

*Estudo do transporte de sedimentos em suspensão ao longo da
bacia hidrográfica do rio Meia Ponte – Go*

*Study of suspended sediment transport along the Meia Ponte
River Basin – Go*

*Etude du transport des sédiments en suspension le long du
bassin du fleuve Meia Ponte – Go*

Ana Karolyna Nunes Amaral
Universidade Federal de Goiás
ana.nunes.ufg@gmail.com

Lucas Espíndola Rosa
Universidade Federal de Goiás
lucasespindola@ufg.br

Klebber Teodomiro Martins Formiga
Universidade Federal de Goiás
klebber.formiga@gmail.com

Resumo

O presente trabalho apresenta como objetivo compreender a dinâmica hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRM), localizada no Estado de Goiás, Brasil. Para o desenvolvimento da pesquisa foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão ao longo de seis seções de rio, bem como levantamentos hidrológicos por intermédio do equipamento ADCP. As coletas foram feitas no período de estiagem, no final do mês de julho e no período chuvoso, em novembro, ambos referentes ao ano de 2018. Os resultados apontam que 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 e 25,64 ton/dia de descarga sólida total, no período de seca. Na estação chuvosa a concentração de sedimentos suspensos varia entre 39,92 a 127,58 mg/l, transportando uma descarga sólida suspensa média de 401,75 ton/dia e uma descarga sólida total de 868,90 ton/dia. A variação dos resultados adquiridos, mostra-se relacionada com a sazonalidade pluviométrica, que propicia alteração das velocidades críticas que remobilizam e transportam o material sedimentar.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia. Sedimentos em suspensão. Dinâmica Fluvial.

Abstract

The present work show with objective understand of hydrosedimentological dynamics in rivers of the Meia Ponte River Basin, localized in the State of Goiás, Brazil. For the development of the work, samples of suspended sediments were collected in six sections, as well as hydrological surveys through the ADCP equipment. The samples were made during the dry season at the end of July, and November during the rainy season, both referring to the year 2018. The results indicate that 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 and 25,64 tons/day of total solid discharge during dry season. In the rainy season the suspended sediment concentration ranged from 39,02 to 127,58 tons/day, carrying a solid suspended solid discharge of 401.75 tons/day and a total solid discharge of 868.90 tons/day. The variation is related to the pluviometric seasonality that provides alteration of the critical speeds that remobilize and transport the sedimentary material.

Keywords: Hydrosedimentology. Solids in suspension. Fluvial Dynamics.

Résumé

Le présent travail vise à comprendre la dynamique hydrosédimentologique du bassin du fleuve Meia Ponte, situé dans l'État de Goiás, au Brésil. Pour le développement du levé, des échantillons de sédiments en suspension ont été prélevés le long de six sections fluviales du bassin hydrographique, ainsi que des levés hydrologiques à l'aide de l'équipement ADCP. Les collectes ont été effectuées pendant la saison sèche, fin juillet et pendant la période des pluies, au mois de novembre, toutes deux se référant à l'année 2018. Les résultats montrent que la concentration de sédiments en suspension dans les rivières BHRMP variait de 2,62 à 21,69 mg / l, transportant en moyenne 6,31 tonnes / jour de sédiments en suspension et 25,64 tonnes / jour de rejets solides totaux, en saison sèche. Pendant la saison des pluies, la concentration de sédiments en suspension varie entre 39,92 et 127,58 mg / l, entraînant un rejet solide en suspension moyen de 401,75 tonnes / jour et un rejet solide total de 868,90 / jour. La variation est liée à la saisonnalité pluviométrique qui fournit la variation des vitesses critiques qui remobilisent et transportent le matériau.

Mots clés: Hydrosédimentologie. Solides en suspension. Dynamique fluviale

Introdução

O regime hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica bem como a origem do material presente em seus cursos d'água depende de diversas variáveis, a saber o clima, a estrutura geológica, o relevo e a cobertura vegetal. Neste contexto, o fornecimento de material detrítico em cursos d'água constitui-se de um fenômeno natural, que auxilia na esculturação dos canais e consequentemente, das paisagens associadas (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARVALHO, 2008a).

A rápida mudança no uso do solo, nos últimos anos por conta da urbanização e do avanço do agronegócio, trouxeram grandes impactos ao meio ambiente, com destaque aos processos erosivos hídricos. Estes processos além de interferir negativamente em práticas agrícolas, também interferem na morfologia dos canais de drenagem, na sua biota, bem como na qualidade deste para o consumo (SUAREZ; SOARES FILHO, 2013; RODRIGUES et al., 2015).

A mudança do uso do solo reflete, direta e/ou indiretamente, nas mudanças de determinados aspectos da morfologia do canal, bem como nos parâmetros hidrossedimentológicos como o transporte e a carga de sedimentos. Como exemplificação tem-se o estudo realizado no bioma Cerrado, na bacia do rio Araguaia ao longo de dez seções, a qual a partir da constatação de desmatamento na bacia desde a década de 1970, observou-se um aumento da carga sedimentar transportada, ocasionando mudanças no padrão de drenagem de meandrante para anastomosado, bem como o retrabalhamento de suas ilhas e pontais. Sugerindo-se assim que a resposta geomorfológica de um sistema fluvial pode estar intimamente relacionada com o uso da bacia (BAYER, 2010; LATRUBESSE et al., 2009).

Os estudos de transporte de sedimentos em rios são importantes no que diz respeito à poluição, à navegabilidade, à vida útil dos reservatórios, a longevidade dos equipamentos hidrelétricos, o habitat dos peixes, o abastecimento sanitário, dentre outros aspectos (WILLIAMS, 1989; FERREIRA; ARAUJO, 2014). No Brasil esses estudos são ainda mais importantes, uma vez que o setor energético é predominantemente hidrelétrico, que por vezes se consorcia com outros usos, podendo o excesso de carga sedimentar comprometer o uso da água para a utilização industrial e o abastecimento público (SILVA et al., 2004).

No âmbito nacional, a Agência Nacional das Águas (ANA) é a responsável em disponibilizar dados referentes aos recursos hídricos no Brasil, que envolvem diferentes aspectos como: qualidade das águas, acompanhamento da descarga de sedimentos, aferição dos usos consultivos e não consultivos. Porém a disponibilização e periodicidade ainda se mostram insuficientes, dada a extensão do território nacional, bem como aos custos e a necessidade de pessoal qualificado para a realização deste trabalho.

Nestes termos, a Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP) é detentora dos dois principais mananciais de abastecimento da capital Goiânia e sua região metropolitana, sendo-os: o rio Meia Ponte e o ribeirão João Leite. Ambos são os principais canais fluviais responsáveis em abastecer estas localidades, que vêm sofrendo nos últimos anos uma forte redução da capacidade de oferta hídrica, dentre as quais o racionamento de água para a população (CUNHA; BORGES, 2015).

Destaca-se, que, apesar de estar compreendida na Região Metropolitana de Goiânia, a bacia hidrográfica do Rio Meia-Ponte ainda carece de estudos hidrossedimentológicos que evidenciem inclusive dados de “inventário”, face ao frequente acirramento de demanda hídrica e diferentes interesses consuntivos no uso da água.

Desse modo, a presente pesquisa tem por objetivo compreender o comportamento hidrossedimentológico ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia - Ponte, por meio dos seguintes objetivos específicos: i) avaliar a concentração de sólidos em suspensão; ii) aferir as vazões em seções de rios ao longo do curso principal em dois períodos distintos, um seco e outro chuvoso; iii) identificar a Descarga Sólida Suspensa e Total com vistas a oferecer subsídios para uma gestão diante a falta de dados para a área em estudo.

Materiais e métodos

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte está inserida na Bacia do rio Paranaíba, na Região Hidrográfica do rio Paraná, localizada no estado de Goiás, contida entre as longitudes 7950000m a 8200000m N e entre as latitudes 600000m a 800000m E, que correspondem à 3,6% da área total do estado (12.180 km²), totalizando 38 municípios em seu território, e concentrando 48% da população de Goiás (Figura 1), (VEIGA et al., 2011).

O rio Meia Ponte nasce na Serra dos Brandões, nas proximidades do município de Itauçu (GO), em cotas aproximadas de 1.000 m e percorre uma extensão de 415 km até desaguar no rio Paranaíba, no reservatório da usina hidrelétrica (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).

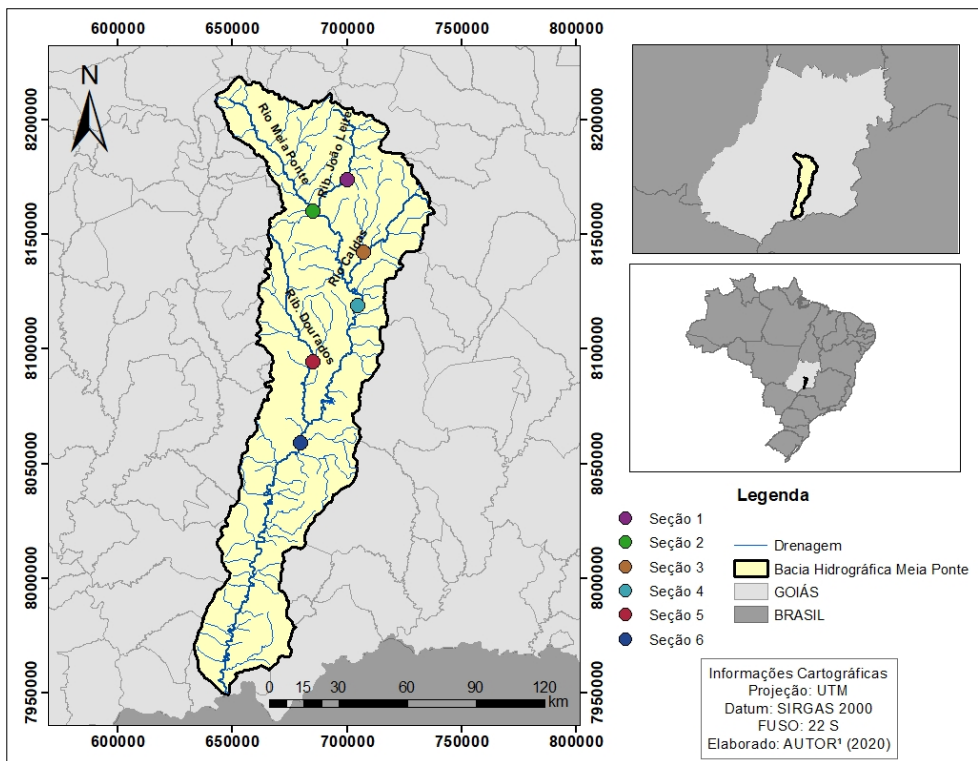


Figura 1: Mapa de localização e pontos de amostragem da área de estudo.

A bacia exibe como uso principal a pastagem, que perfaz uma área de aproximadamente 6.566,521 km² que corresponde a 53,21% de toda sua extensão. Outro uso observado é a agricultura, onde o plantio de soja e cana-de-açúcar são bem expressivos, correspondendo toda a classe uma área de aproximadamente 2.491,234 km², cerca de 20% do total, estando mais representados ao sul da área (MAPBIOMAS, 2020).

Pode-se observar que a área mais urbanizada se encontra no setor norte da bacia, e está localizada principalmente no município de Goiânia, totalizando um percentual de 4,43% sobre toda a área (Figura 2).

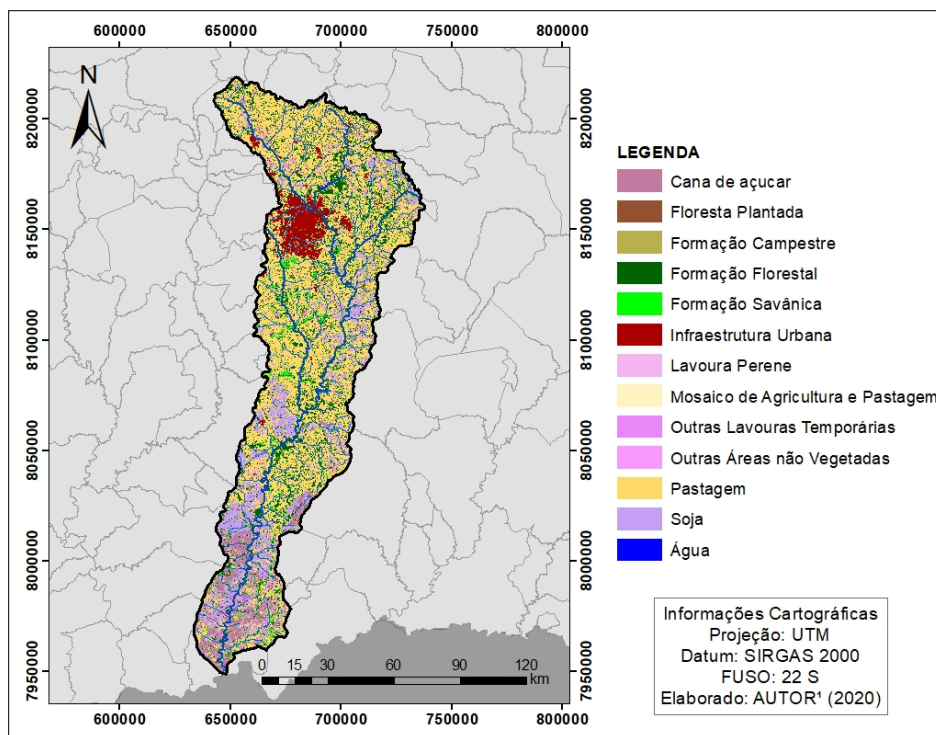


Figura 2: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte-Go.
Fonte: MapBiomias, (2020).

O clima da bacia segundo a classificação de Köppen é Aw sendo este o regime pluvial tropical quente semi-úmido. Este regime é bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro, estando a precipitação média anual entre 1.400 a 1.500 mm. A temperatura média anual varia entre 23,1 a 25° C, apresentando no mês de julho a menor média de temperaturas mínimas (15,7°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperaturas máximas (30,7°C). A umidade relativa do ar média anual varia de 84,2%, nos meses mais úmidos, a 55,4 % nos meses secos (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020).

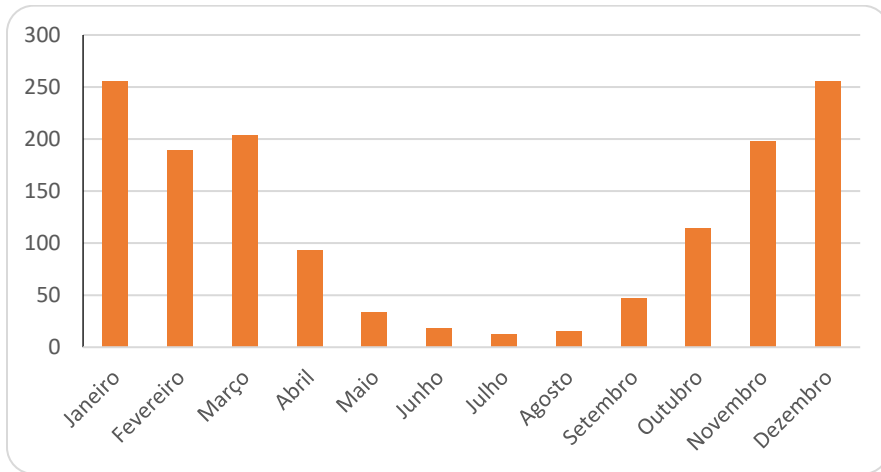


Figura 1: Precipitação média mensal da estação pluviométrica Meia Ponte, entre 1971 a 2018. Fonte: (ANA, 2020).

A área de estudo é caracterizada por ter relevos mais suaves, variando em sua grande maioria das classes plano a ondulado. Esta é caracterizada por apresentar superfícies de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos e a declividade varia de 3 a 8% (EMBRAPA, 2006). A altitude da bacia varia de 390 a 1161 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. Na Figura 4, está demonstrado os mapas caracterizando os atributos físicos da área de estudo.

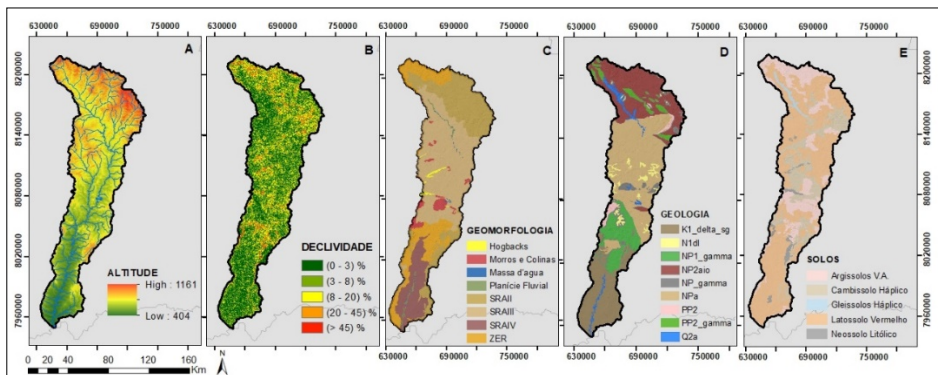


Figura 4: Mapas dos físicos da área de estudo. A) Hipsométrico; B) Declividade; C) Geomorfologia; D) Geologia; E) Solos. Fonte: Latrubesse et al. (2006); Moreira et al. (2008); EMATER (2017).

Dentre os aspectos geomorfológicos, a feição mais representativa foi a SRA III (Superfície Regional de Aplainamento III), correspondendo a 41,67 % da área, com cotas

que variam de 550 a 850 metros, sendo estas desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas representadas aqui pelo Grupo Araxá (NP_a), com a presença de litologias micáceas, a exemplo do Xisto, Clorita e Muscovita. Outra feição bastante representativa na área, foi a SRA II (25,41%), suas cotas altimétricas variam de 900 a 1250 m, e estão desenvolvidas sobre a bacia do Paraná, no Complexo Granulítico Anápolis-Itauçú (NP2aio), representadas por rochas metamórficas de alto grau, como exemplo o Metagabro (LATRUBESSE *et al.*, 2006; MOREIRA *et al.*, 2008).

Em relação ao solo, 58 % da área é coberta pelos Latossolo Vermelho (LV), sendo eles o mais expressivo tanto nesta bacia como em todo estado (Figura 4E). Estes são na maioria das vezes encontrados em relevos planos a suavemente-ondulados, e caracterizados por serem solos profundos e de boa permeabilidade. Os Argissolos Vermelho Amarelo (PVA) também são bem representativos na bacia, correspondendo a 20% da área, ocorrendo este principalmente em áreas onde a paisagem apresenta relevos mais acidentados e dissecados, com superfícies menos suaves (EMBRAPA, 2006).

Levantamento de dados

Inicialmente foi realizado um levantamento ao longo da bacia para a escolha dos locais de amostragens, onde foram selecionadas seis seções, sendo três pontos ao longo do rio principal (rio Meia Ponte) e outros três nos afluentes do ribeirão João Leite, rio Caldas e rio Dourados. Os pontos de amostragens foram escolhidos levando em consideração além da relevância amostral, a acessibilidade ao local, conforme a Figura 1 (os pontos de amostragens estão representados no mapa de localização). Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em duas etapas, sendo a primeira no período de estiagem (julho/2018), e a segunda no período chuvoso (novembro/2018).

As determinações de vazão foram realizadas pelo equipamento ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Em linhas gerais, seu funcionamento consiste na emissão de ondas sonoras encontradas na faixa ultra-sônica, que são refletidas por partículas em suspensão encontradas na água e no leito dos rios, provocando o retorno da onda refletida pela partícula (SIMPSON, 2001). Por este princípio físico torna-se capaz reconhecer as diferentes profundidades e velocidades, sendo assim, possível construir um perfil vertical da coluna d'água (CARVALHO, 2008a, 2008b; DORNELLES, 2009).

As amostragens de sedimentos suspensos foram realizadas por meio do amostrador pontual, garrafa de *Van Dorn*, tendo ela 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, optou-se em 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 após coletadas foram armazenadas em garrafas de 1 litro e condicionadas em local adequado (caixa térmica).

Análises laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas inicialmente pelo procedimento de filtração, sendo esse recomendado pela rapidez de operação e simplicidade de equipamentos, indicado para pequenas quantidades de sedimentos em suspensão, mas que exige senso crítico do analista. Este método consiste na filtração das amostras (sedimento em suspensão + água) coletadas em campo, com o objetivo de determinar a concentração de sólidos que são transportados no curso hídrico (CARVALHO, 2000; 2008b).

Deste modo, as amostras foram levadas inicialmente ao dispersor como forma de homogeneizá-las, logo em seguida passaram pelo processo de filtração em que foram filtrados 1L de amostra, em filtros de acetato de celulose com porosidade de 0,45 µm (pré - pesados). A filtragem exibe como procedimento a retenção dos sólidos em suspensão presentes nas amostras em sua superfície, a partir da utilização de uma bomba de filtração e um kitasato. Após este processo, os filtros são levados a uma estufa à 100 °C durante uma hora, e logo em seguida deixados 24 horas no dessecador com silicagel, fazendo assim uma segunda pesagem deste.

Em seguida, realizou-se a aferição da diferença de massa da segunda pesagem com a primeira, dividido pelo volume da amostra coletada, a partir disto foi determinada a Concentração de Sedimentos Suspensos (C_{SS}), conforme a equação 1, (CARVALHO, 2000; 2008b).

$$C_{SS} = \frac{P2-P1}{2} \quad (1)$$

Em que:

- C_{SS} – Concentração de Sedimentos Suspensos (mg/l);
- $P2$ – Massa do material filtrado + a massa do filtro (mg);
- $P1$ – Massa do Filtro (mg);
- V – Volume da amostra (l).

Para a determinação da Descarga Sólida de Sedimentos em Suspensão nos trechos em estudo, foi escolhida a metodologia por amostragem pontual (CARVALHO, 2008a). Os dados utilizados nesta equação são a vazão (m^3/s), a concentração de sedimentos suspensos (C_{SS}) no ponto em unidade de 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:

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

Já para a determinação da Descarga Sólida Total (Suspensão + Fundo), um dos métodos mais conhecidos para realização do cálculo é o de Einstein (1950). 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, onde desenvolveu pelo menos três métodos para o cálculo da descarga sólida total baseados no método de Einstein (CARVALHO, 2008a). 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), (COLBY, 1957):

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (4)$$

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

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

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 (sedimentos de fundo), não amostrados no presente trabalho, porém a partir dos dados de velocidade média (m/s), da profundidade média (m), da concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}), e da largura da seção transversal do canal fluvial, torna-se possível estimar seu valor (CARVALHO, 2008a).

Por fim, para o enquadramento da concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}), Meybeck et al. (2003), apresenta uma classificação baseada nos dados de sedimentos em

suspensão dos principais cursos hídricos do mundo, variando desde muito baixa, para uma $C_{ss} < 20$ mg/l, a extremamente alta, para uma $C_{ss} > 10000$, (Tabela 1).

Tabela 1: 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: Adaptado de Meybeck *et al.*, (2003).

Resultados e discussões

A Concentração de Sólidos em Suspensão (C_{ss}) da Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte, apresenta variação entre 2,62 a 21,69 mg/l no período de estiagem, tendo uma média de 8,66 mg/l e um desvio padrão de 6,66 mg/l. É observado ainda que houve uma diminuição da C_{ss} de montante em direção a jusante no canal principal (Seções 2, 4 e 6) no período de estiagem (Tabela 2).

Tabela 2: Dados das análises de sedimentos em suspensão do Rio Meia Ponte – período de estiagem.

Local	VM (m/s)	LI (m)	PM (m)	Q (m³/s)	C_{ss} (mg/l)	Qss/Qsm (t.d-1)	Qnm (t.d-1)	Qst (t.d-1)
Seção 1	0,38	10,00	0,53	2,24	5,93	1,26	5,93	7,19
Seção 2	0,53	20,00	0,48	8,27	21,69	7,19	35,89	43,08
Seção 3	0,43	16,00	0,70	6,06	6,05	3,04	9,69	12,73
Seção 4	0,36	40,00	1,79	21,55	7,49	14,88	29,96	44,84
Seção 5	0,50	21,90	0,81	6,78	8,20	6,2	18,04	24,24
Seção 6	0,46	63,00	0,86	30,54	2,62	5,27	16,51	21,78
Média				12,57	8,66	6,31	19,34	25,64
Desvio Padrão				10,99	6,66	4,72	11,57	15,47

VM – Velocidade média da vertical; LI – Largura de influência; PM – Profundidade da Vertical; Q – vazão; C_{ss} – Concentração de Sedimentos em Suspensão; Qss (t.d⁻¹) – descarga sólida em suspensão da seção/Qsm - descarga sólida em suspensão medida; Qnm - descarga sólida não medida (sedimentos de fundo); Qst : descarga sólida total. Org.: Autores (2020).

A seção que apresentou a maior C_{ss} no período de estiagem foi a Seção 2. Tal comportamento pode ser explicado em decorrência da alta urbanização na região, no âmbito do município de Goiânia. Especificamente, no local onde foram realizadas as coletas, foi identificado o despejo de esgoto sanitário, presença de resíduos sólidos, vertentes erodidas, e a formação de ilhas de sedimentos e rejeitos, conforme ilustra a

Figura 5. A presença dessas condições na seção, podem ter influenciado nos altos valores de concentrações de sólidos em suspensão neste período.



Figura 5: Rio Meia Ponte dentro do município de Goiânia (Seção 2).
Fonte: fotografia do autor (2018).

A Seção 6 apresenta a vazão mais alta para o período analisado, porém, corresponde ao local onde houve a menor C_{ss} . Atribui-se a alta vazão em decorrência da expressiva largura do rio, correspondendo a cerca de 63 metros, localizada no nível de base dos locais avaliados. A baixa C_{ss} deve-se ao estado de conservação das zonas ripárias, que para o período de estiagem equivalem as principais fontes de sedimentos, como também a baixa declividade nesta parte da bacia, que como poucas chuvas, propicia processos de agradiação.

Os dados de descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) transportada nas diferentes seções da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, variaram desde 1,26 a 14,88 ton/dia, tendo um valor médio de 6,31 ton/dia e um desvio padrão de 4,72 ton/dia.

Observa-se que mesmo a Seção 2 apresentando a maior C_{ss} , esta não foi a que obteve a maior descarga sólida transportada, como observado na Seção 4, que mesmo não tendo a maior C_{ss} , obteve uma vazão relativamente alta, sendo esta uma das variáveis consideradas no cálculo de Q_{ss} . A seção 1 e 3 apesar de estarem em uma zona de altas altitudes, estão alocadas sobre rochas metamórficas de alto grau, como também sobre solos de boa permeabilidade e coesão, como o Latossolo e o Argissolo, o que pode ter influenciado nos baixos valores de Q_{ss} . Pode-se atribuir isto também, a largura das seções, que foram as menores entre as demais, e também a baixa vazão presente nestas. As C_{ss} nestas seções também se mantiveram baixas. Observa-se esta dinâmica, na Figura 6.

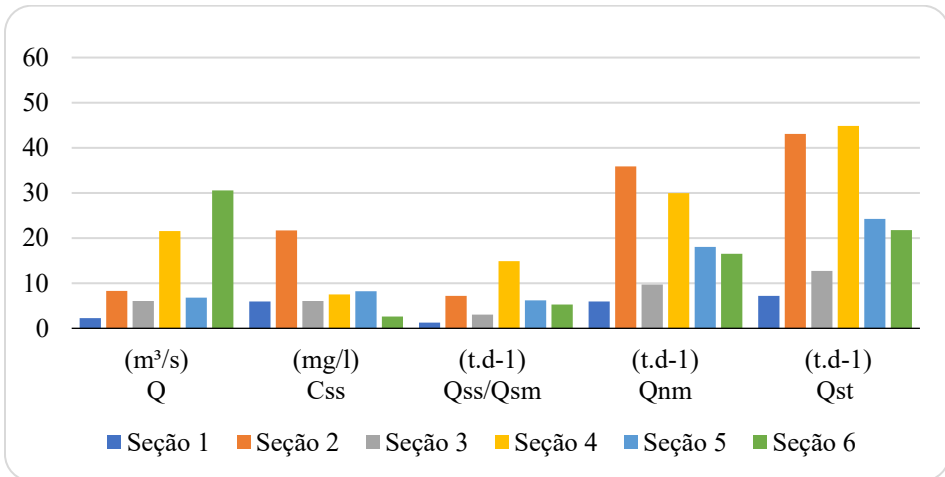


Figura 6: Representação gráfica dos dados coletados nas seis seções ao longo do rio Meia Ponte, no período de estiagem. Org.: Autores (2020).

Por meio dos dados adquiridos e da equação de Colby (1957), foi possível estimar também a descarga sólida total transportada na BHRMP para o período de estiagem, onde constata-se que são transportados diariamente 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.

O maior Q_{nm} (descarga sólida não medida) calculado também foi obtido para a Seção 2, que apresentou uma descarga sólida alta devido a sua velocidade média e sua concentração de sedimentos suspensos, que foram as maiores dentre as seções analisadas. Como já mencionado, na Seção 2 observou-se o maior nível de antropização, uma vez que foi a única seção inserida totalmente em zona urbana, mostrando assim que as interferências antrópicas podem refletir diretamente na dinâmica e nas características hídricas.

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

Em relação aos dados do período chuvoso, pode ser observado que a C_{ss} exibe variação entre 39,92 a 127,58 mg/l, tendo uma média de 69,76 mg/l e um desvio padrão de 38,67 mg/l, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Dados das análises de sedimentos em suspensão do Rio Meia Ponte – período de chuvas.

Local	VM (m/s)	LM (m)	PM (m)	Q (m ³ /s)	Css (mg/l)	Qss/Qsm (t.d-1)	Qnm (t.d-1)	Qst (t.d-1)
Seção 1	0,53	13,3	0,56	3,24	39,92	13,10	30,64	41,82
Seção 2	0,76	23,6	0,59	11,32	50,25	27,4	177,47	226,62
Seção 3	0,65	19,84	0,75	8,33	50,5	47,54	97,21	133,56
Seção 4	0,76	56,0	1,74	38,93	110,04	766,35	790,16	1.160,27
Seção 5	0,62	28,0	0,76	8,48	40,29	50,66	101,136	130,66
Seção 6	1,00	73,0	1,83	114,34	127,58	1.505,42	2260,08	3.520,46
Média				30,77	69,76	401,75	576,12	868,90
Desvio Padrão				42,87	38,67	614,97	870,97	1.363,67

VM – Velocidade média da vertical; LI – Largura de influência; PM – Profundidade da Vertical; Q – vazão; C_{ss} – Concentração de Sedimentos Suspenso; Q_{ss} (t.d⁻¹) – descarga sólida em suspensão da seção/Q_{sm} -descarga sólida em suspensão medida; Q_{nm} - descarga sólida não medida (sedimentos de fundo); Q_{st} : descarga sólida total. Org.: Autores (2020).

Constata-se que houve um aumento da C_{ss} de montante à jusante, em relação ao rio principal (Seções 2, 4 e 6). Este aumento em relação ao curso principal, deve-se a morfologia da bacia em estudo, que apresenta altas altitudes nas cabeceiras de drenagem e baixas próximas a foz, permitindo que o fator gravidade juntamente com a precipitação, apresente uma melhor capacidade de transportar sedimentos ao longo do canal.

A Seção 1 corresponde a seção que apresentou os menores valores de C_{ss}, Q_{ss}, Q_{nm} e Q_{st}, bem como as menores mudanças temporais, tendo um aumento da vazão de apenas 1,2 m³/s. Diferente do que ocorreu no período de estiagem, a seção que obteve a maior C_{ss} e Q_{ss} foi a Seção 6, conforme a Figura 7.

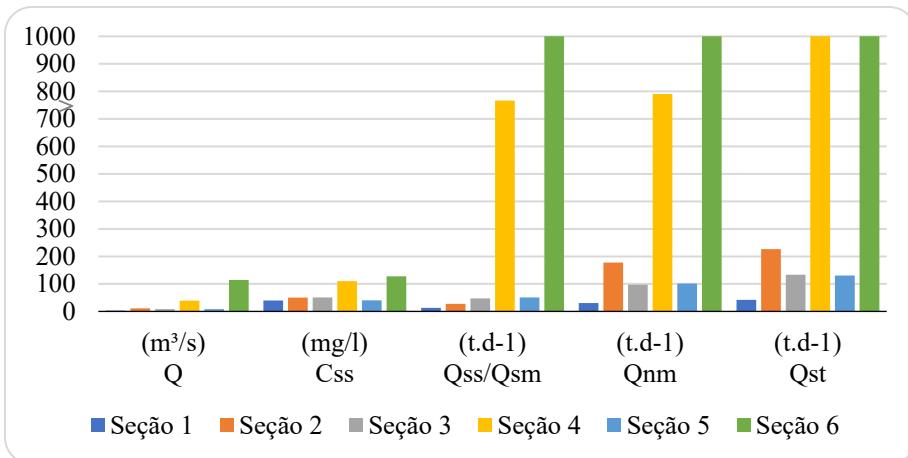


Figura 7: Representação gráfica dos dados coletados nas seis seções ao longo do rio Meia Ponte, no período chuvoso.
 Org.: Autores (2020).

Este aumento está correlacionado ao aumento da vazão no canal, que neste período apresentou uma maior capacidade e competência de transportar os sedimentos antes depositados no leito e nas vertentes do rio, principalmente os mais grosseiros, que em função das cheias são (re)mobilizados (SUGUIO; BIGARELLA, 1990; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Pode-se apontar também o aumento da C_{ss} pela contribuição de sedimentos advindos a montante da seção, que foram retrabalhados em virtude do aumento da velocidade crítica.

A seção 4 de um período a outro, teve um aumento de mais de 50 vezes na descarga sólida dos sedimentos transportados (Q_{ss}), de 14,88 a 766,35 ton/dia. Podendo atribuir isto, além das questões sazonais atuantes em toda a bacia, a posição geomorfológica da seção em questão, estando ela logo abaixo de uma zona de altos declives, com o relevo mais dissecado, o qual encaminha para a jusante do rio, uma grande descarga proveniente do rio principal com também de tributários (o que acontece também na seção 6). Esta seção também está sob uma área com a presença de pastagem e de cultivo de soja, o que pode ainda ter intensificado o aumento da concentração de sedimentos transportados.

A descarga sólida suspensa (Q_{ss}) no período das chuvas variou entre 13,10 a 1.505,42 ton/dia, exibindo um valor médio de cerca de 402 ton/dia, transportando cerca de 64 vezes a mais que o período de estiagem. A descarga sólida total (Q_{st}) apresenta valores 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 ton/dia.

De acordo com os dados adquiridos neste estudo, identificou-se que a média de C_{ss} variou de 8,66 a 69,79 mg/l entre as duas estações, com valores mínimos de 2,62 mg/l na estação seca e 39,92 mg/l na estação chuvosa, conforme indicado na Figura 8. Tendo um aumento médio de cerca de 8 vezes de um período ao outro.

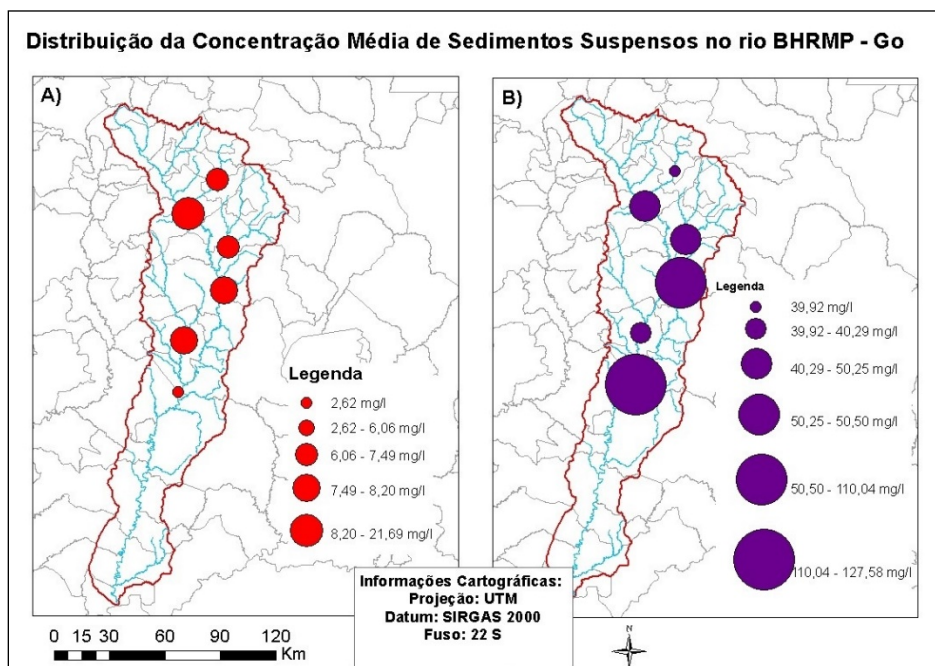


Figura 8: Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão da BHRMP. a) Período de estiagem (julho/2018); b) Período de chuva (novembro/2018).

Fonte: Autores (2020).

Pode-se identificar essa mesma dinâmica, em diversos estudos e em diferentes contextos biogeográficos, como por exemplo, na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó – Paraíba, o qual exibiu no período de seca uma C_{ss} de 2,53 mg/l para uma vazão de 9,68 m³/s, e na estação chuvosa exibe uma C_{ss} de 161,99 mg/l para uma vazão de 19,93 m³/s, ou seja, uma diferença de 64 vezes a mais de um período a outro (GARRIDO et al., 2018).

Outro exemplo, pode ser identificado por Moraes et al. (2014), o qual identificou esta dinâmica a partir das coletas realizadas no rio Jundiá, onde foi identificado o transporte específico de 34,71 ton/km²/ano para o período chuvoso e de 2,10 ton/km²/ano no período de estiagem. Acontecendo o mesmo no rio Capivari, onde o transporte específico de sedimentos foi de 0,31 ton/km²/ano no período chuvoso e de 0,01 ton/km²/ano no período de estiagem. Os resultados adquiridos pelos autores demonstram a influência da chuva na entrada de sedimento fino em suspensão por escoamento superficial (MORAES, et al., 2016).

A variabilidade espacial da concentração de sedimentos suspensos, pode ser também alterada pelo uso e cobertura do solo, em especial a área urbana como observado na Seção 2, que mesmo localizada na porção à montante da bacia, apresentou uma alta concentração de sólidos em suspensão no período de estiagem, provenientes principalmente de materiais tecnogênicos e de esgotamento sanitários lançados ao canal.

A Seção 6, que apresenta maior quantidade de sedimentos, exibem no período de chuva maior energia, capaz de retrabalhar esses sedimentos e, conseqüentemente, aumentar a *Css*. Nesta seção também, observa-se que é o ponto onde mais se aproxima da área agrícola da bacia, o que pode ter contribuído com a maior quantidade de sedimentos suspensos disponíveis (127,58 mg/l), em decorrência a exposição do solo diante a chuva.

Tais resultados vão ao encontro de trabalhos realizados a partir de estações fluviométricas presentes na bacia do rio Meia Ponte, onde a partir da avaliação de quatro estações apontam valores de descarga sólida total (*Q_{st}*) entre 52,58 a 2.067 ton/dia, correspondentes aos meses de maio e outubro do ano de 2000 (RUBIN, 2003). O autor ainda constata que a *Css* obteve um valor médio de 61,76 mg/l, em consonância ao calculado nesta pesquisa para o período chuvoso com 69,76 mg/l.

Esta dinâmica também apresenta-se bastante próxima a um estudo realizado no final da década de 1980, na baixa bacia do Ribeirão João Leite, afluente do rio Meia Ponte, que demonstra uma *Css* média de cerca de 69 mg/l (CASSETI, 1990).

Em outro estudo realizado na mesma bacia, foi observado que houve uma diminuição em relação a granulometria dos sedimentos suspensos do período chuvoso para o período de seca, ocasionados pelo aumento da energia cinética proveniente da vazão, que propiciou uma maior capacidade de desintegrar estruturas e agregados sólidos, permitindo que uma maior quantidade de sedimentos suspensos fosse transportada. Este estudo ainda aponta que o tamanho dos sedimentos suspensos encontrados, variaram da classe argila a areia fina, com predominância do tamanho silte (AMARAL; FORMIGA, 2019).

Em relação à nocividade da concentração de sedimentos suspensos que apresenta uma forte ligação com a turbidez, juntamente com materiais orgânicos e inorgânicos, são uma das principais causas da ocorrência da deterioração da qualidade das águas superficiais, visto que sua deterioração se dá em virtude da diminuição capacidade de dispersão da radiação, bem como de interação com a atmosfera (ESTEVES, 1998).

Altos índices de turbidez podem contribuir com a deterioração da qualidade de água, visto que pode estar associado ao aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (*DBO_{5,20}*) e, conseqüentemente, com a redução do Oxigênio Dissolvido (OD), tendo em vista que detritos orgânicos como algas, bactérias e plânctons, em geral, podem estar adsorvidos nesses compostos terrígenos, havendo assim um maior consumo de oxigênio (SPERLING, 1996; CETESB, 2009).

Quando considerados os valores de *Css* para avaliação da qualidade de água, o rio Meia Ponte encontra-se classificado na faixa entre ‘muito baixa’ à ‘baixa’ na coleta referente ao período de seca e ‘baixa’ à ‘moderada’ no período de chuvas. A observação desta classificação torna-se importante em decorrência da alteração da *Css*, onde além poder alterar a qualidade da água, pode expor-se como reflexo de alguma alteração mais proeminente das áreas ripárias, ou de setores específicos da bacia hidrográfica (MEYBECK et al. 2003). Apesar de ter sido constatado algumas perturbações, a sua variação, está relacionada primordialmente a sazonalidade climática da região, ao qual

propícia uma maior capacidade e competência de mobilização de sedimentos, a partir do aumento das vazões nos períodos chuvosos.

Considerações finais

Conforme os resultados adquiridos, conclui-se que a BHRMP possui uma C_{ss} média de 8,66 mg/l, transportando diariamente em média cerca de 6,31 ton/dia de sólido em suspensão e 25,64 ton/dia de descarga total para a estação seca. No período das chuvas a bacia exibem 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, sendo apontada como canal de baixa a moderada C_{ss} .

Em relação aos atributos físicos da bacia, as diferenças altimétricas e a precipitação, foram os fatores que mais contribuíram com a disponibilidade de sedimentos no sistema. Em síntese, compreende-se que os valores de C_{ss} para a área em estudo estão intrinsecamente ligados à sazonalidade, em decorrência do maior deflúvio do canal principal, que apresentou uma maior competência e capacidade para mobilização e transporte de sedimentos, a partir da atuação da erosividade das chuvas sobre o leito e sobre as vertentes. Destaca-se, ainda, que dejetos advindos da urbanização, a exemplo do esgotamento sanitário, podem influenciar também nos resultados adquiridos, principalmente no período de estiagem, onde não há água suficiente para a diluição desses sólidos.

Por fim, os resultados demonstram a necessidade de monitoramento constante das variáveis hidrossedimentológicas de rios da bacia do rio Meia-Ponte, estendendo a outros contextos, como do bioma Cerrado e do Brasil. Tal monitoramento se justifica em virtude da elevada importância para um monitoramento eficiente da gestão dos recursos hídricos, principalmente em bacias de mananciais para abastecimento público, que necessitam do reconhecimento de aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos.

Como sugestões à trabalhos futuros, aponta-se a determinação da perda de solos em escala adequada para a área em questão, com vistas a compreender melhor a dinâmica sistêmica da bacia, a partir dos sedimentos gerados nas vertentes e transportado pelos canais fluviais. Como também ampliar as análises para os anos seguintes.

Referências

AMARAL, A. K. N.; FORMIGA, K. T. M.. Análise da distribuição granulométrica ao longo da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte – Goiás. *REGA*, v. 16, e5, 2019. Acessado em: < <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e5> >. Disponível em: 08/10/2020.

ANA (Agência Nacional de Águas). *HIDROWEB*. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas> >. Acessado em: 08/10/2020.

BARBOSA, D. I. Vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, Goiás. *Dissertação*. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2013.

- BAYER, M. Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do rio Araguaia. *Doctoral dissertation, Tesis*. Universidade Federal de Goiás. Brasil, 2010.
- CARVALHO, N. De O. Guia de práticas sedimentométricas. ANEEL, *Superintendência de informações hidrológicas*, Brasília, DF, 2000.
- CARVALHO, N. De O. Hidrossedimentologia prática. 2ª. rev., atual. e ampliada-Rio de Janeiro: *Interciência*, 2008 (a).
- CARVALHO, T. M. 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).
- CASSETI, V. Concentração de Sedimentos em Suspensão no Baixo Ribeirão João Leite – Goiânia. Goiânia: *Boletim Goiano de Geografia*. Vol. 9/10 nº 1/2. UFG, p. 71-97, 1990.
- CETESB. *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: 44p., 2009.
- COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 38, n. 5, p. 708-717, 1957.
- CRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. *São Paulo: E. Blucher*, 1981.
- CUNHA, D. F., & BORGES, E. Urbanização acelerada: risco para o abastecimento de água na Região Metropolitana de Goiânia. *Geo UERJ*, (26), 226-244, 2015.
- DORNELLES, A. M. *Utilização de um Perfilador Acústico de Correntes por Efeito Doppler (ADCP) para a estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS)*. 2009. 127 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia). UFRGS. Porto Alegre. 2009.
- EINSTEIN, H. A. The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. *Washington DC: US Department of Agriculture*, 1950.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006). CNPS. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p.
- EMATER. Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. *Refinamento do mapeamento de solos para escala de 1:250.000, realizado em 2017*. Disponível em: < <http://dados.sieg.go.gov.br/Sieg/produtosIMB.asp?cod=4715> >. Acessado em: 04/05/2021.
- ESTEVES, F. De. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: *Editora Interciência*. 2ª ed. 1998.
- FERREIRA, C. W. S., & de ARAÚJO, M. D. S. B. Influência do Uso do Solo e da Drenagem no Transporte de Sedimentos para um Reservatório de Água no Semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, N 7 (06), 1229-1243, 2014.
- GARRIDO, J. W. A. 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, 2018.7
- LATRUBESSE, Edgardo; CARVALHO, Thiago Morato de. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. *Superintendia de Geologia e Mineração, Estado de Goiás*, 2006.

- 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.
- MAPBIOMAS, Projeto. *Coleção V.5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil ano 2019*. Disponível: <<http://mapbiomas.org>>. Acesso: 13 de outubro de 2020.
- 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, G. M.; MORTATTI, J.; OLIVEIRA, H. CAMPOS, K. B. G. 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. 1-11, 2016.
- MOREIRA, Maria Luiza Osório et al. *Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal*. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL, 2008.
- NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; NOVAIS, Giuliano Tostes. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. *Élisée, Rev. Geo. UEG – Goiás*, v.9, n.2, e922021, jul./dez. 2020.
- RODRIGUES, E. L., ELMIRO, M. A., BRAGA, F. D. A., JACOBI, C. M., & ROSSI, R. D. Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, N 19(1), 70-76, 2015.
- RUBIN, J. C. Sedimentação quaternária, contexto paleoambiental e interação antrópica nos depósitos aluviais do Alto rio Meia Ponte-Goiás/GO. *Dissertação*, UNESP, 2003.
- SILVA, A. M.; SHULTZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: *RiMa*, 2004.
- SIMPSON, M. R. Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler. US Department of the Interior, *US Geological Survey*, 2001.
- SPERLING, M.V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: *Editora UFMG*, 1996.
- STEVAUX, J. C., & LATRUBESSE, E. M. *Geomorfologia fluvial*. Oficina de Textos. 2017.
- SUGUIO, K; BIGARELLA, J.J. Ambientes Fluviais. Florianópolis: *Editora UFSC/ UFPR*. 183 p., 1990
- SUAREZ, A. F., & SOARES FILHO, B. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do Rio Formiga-MG. *Revista brasileira de cartografia*, (65/3), 2013.
- 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.
- WILLIAMS, G. P. "Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers". *Journal of Hydrology* 111, pp. 89 – 106. 1989.

Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, e a Universidade Federal de Goiás por propiciar a estrutura e suporte para a elaboração desta pesquisa e também a Fundação de Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo incentivo financeiro dado a primeira autora do artigo.

Ana Karolyna Nunes Amaral

Bacharel e Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente é estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela mesma universidade.

Av. Esperança, s/n - Samambaia, Goiânia – Goiás, CEP: 74001-970.

Email: ana.nunes.ufg@gmail.com

Lucas Espíndola Rosa

Técnico em Mineração pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Goiás, Geógrafo, Especialista em Gestão e Planejamento Ambiental e Mestre em Geografia (2016), ambos pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente é estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela mesma universidade.

Av. Esperança, s/n - Samambaia, Goiânia – Goiás, CEP: 74001-970.

Email: lucasespindola@ufg.br

Klebber Martins Teodomiro Formiga

Engenheiro civil pela Universidade Federal de Campina Grande, concluiu o mestrado em Engenharia Civil na mesma instituição em 1999. É doutor pela escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Goiás.

Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia - Goiás, CEP: 74605-220.

Email: klebber.formiga@gmail.com

Recebido para publicação em novembro de 2020.
Aprovado para publicação em junho de 2021.