranaíba, na Região Hidrográfica do Paraná, localizada no Estado de Goiás contida entre os meridianos 48° 46' 48" e 49° 44' 51" de longitude e os paralelos 16° 06' 38" e 18° 32' 15,3" de latitude. Esta área corresponde a 3,6 % da área total do Estado (12,180 km²), (VEIGA *et al.*, 2011).

2.2 Procedimentos Metodológicos

Inicialmente foi realizado um levantamento ao longo de toda a bacia para a escolha dos locais de amostragens, onde a partir disto e com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, foram selecionadas seis seções, tendo pelo menos um ponto em cada sub-bacia, (figura 41).

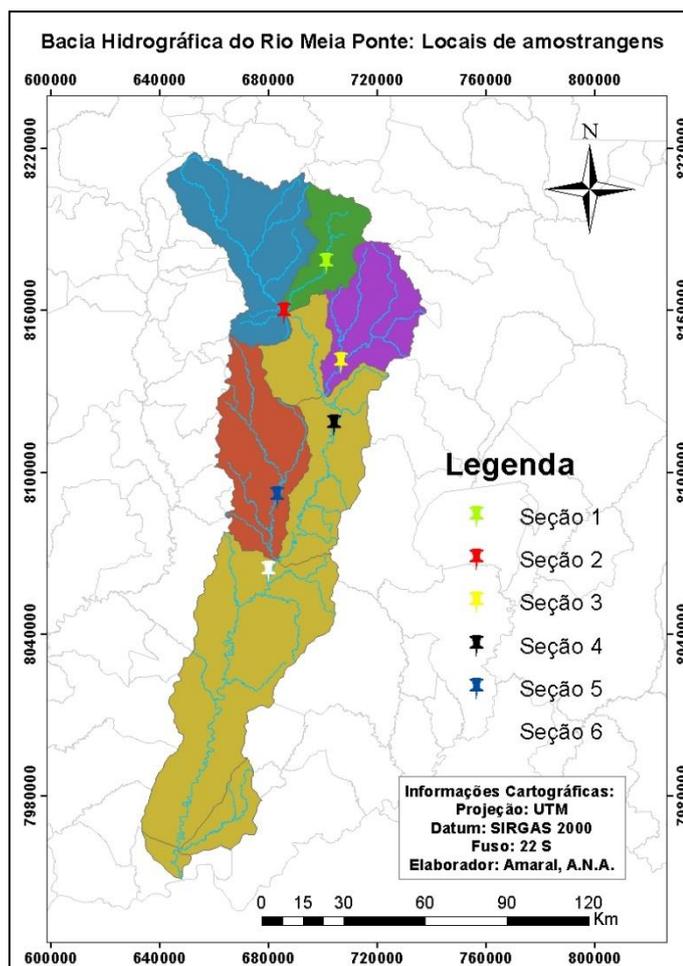


Figura 41 – Locais de amostragens da BHRMP.

As coletas foram feitas através do amostrador pontual, garrafa de *Van Dorn*, tendo ele a forma de cilindro horizontal equipado com válvulas nas extremidades que são fechadas subitamente ao lançamento de um peso. Devido a massa da garrafa ser pequena e muita das vezes não suficiente para realizar medições mais profundas, foi escolhido realizar as coletas em pelo menos três pontos de cada seção dos rios, em sub-superfície, sendo a média dessas as responsáveis em representar toda a seção transversal. As

amostras logo depois de coletadas, eram armazenadas em garrafas de 1 litro e condicionada a um local adequado (caixa térmica).

Para a realização das análises granulométricas, foi utilizado o granulômetro a laser MASTERSIZER 2000 MU (Figura 42a). Este possui uma faixa de captação que varia de 0,1 a 1000 microns, e realiza suas análises a partir do índice de refração, pela incidência de laser na amostra a partir de detectores óticos, onde acredita-se que todas as partículas dispersam à luz em uma escala de ângulos específicos, onde as partículas grandes dispersam em ângulos pequenos e vice-versa. Esta é a base fundamental da chamada *Full Mie Theory*, (MALVERN, 2007).

Foi utilizado para determinação granulométrica com o objetivo de comparação, o LISST SL, onde a partir do princípio de difração de luz laser, consegue determinar o tamanho das partículas. Estas comparações foram realizadas apenas nas seções 2 e 3, por conta da logística deste equipamento. Este possui forma aerodinâmica que minimiza o seu arrasto ao leito, e também “barbatanas” que orienta o equipamento para direção contrária ao fluxo de água. A água e os sedimentos que são bombeados pelo instrumento são direcionados ao sensor a laser de dispersão de luz, e logo as informações são transmitidas para a caixa de controle (*Topside Control Box – TCB*), para o seu imediato processamento (SEQUOIA, 2017).

A granulometria dos sedimentos são aferidas a partir de 32 classes de tamanho logaritmicamente espaçadas (2– 380 μm), alcançando uma profundidade que varia de 0,15 à 30 metros, capta uma velocidade de até 8 m/s e uma temperatura de até 25° C (SEQUOIA, 2017). Este equipamento se destaca por determinar a concentração e a granulometria dos sedimentos em suspensão *in situ*, com uma maior rapidez que os métodos convencionais (figura 42b).

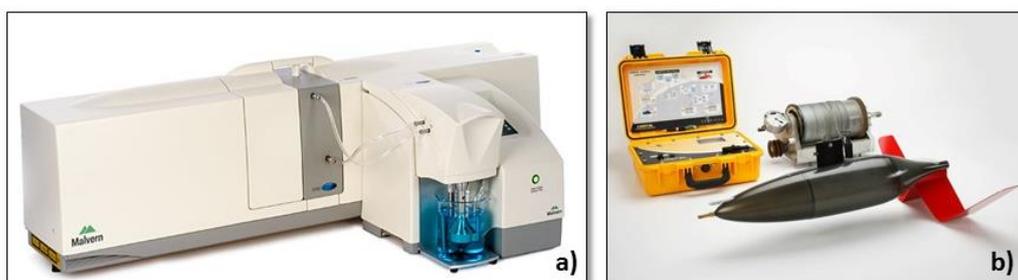


Figura 42– a) Granulômetro a laser Mastersizer 2000 MU. Fonte: MALVERN. b) Granulômetro a laser: LISST –SL. Fonte: SEQUOIA.

A classificação granulométrica escolhida para representar os resultados foi a ISO 14688-1: 2002, sendo esta classificação internacionalmente aceita, (quadro 15).

Quadro 15 – Classificação granulométrica conforme a ISO 14688-1: 2002.

Frações granulométricas	ISO 14688-1: 2002 (mm)	ISO 14688-1: 2002 (μm)
Areia grossa	2,0 – 0,63	2000 - 630
Areia média	0,63 -0,20	630 - 200
Areia fina	0,20 – 0,063	200 - 63
Silte	0,063 – 0,002	63- 2
Argila	< 0,002	2

3. Resultados e Discussões

3.1 Variabilidade Longitudinal da granulometria da BHRMP

A figura 43 apresenta a distribuição granulométrica dos sedimentos suspensos nos rios amostrados na BHRMP para o período de estiagem.

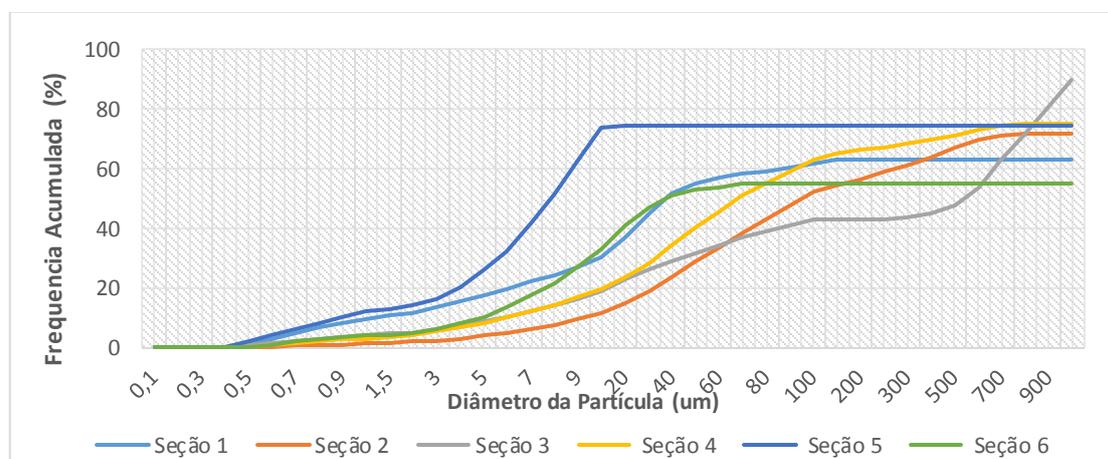


Figura 43– Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM, no período de estiagem.

Os diâmetros das partículas variaram de 0,4 a 1000 μm , sendo que 12,2 % do material apresentou diâmetros menores que 2 μm (argila), 66,5 % dos sedimentos tinham o diâmetro entre 2 e 63 μm (silte), 12,5 % dos diâmetros variaram de 63 a 200 μm (areia fina), 5,6 % de diâmetros variaram de 200 a 630 μm (areia média) e apenas 3,05 % de sedimentos com diâmetros que variam de 630 a 1000 μm (areia Grossa).

Observa-se que a Seção 5, teve sua curva um pouco acima das demais, o que pode ser explicado pela sua composição granulométrica, que variou apenas entre argila e silte. A Seção 3 também teve ao final da sua curva uma inclinação para cima, pode-se compreender que provavelmente nesta seção haviam mais sedimentos grosseiros, uma vez que o granulômetro (MASTERSIZER 2000 MU) possui capacidade de captação até a faixa de 1000 µm, não foi possível identificar estes.

Com base nas análises granulométricas feitas para os rios da BHRMP foi obtido as porcentagens granulométricas ao longo da bacia, que podem ser observadas no quadro 16. As amostragens foram feitas no mês de julho, período de seca.

Quadro 16 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de estiagem.

Data Coleta	Local	Vazão (m³/s)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)	D50 (µm)
16/07/18	Seção 1	2,23	13,07	77,56	9,4	---	---	21,29
13/07/18	Seção 2	8,26	2,36	51,81	29,65	13,49	2,53	56,27
13/07/18	Seção 3	6,06	6,40	54,00	14,16	12,35	13,08	42,72
16/07/18	Seção 4	21,55	4,77	70,63	19,83	2,735	2,03	31,88
20/07/18	Seção 5	6,77	41,28	58,72	---	---	---	4,64
20/07/18	Seção 6	30,54	5,31	86,37	2,48	5,13	0,7	16,59
	Média	12,56					Média	28,9

Pode-se identificar com base nos dados obtidos que a granulometria predominante em quase todos rios amostrados variou de argila a areia fina, tendo o destaque na classe silte que representou cerca 66 % do total em média. Conforme Charlton (2008), a carga de sedimentos em suspensão dos rios possui granulometria reduzida, que variam de argila a silte, e permanece em suspensão pelo fluxo turbulento e são transportados a jusante do canal.

Conforme a figura 43 e quadro 16 podemos entender que na Seção 1 não houve a presença de sedimentos mais grossos como a areia média e areia grossa, podemos relacionar isto a baixa vazão nesta seção, que não possuiu assim energia (ou competência) suficiente para transportar sedimentos de maior granulometria. O diâmetro médio (D50) das partículas para esta seção foi (D50) de 21,29 µm.

Na Seção 2 observa-se que mesmo a classe silte tendo a maior porcentagem na amostra, a classe areia fina teve uma boa representatividade também, cerca de 29 %, fazendo se assim com que essa seção tenha o maior D50 entre as amostras, 56,27 μm .

Nas Seções 3 e 4 é demonstrado que todas as classes granulométricas tiveram um percentual representado, porém a classe silte foi a mais representativa. O D50 dessas seções foram de 42,72 μm e 31,88 μm . Na seção 5 a granulometria média apresentou-se menor do que em todas as seções, tendo representatividade apenas nas classes argila e silte, o D50 da seção foi o baixo dentre as outras, 4,64 μm . A seção 6 foi a que teve mais sedimentos siltosos representados, 86,37 %, apresentando um diâmetro médio de 16,59 μm .

A figura 44 apresenta a distribuição granulométrica dos sedimentos suspensos nas seções para o período de chuvas.

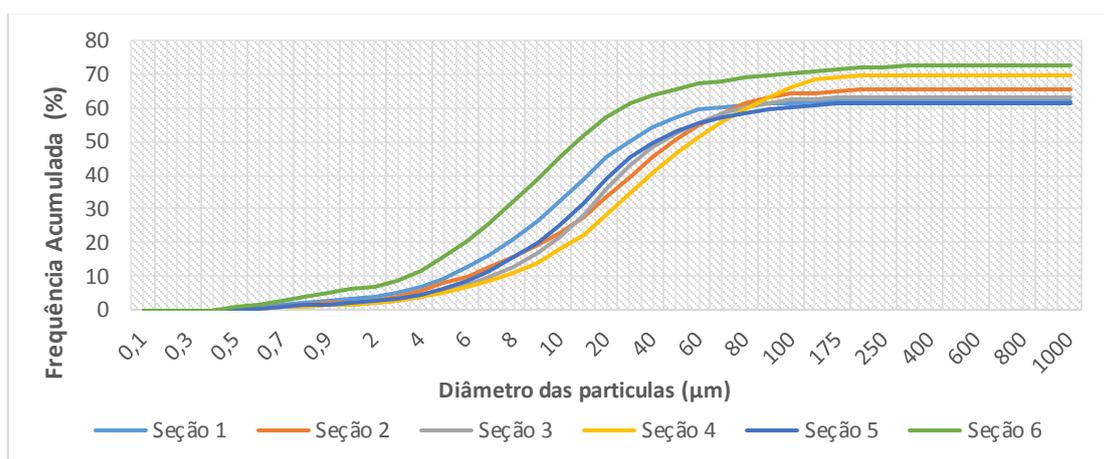


Figura 44– Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM no período de chuvas.

A partir da figura acima, foi observado que a distribuição acumulada do diâmetro das partículas apresentou uma tendência semelhante de uma seção a outra. As partículas de diâmetro de até 2 μm (argila), representaram 4,41 % do total das amostras, as de 2 – 63 μm (classe silte) seriam as mais representativas do total, correspondendo a cerca de 84,83 %. A classe areia fina (63 – 200 μm) representa 9,79 %, e as demais areia fina e média cerca de 1%.

A seção 6, apresentou em sua curva uma elevação em relação as demais seções, isto pode ser explicado por ser a seção que apresentou uma maior quantidade de sedimentos argilosos, 9,18 %.

Com base nas análises granulométricas feitas para os rios da BHRMP no período de chuvas, foi obtido as porcentagens granulométricas ao longo da bacia, que podem ser observadas no quadro 17. As amostragens foram feitas no mês de novembro de 2018.

Quadro 17 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de chuvas.

Data Coleta	Local	Vazão (m³/s)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)	D50
16/07/18	Seção 1	3,24	4,21	88,03	7,16	1,29	0,95	16,52
13/07/18	Seção 2	11,32	2,69	81,69	14,37	1,27	-	27,90
13/07/18	Seção 3	8,33	4,00	87,27	8,67	0,06	-	20,88
16/07/18	Seção 4	38,93	2,33	78,36	18,82	0,38	0,04	24,70
20/07/18	Seção 5	8,48	4,12	88,77	5,97	0,92	0,23	18,42
20/07/18	Seção 6	114,34	9,18	86,35	3,97	0,33	0,41	10,47
	Média	30,77					Média	19,80

Pode-se ser identificado com base nos dados apresentados que a granulometria predominante em todas as seções amostradas foi novamente a silte, representando ao total cerca de 84% das amostras. Foi visto ainda que o D50 ou o diâmetro médio das partículas tiveram uma diminuição substancial de um período a outro, onde na primeira amostragem teve um valor médio de 28,9 μm e na segunda de 19,89 μm , demonstrando que houve uma diminuição do tamanho das partículas do período de estiagem ao chuvoso. Conforme Bahia *et al.*, (1992), os impactos das gotas das chuvas causam a fragmentação de partículas, fazendo com que essas sejam desintegradas em tamanhos menores. Destaca ainda que a quantidade desses agregados desintegrados, cresce com o aumento da energia cinética da precipitação, que é função da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas da chuva.

Foi identificado que houve também uma diminuição do tamanho das partículas olhando longitudinalmente o rio principal (Meia Ponte), que estaria representado pelas seções 2, 4 e 6, variando este de 27,90 a 10,47 μm . Conforme Silva *et al.*, (2003), a competência (tamanho máximo de uma partícula que o rio consegue transportar) dos rios vai diminuindo em direção a jusante a medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, sendo que a velocidade e a força de cisalhamento atuante nos canais são menos intensas que nas cabeceiras. Outra explicação sobre a diminuição das partículas a jusante, pode ser relacionada pela entrada de rios tributários, que transportam

materiais detríticos diferentes dos providos a montante, causando assim atrito entre as partículas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Podemos dar destaque na seção 5, sendo esta a única que apresentou um aumento de cerca de 3 vezes no diâmetro das partículas de um período a outro. Conforme Lopes *et al.*, (1987), com o início do período chuvoso, e com o aumento da velocidade do escoamento superficial da água, o rio aumenta sua capacidade de transportar sedimentos de diâmetros maiores, aumentando assim o índice de D50.

Conforme Sari *et al.*, (2017), a turbidez da água está inversamente relacionada com o tamanho das partículas e diretamente relacionada com a concentração de sedimentos suspensos (*C_{ss}*), sendo que o excesso de carga suspensa, pode prejudicar questões bióticas, uma vez que esta impede a absorção da luz, causando assim mudanças nas taxas fotossintéticas de macrófitas e algas sub-superficiais, além de favorecer a proliferação de cianobactérias produtoras de toxinas e reduzir a quantidade de oxigênio dissolvido, provocando assim a morte dos peixes (FAY *et al.*, 2006).

Através da comparação entre a Concentração de sedimentos suspensos (*C_{ss}*), e o diâmetro médio das partículas, observa-se que houve uma relação entre esses dois dados, conforme o quadro 18.

Quadro 18 - Relação entre a *C_{ss}* e o diâmetro médio das partículas

	Seca		Chuva	
	<i>C_{ss}</i> (mg/l)	D50 (µm)	<i>C_{ss}</i> (mg/l)	D50 (µm)
Seção 1	5,93	21,29	30,92	16,52
Seção 2	21,69	56,27	50,25	27,90
Seção 3	6,06	47,72	50,5	29,88
Seção 4	7,49	31,88	110,04	24,70
Seção 5	8,20	4,64	40,29	18,42
Seção 6	2,62	16,59	127,58	10,47

Com base nos resultados acima, vimos que com o aumento da *C_{ss}* de um período a outro, ocasionou na diminuição do diâmetro médio das partículas, a exceção da seção 5. Isto deve-se pelo fato da *C_{ss}* está relacionada com o aumento da energia cinética provenientes das precipitações que gera um aumento nas vazões dos rios, uma vez que

com essa maior energia, as partículas são desagregadas em tamanhos menores, causando assim a diminuição do diâmetro dessas. Conforme Sari *et al.*, (2017), esta relação pode não se dar de formar linear, uma vez que outras variáveis também podem interferir, como a forma da partícula dos sedimentos.

3.2 Comparação de resultados granulométricos

O granulômetro MASTERSIZER é bastante conhecido no meio científico, já sendo bastante consagrado em estudos, como de LIU *et al.*, (2005), BRISOLA (2008), SOCHAN *et al.*, (2012), STOJANOVIĆ *et al.*, (2012) como outros. Já o LISST por ainda ser um equipamento novo, possui poucos estudos com sua utilização, sendo eles quase todos internacionais, como exemplo, GRAY *et al.*, (2004), AGRAWAL *et al.*, (2012) GUERRERO *et al.*, (2014). Porém este mostra-se bastante promissor, uma vez que realiza e disponibiliza todas as suas medições e resultados *in situ*. A comparação entre esses dois equipamentos, mostra -se ainda inédita, sendo feita a primeira vez neste trabalho.

Os resultados apresentados pelo granulômetro MASTERSIZER 2000 para a seção 2, variaram desde de argila a areia média, sendo a classe que obteve maior representatividade foi a “silte”, representando 57,47 % do total da amostra. A outra classe de maior porcentagem foi a areia fina, seguindo da areia média e por último a argila, representando apenas 2 % do total. Na figura 46 está representado graficamente a sua distribuição.

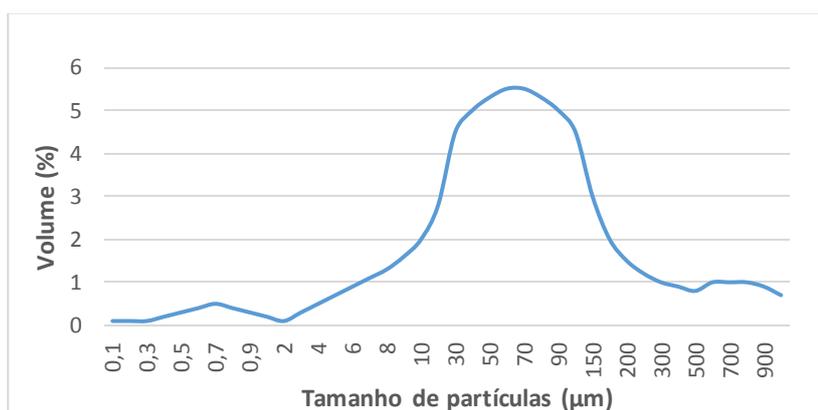


Figura 45– Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000 – seção 2.

Os resultados aferidos pelo LISST SL demonstraram que a classe que também obteve maior representatividade foi a silte, seguindo a areia fina e por último a areia

média. Neste não obteve a classe argila, uma vez que esta não está dentro da faixa de captação do aparelho. Os resultados da distribuição granulométrica aferidos por este, estão demonstrados na figura seguinte.

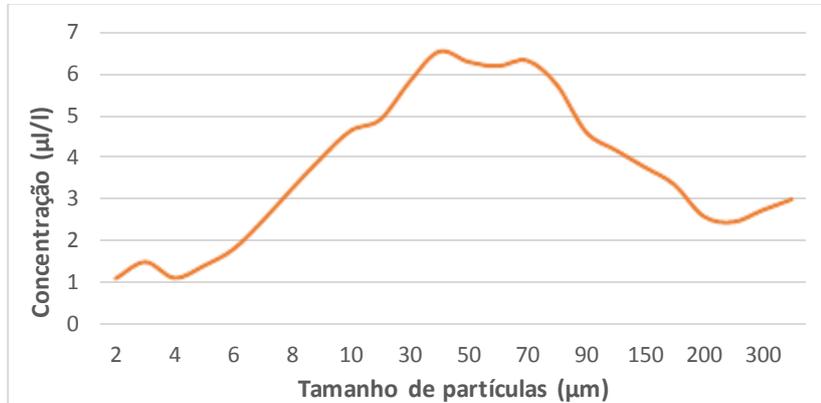


Figura 46- Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 2.

Os dados disponibilizados pelo LISST SL são dados em unidades volumétricas, tendo assim relação com a concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}). Já os resultados apresentados pelo MASTERSIZER 2000, não leva em consideração os sedimentos suspensos, e sim o volume que o aparelho utilizou para as análises. Sendo assim buscou relacionar os dois resultados por meio de um gráfico de frequência relativa. Na figura 48, está demonstrado os resultados dos dois equipamentos.

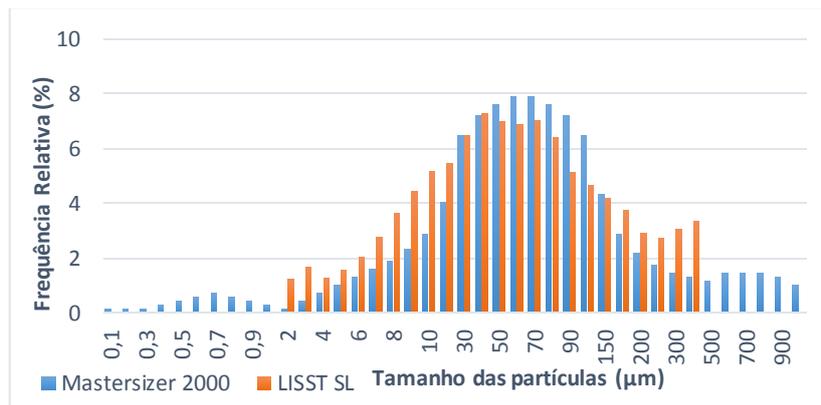


Figura 47 – Comparação de resultados granulométricos – seção 2.

A partir da comparação dos resultados deste, identificamos que está mostrou-se satisfatória, apresentando uma diferença menor que 15% entre ambos os resultados, e uma diferença menor que 6,29 microns para o diâmetro médio (D50).

O LISST SL em quase todo momento teve valores acima que o MASTERSIZER, a não ser na faixa de 50 a 130 μm onde o MASTERSIZER conseguiu captar uma maior frequência na classe areia fina. No quadro 19 estão demonstrados os valores em porcentagem de cada equipamento.

Quadro 19 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetros – seção 2.

Classe granulométrica	Argila (< 2 μm)	Silte (2 – 63 μm)	Areia Fina (63- 200 μm)	Areia Média (200- 630 μm)	D50
Mastersizer 2000	1,94 %	57,47 %	32,29 %	8,3 %	48,72
LISST - SL	—	63,98 %	25,88 %	10,12%	42,43

Com base nos resultados da figura 48 e do quadro 18, podemos identificar que na classe silte o granulômetro LISST – SL conseguiu captar 6,51 % de amostras siltosas a mais que o MASTERSIZER. Já na classe areia fina as partículas tiveram maior representatividade no MASTERSIZER, cerca de 6,41 %. Na classe areia média estes tiveram valores bastante próximos, tendo uma diferença de apenas 1,82 %. Esta última é captada pelo LISST apenas até as partículas de 380 μm de tamanho, o que não o impossibilitou de apresentar um valor aproximado do outro equipamento que possui uma maior faixa de captação. Por conta desta limitação, este resultado pode não ser tão satisfatório em rios onde os sedimentos transportados são em sua maioria arenosos.

Os resultados apresentados pelo MASTERSIZER 2000 para a seção 3 estão demonstrados na figura abaixo.

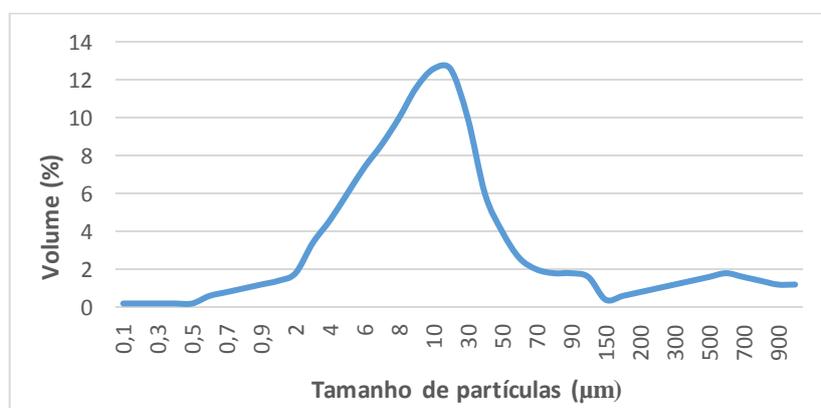


Figura 48 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000- seção 3.

A granulometria dos sedimentos amostrados variou da classe argila a areia grossa, porém tendo a sua maior representatividade na classe silte com 85,76 % do total da amostra. As demais classes tiveram suas porcentagens em 5,08 % para a classe argila, 4,76% para classe areia fina, 1,87 % para areia média e 2,53 % para a areia grossa.

Os resultados aferidos a partir do LISST SL estão representados na figura 50.

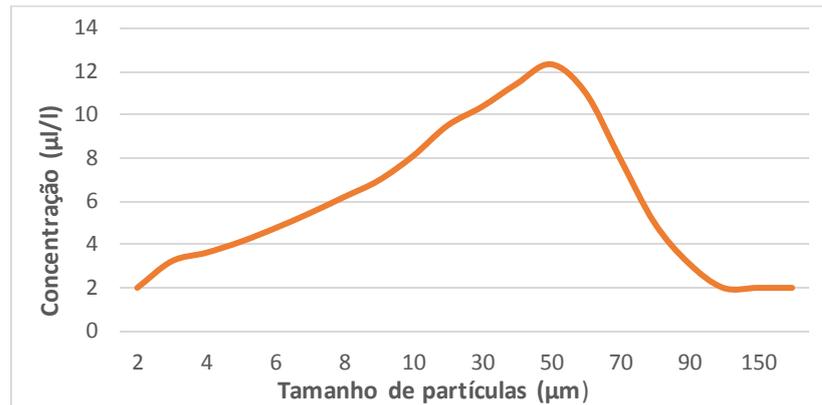


Figura 49 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 3.

Estes variaram das classes silte a areia fina, tendo uma porcentagem de 81,73 e 18,27 respectivamente. Na figura 51 está demonstrado o resultado comparando os dois equipamentos.

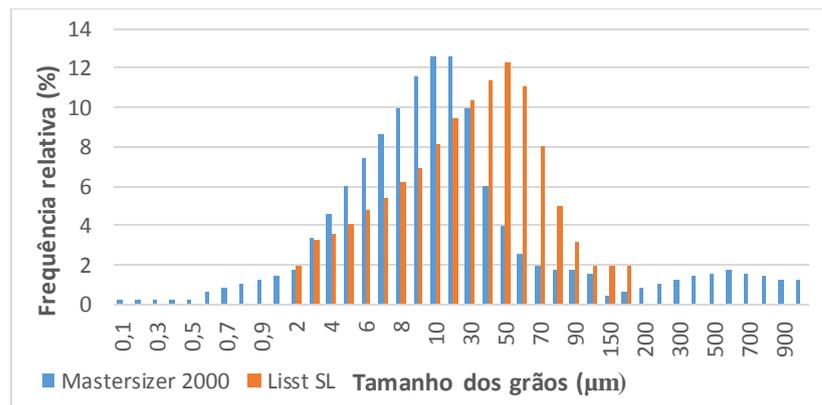


Figura 50 – Comparação de resultados granulométricos – seção 3.

A partir da comparação entre os dois equipamentos conclui-se que esta não foi tão satisfatória como a primeira amostragem que apresentou uma diferença média menor que

15 %. Nesta houve a diferença de cerca de 18 % em relação a mesma faixa de captação (2 – 380 μm), e de 27,02 % para toda faixa.

Pode-se ser observado também que os picos granulométricos não coincidiram, sendo que granulometria aferida pelo LISST, teve um valor substancialmente maior, na classe areia fina do que o MASTERSIZER. Os diâmetros médios tiveram uma diferença de 7,51 microns de um equipamento a outro.

No quadro abaixo estão demonstrados os valores em porcentagem encontrados em ambos os equipamentos.

Quadro 20 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetro, - seção 3.

Classe granulométrica	Argila (< 2 μm)	Silte (2 – 63 μm)	Areia Fina (63- 200 μm)	Areia Média (200- 630 μm)	D50
Mastersizer 2000	5,08 %	85,76 %	4,76 %	4,4 %	14,68
LISST - SL	---	81,73 %	18,27%	---	22,195

Conforme apresentado no quadro acima, observamos que os valores da classe silte apresentaram-se bem próximos, tendo uma diferença menor que 5%. Na classe areia fina o LISST SL conseguiu identificar uma maior porcentagem de sedimentos, tendo uma diferença de 13,51 % de um equipamento a outro. E na classe argila e areia média, os sedimentos não tiveram representatividade no LISST, sendo impossibilitado por conta de faixa de captação do equipamento. Existem outras e novas versões do granulômetro LISST onde as faixas de captação de sólidos são mais extensas, sendo assim uma solução para a limitação deste.

4. Conclusões

Com base nos resultados adquiridos, foi visto que para as datas de coletas as granulometrias dos sedimentos aferidos tiveram maior representatividade na classe silte. Foi identificado que houve um decréscimo dos tamanhos dos grãos de montante a jusante, em relação ao rio principal (Meia Ponte).

Observou-se também que houve uma diminuição em média do diâmetro médio das partículas de um período a outro, podendo estar diretamente relacionada com as

precipitações e vazões, que geraram a desagregação de partículas as tornando em tamanhos menores.

Com base nas análises feitas entre os dois equipamentos, podemos identificar que os granulômetros LISST-SL e MASTERSIZER 2000 apresentaram valores relativamente próximos, tendo uma diferença menor que 15 % para a seção 2, e de 18% para a seção 3. As classes argila e areia media e grossa, não foram também bem representadas nas comparações, uma vez que a faixa de captação do LISST não alcança todas essas granulometrias, sendo que em rios onde há a presença de sedimentos mais arenosos, este equipamento não é recomendado.

O granulômetro LISST-SL, mostrou-se resultados satisfatórios, podendo ser até favorecido na escolha de qual equipamento utilizar, uma vez que realiza suas medições *in situ*, diminuindo assim trabalho em laboratórios. Porém deve se ter cautela na utilização deste equipamento, uma vez que podem apresentar valores bastantes distintos da realidade, uma vez que não calibrados e ajustado de uma forma correta, sendo então recomendado que seja feita a comparação com outros métodos periodicamente, na utilização deste.

Referências Bibliográficas

AGRAWAL, Yogesh C.; MIKKELSEN, Ole A.; POTTSMITH, H. C. **Grain size distribution and sediment flux structure in a river profile, measured with a LISST-SL Instrument**. Sequoia Scientific, Inc. Report, 2012.

AMORIM, Marcelo Andrade et al. **Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil**. Acta Amazonica, v. 39, n. 1, p. 165-172, 2009.

BARBOSA LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M.; STEVAUX, J. C. **Mapa geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório final**. Goiânia: GOIÁS (Estado) - Secretaria de Indústria e Comércio/Superintendência de Geologia e Mineração, 2005.

BAHIA, V. G. CURI, N.; CARMO, D. N. **Fundamentos da erosão do solo. Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v.16, n.176, p. 25 – 31, 1992.

BORTOLUZZI, E. C.; POLETO, C. Metodologias para estudos de sedimentos: **Ênfase na proporção e na natureza mineralógica das partículas**. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. Qualidade dos sedimentos. Porto Alegre: ABRH, Cap.3, p. 83-140, 2006.

BRISOLA, Daisiana Frozi. **Otimização no preparo de amostras para análise em espectrofotômetro de fluorescência de raios X.** 2008.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia** prática. 2ª. rev., atual. e ampliada-Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CHARLTON, Ro. **Fundamentals of fluvial geomorphology.** Routledge, 2008.

Dabney, S. M.; Locke, M. A.; Steinriede, R. W. **Turbidity sensors track sediment concentrations in runoff from agricultural fields.** In: Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC). Proceedings... Reno: JFIC, 2006. p. 345-352.

FAY, Elisabeth F.; SILVA, CMM de S. **Índice do uso sustentável da água (ISA-ÁGUA)-região do sub-médio São Francisco.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006., 2006.

GUERRERO, M.; RÜTHER, N.; ARCHETTI, R. **Comparison under controlled conditions between multi-frequency ADCPs and LISST-SL for investigating suspended sand in rivers.** Flow Measurement and Instrumentation, v. 37, p. 73-82, 2014.

GRAY, John R.; AGRAWAL, Yogesh C.; POTTSMITH, H. Charles. **The LISST-SL streamlined isokinetic suspended-sediment profiler.** 2004.

INSTRUMENTS, Malvern. **Mastersizer 2000 User Manual.** Worcestershire, United Kingdom: Malvern Instruments, 2007.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, EM da; CARVALHO, N. de O. **Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos do leito de rios.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 1, p. 91-98, 2006.

LIU, Y.; TONG, J.; LI, X. **Analysing the silt particles with the Malvern Mastersizer 2000.** Water Conservancy Science and Technology and Economy, v. 11, n. 6, p. 329-331, 2005.

LOPES, P. R. C.; Cogo, N. P.; Cassol, E. A. **Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados.** Revista Brasileira Ciência do Solo, v.11, n.1, p.193-197, 1987.

MALVERN PANALYTICAL. **Mastersizer 2000.** Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/product-range/mastersizer-range/?gclid=CjwKCAjwiurXBRAAnEiwAk2GFZkAJEc4M03jgi3MdKbRKI8ujCC3Lt9nscK7t9UnpMPkAwge70b4pmBoC1pkQAvD_BwE>. Acessado em: 15 de maio de 2018.

SEQUOIA. 2017. **How LISST-SL Works.** Disponível em: < <https://www.sequoiasci.com/article/lisst-sl-works/> >. Acessado em: 28/12/2017.

SOCHAN, A. et al. **Comparison of soil texture determined by two dispersion units of Mastersizer 2000.** International Agrophysics, v. 26, n. 1, p. 99-102, 2012.

STOJANOVIĆ, Zoran; MARKOVIĆ, Smilja; USKOKOVIĆ, Dragan. **Determination of particle size distributions by laser diffraction.** 2012.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. **Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências, v.57, p. 49-56, 2005.

VEIGA, A. M.; CARDOSO, M.R.D.; LINO, N. **Caracterização Hidromorfológica da bacia do Rio Meia Ponte. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais... Maceió, 2011.**

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), apresentou características hidrossedimentológicas distintas em relação ao período de estiagem ao chuvoso, podendo atribuir estas diferenciações ao domínio climático presente na região, tropical sub-úmido, sendo este marcado por dois períodos bastante distintos, que podem causar diferenças hidrológica e sedimentares expressivas de um período a outro.

A partir dos dados gerados e analisados conclui-se que essas diferenças se fizeram presente nos resultados deste trabalho, onde a produção específica de sedimentos variou de 1,72 a 58,18 ton/km²/ano de um período a outro.

Pode-se concluir ainda que as interferências antrópicas podem interferir diretamente nos resultados sedimentológicos, a exemplo da seção 2 (dentro do município de Goiânia) onde através do despejo de esgoto no rio, a concentração de sólidos suspensos elevou-se em grandes proporções. Demais seções também tiveram influência direta em relação a *C_{ss}* devido à falta de vegetação nas margens do rio, onde era possível identificar uma maior quantidade de sedimentos nessas localidades, a exemplo da seção 5.

As relações entre descarga de sólidos suspensos e totais apresentaram-se mais relacionadas com a vazões no período de chuvas, onde conforme apontado por Carvalho (2008), é a época onde a maior parte dos sedimentos são transportados.

Em relação aos resultados granulométricos obtidos, foi observado que houve uma diminuição na média do diâmetro médio das partículas do período de estiagem ao chuvoso, onde de acordo com BAHIA *et al.*, (1992), está relacionado com as fortes precipitações e vazões, onde com o aumento da energia cinética desagregam as partículas em tamanhos menores.

Com base na utilização dos equipamentos de difração a laser, utilizados para determinar a granulometria dos sedimentos, constatamos que estes mostram-se, uma alternativa quanto a determinação do tamanho de partículas, sendo favorecido pela relativa facilidade de operação e também pela agilidade na obtenção dos dados. Contudo, deve-se ter cautela quanto a utilização deste equipamento, uma vez que não operados e calibrados de forma correta, podem apresentar valores distintos da realidade do curso hídrico.

Devido a importância do Rio Meia Ponte para o município de Goiânia e região metropolitana, sendo este a fonte de seu abastecimento hídrico, é visto como de grande

valia a implementação de políticas públicas que visem trabalhar em sua conservação. E diante disso é compartilhado a mesma ideia que Rubin (2002), quanto a criação de um programa de monitoramento hidrossedimentológico na bacia, através de parcerias entre Universidades, órgãos públicos e ONG's.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, G. C. P. **Sedimentos clásticos: comparação de escalas granulométricas diversas.** Disponível em: <
http://sigep.cprm.gov.br/glossario/fig/Escalas_Granulometria_Comparadas.pdf>.
Acessado: 05/11/2017.

ASSOCIAÇÃO AMBIENTAL PRÓ-ÁGUAS DO CERRADO. **Situação Ambiental das Águas da Bacia do Rio Meia Ponte, Goiás.** Goiânia, 2008. Disponível em: <
<http://proaguasdocerrado.org.br/bacia.php>>. Acessado: 11 de fevereiro de 2019.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.

BOGÁRDI, J. L., **Sediment transport in aluvial streams.** Hungarian Academy of Sciences,;budapest, 1974.

CARVALHO, N. de O. **Guia de práticas sedimentométricas.** ANEEL, Superintendência de informações hidrológicas, Brasília, DF, 2000.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática. 2ª. rev., atual. e ampliada-Rio de Janeiro: Interciência,** 2008.

CARVALHO, N. de O. **Uma visão sobre medições diretas e indiretas da carga de sedimentos fluviais.** II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia. 2016.

CAVALCANTI, Marcelo Antunes; BARREIRA, Celene Cunha Monteiro Antunes. **Ações da SUDECO no desenvolvimento do Centro-Oeste no estado de Goiás.** 2011.

COLBY, Bruce R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Eos, Transactions American Geophysical Union,** v. 38, n. 5, p. 708-717, 1957.

COLBY, V. C. **Operating instructions for US DH-48 suspended-sediment hand sampler.** Federal Interagency Sedimentation Project, 1965.

CRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHARLTON, Ro. **Fundamentals of fluvial geomorphology.** Routledge, 2008.

CRUVINEL, Karla Alcione da Silva et al. **Avaliação da variabilidade de qualidade ambiental de bacias de mananciais de abastecimento público com a aplicação de um índice para o estado de Goiás.** 2016.

CZUBA, Jonathan A. et al. **Comparison of fluvial suspended-sediment concentrations and particle-size distributions measured with in-stream laser diffraction and in physical samples.** Water Resources Research, v. 51, n. 1, p. 320-340, 2015.

DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica).** 2004. Universidade do Algarve, UALg, 84p.

DIDONET, Thais Teodoro dos Santos Cordeiro. **Relações entre precipitação, escoamento e sedimentos suspensos na bacia do Rio das Antas**, Dissertação. Goiás. 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006). CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p.

EINSTEIN, Hans Albert et al. **The bed-load function for sediment transportation in open channel flows**. Washington DC: US Department of Agriculture, 1950.

EIBH - **Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas do Rio Meia Ponte**. Disponível: < http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-10/2523-00-etb-rl-0001-00_01_0_apresentacao.pdf >. Disponível: 01 de janeiro de 2019.

EDWARDS, Thomas K.; GLYSSON, G. Douglas. **Field methods for measurement of fluvial sediment**. US Geological Survey; Information Services,, 1999.

FILIZOLA, Naziano; GUYOT, Jean Loup. **The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon/L'utilisation des techniques Doppler pour la détermination du transport solide de l'Amazonie**. Hydrological Sciences Journal, v. 49, n. 1, p. 143-153, 2004.

GORDON, R. Lee. Acoustic measurement of river discharge. **journal of hydraulic Engineering**, v. 115, n. 7, p. 925-936, 1989.

GRAY, John R. et al. **Evaluation of sediment surrogate technologies for computation of suspended-sediment transport**. In: Proceedings of the 1st International Yellow River Forum on River Basin Management. 2003. p. 21-24.

GUY, Harold P. **Fluvial sediment concepts**. US Government Printing Office, 1970.

HOLDAWAY, Glenn P. et al. **Comparison between ADCP and transmissometer measurements of suspended sediment concentration**. Continental shelf research, v. 19, n. 3, p. 421-441, 1999

HICKIN, Edward J. **River geomorphology**. John Wiley & Sons, 1995.

HJULSTROM, Filip. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris, Bulletin. **Geological Institute Upsala**, v. 25, p. 221-527, 1935.

INSTRUMENTS, Malvern. **Mastersizer 2000 User Manual**. Worcestershire, United Kingdom: Malvern Instruments, 2007.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LANGBEIN, Walter B.; SCHUMM, Stanley A. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 6, p. 1076-1084, 1958.

LAL, D., 1991. **Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models**. Earth and Planetary Science Letters 104 (2-4), 424-439.

LERNER, K. Lee. "**Stream Capacity and Competence**." World of Earth Science.. Vol. 2. Gale Cengage, 2003.

LIMA, J. E. F. W.; WERNECK, Furquim. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins**. Embrapa Cerrados; Brasília: ANEEL/ANA, 2003.

LIMA, Herlander Mata. **Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica**. Funchal (Portugal), 2010

LIU, Xiao et al. **Laboratory application of laser grain-size analyzer in determining suspended sediment concentration**. Journal of Ocean University of China, v. 13, n. 3, p. 375-380, 2014.

MALVERN PANALYTICAL. **Mastersizer 2000**. Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/product-range/mastersizer-range/?gclid=CjwKCAjwiurXBRAnEiwAk2GFZkAJEc4M03jgi3MdKbRKI8ujCC3Lt9nscK7t9UnpMPkAwge70b4pmBoC1pkQAvD_BwE>. Acessado em: 15 de maio de 2018.

MERTEN, G. H.; POLETO, Cristiano. **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma de Cerrado**. 2016. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acessado: 11 de junho de 2018.

NEARING, Mark A. et al. Natural and anthropogenic rates of soil erosion. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 2, p. 77-84, 2017.

NORDIN, Carl F. **Instructions for use of the 3-liter and 8-liter collapsible bag sampler**. US Geological Survey. Lakewood, Colorado. 1981.

NOVO, E. M. L. de M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 219-246 p.

PRESS, Frank et al. Para entender a Terra. **Tradução Rualdo**, 2006.

POLETO, Cristiano; LAURENTI, A. A distribuição de poluentes persistentes em ambientes aquáticos urbanos. **Ambiente e Sedimentos. Porto Alegre, ABRH**, p. 149-192, 2008.

POLETO, Cristiano; MERTEN, Gustavo Henrique. **Qualidade dos sedimentos**. ABRH, 2006.

PORTELLA, Kleber Franke et al. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna-Curitiba-PR**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental. 2003.

- REED, James Stalford. **Principles of ceramics processing**. 1995.
- RUBIN, Julio Cezar Rubin de. **Sedimentação quaternária, contexto paleoambiental e interação antrópica nos depósitos aluviais do Alto rio Meia Ponte-Goiás/GO**. 2003.
- SANTOS, B. B. **Estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Mogi-Guaçu (SP)**. 2015. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- SANTOS, Bruno Bernardo Dos et al. **Evaluation of the laser diffraction method for the measurement of suspended sediment concentration in Mogi-Guaçu Reservoir (São Paulo, Brazil)**. International Journal of River Basin Management, n. just-accepted, p. 1-22, 2018.
- SANTOS, I., Fill, H.D., Sugai, M.R.V.B., Buba, H., Kishi, R.T., Marone, E., Lautert, L.F. (2001). **“Medição do transporte de sedimentos.” In: Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, Curitiba-PR, 272 p.
- SEQUOIA. 2013. **LISST-ST Particle Size Analyzer**. User’s Manual. Version 3.0. Disponível em: <<http://www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2013/06/manual-3.pdf>>. Acessado em: 13/12/17.
- SEQUOIA. 2017. **How LISST-SL Works**. Disponível em: <<https://www.sequoiasci.com/article/lisst-sl-works/>>. Acessado em: 28/12/2017.
- SIMPSON, Michael R. **Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler**. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2001.
- SILVA, A. M; SCHULZ., H. E; CAMARGO., P; B. . **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. Rima, 2003.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION. **Determination of fluvial sediment discharge. Inter-Agency Committee on Water Resources**. Saint Anthony Falls Hydraulic Lab. Report nº 14. Minneapolis, Minesota. 1963.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION. **Determination of fluvial sediment discharge. Inter-Agency Committee on Water Resources**. Report nº 14. Washington, D. C. 1963.
- SHI, Z. H. et al. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. **Journal of Hydrology**, v. 454, p. 123-130, 2012.
- TEIXEIRA, Jodenir Calixto; HESPANHOL, Antônio Nivaldo. **A Região Centro-Oeste no contexto das mudanças ocorridas no período pós-1960**. Revista Eletrônica AGB-TL, v. 1, n. 3, p. 52-66, 2006.
- TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra – 2ª edição**. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009.

TERABE, Fernando Ribas et al. **Uso do Perfilador Acústico (ADCP) para Medição do Transporte Sólido em Suspensão**, 2016. Disponível em: < <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/Uso-do-Perfilador-Ac%C3%B3stico-ADCP-para-Medi%C3%A7%C3%A3o-do-Transporte-S%C3%B3lido-em-Suspens%C3%A3o.pdf> >. Acessado em: 01 de Maio de 2018.

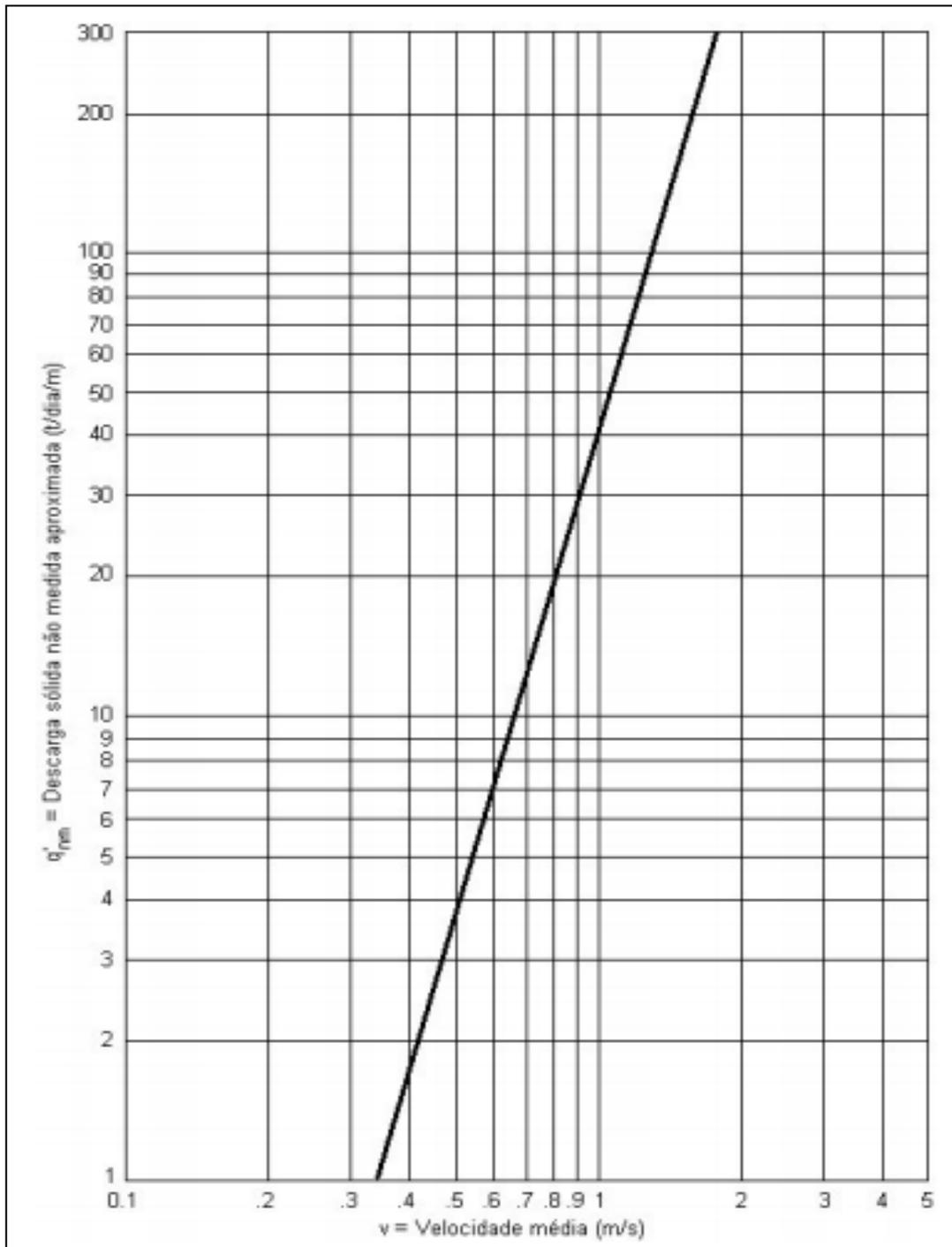
WENTWORTH, Chester K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments**. The Journal of Geology, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

W C Krumbein & L L Sloss, *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition (Freeman, San Francisco, 1963).

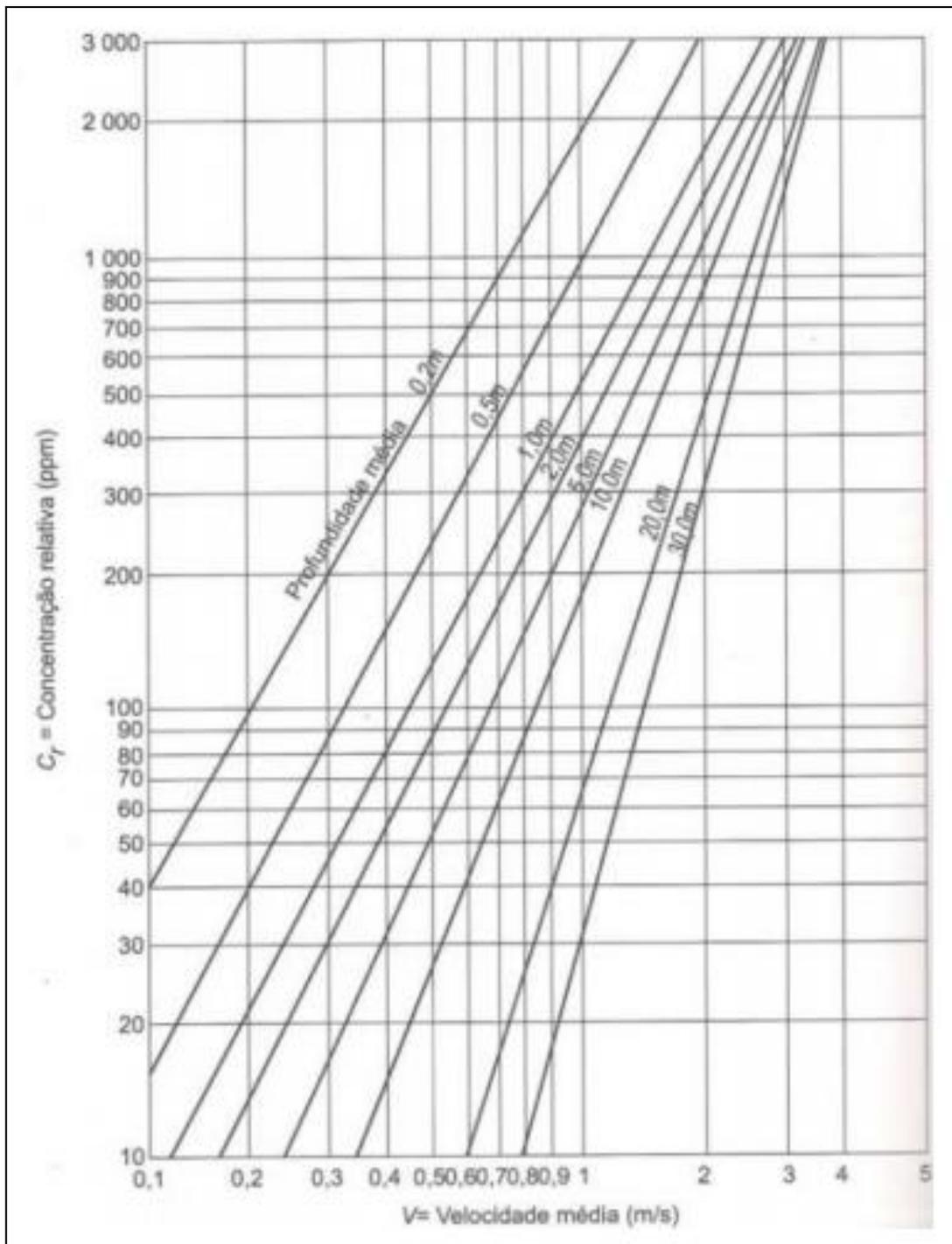
WETZEL, R. G.; **Limnology**, Saunders College Publishing: Chicago, p.540, 1983

WILLIAMS, G. P. (1989). “**Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers**”. Journal of Hydrology 111, pp. 89 – 106.

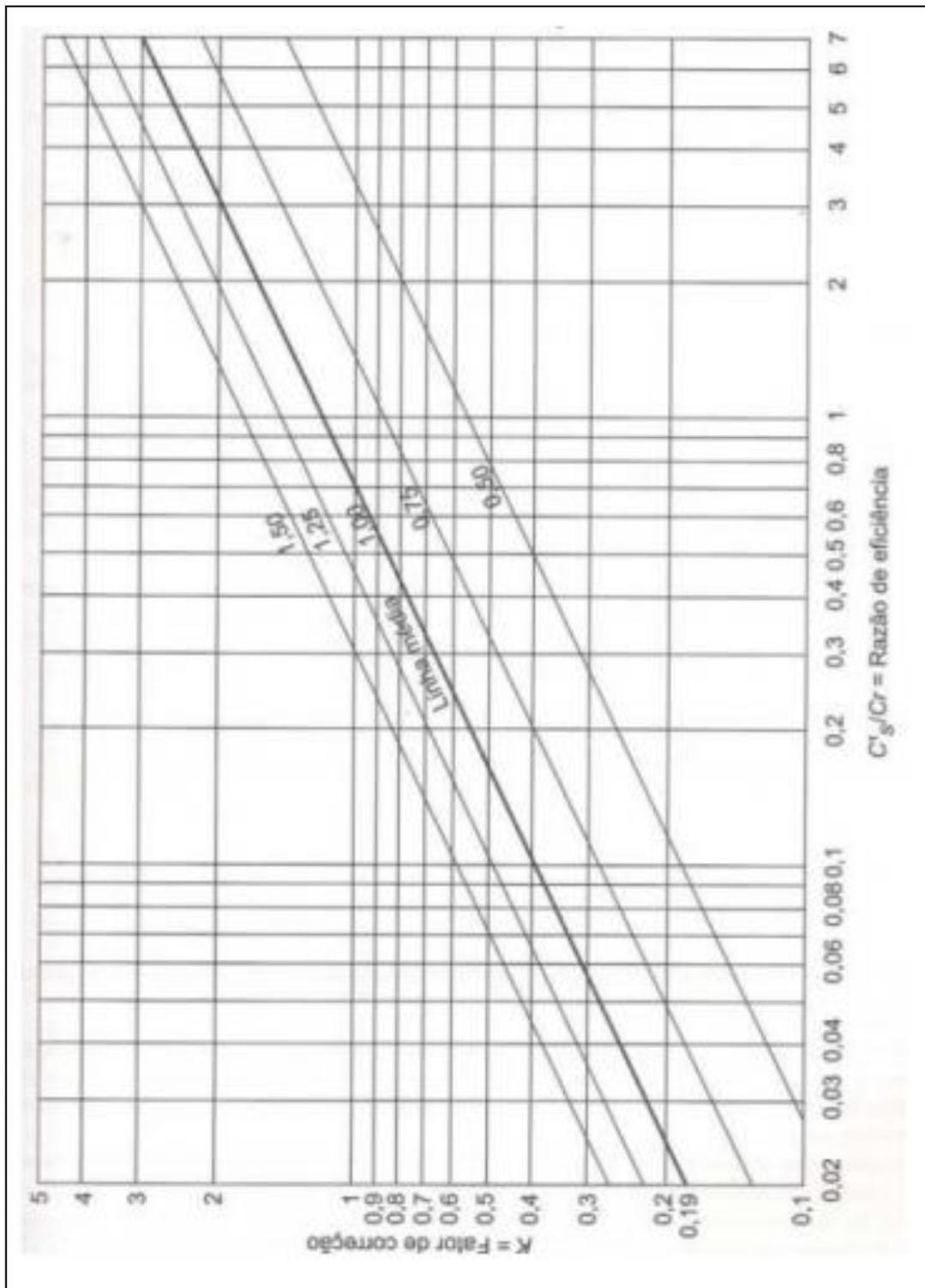
ANEXO



Anexo I - Ábaco 1 para cálculo da descarga sólida total pelo método Colby Simplificado – Obtenção da descarga sólida não-medida aproximada, por metro de largura do rio, a partir da velocidade média do curso d'água (USBR,1955, Simons & Senturk *apud* Carvalho 2008).



Anexo II - Ábaco 2 para cálculo da descarga sólida total pelo método Colby Simplificado – Obtenção da concentração relativa a partir da velocidade média e da profundidade média do curso d'água (USBR,1955, Simons & Senturk *apud* Carvalho 2008).



Anexo III - Ábaco 3 para cálculo da descarga sólida total pelo método Colby Simplificado – Obtenção do fator de correção a partir da razão de eficiência, (USBR,1955, Simons & Senturk *apud* Carvalho 2008).