

DINÂMICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA DO RIO URUCUIA, MINAS GERAIS

Clareana Morato Teixeira¹

Marcelo Ribeiro Viola²

Gilberto Coelho³

Junior Cesar Avanzi⁴

Rubens Junqueira⁵

RESUMO

Os estudos acerca da descarga sólida dos corpos hídricos são importantes para a gestão de recursos hídricos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade da água e no assoreamento de reservatórios. Uma vez que a concentração de sedimentos em suspensão está relacionada com o comportamento espectral, produtos obtidos por sensoriamento remoto orbital podem corroborar para pesquisas sobre a dinâmica hidrossedimentológica em cursos d'água. O rio Urucuia é um importante afluente pela margem esquerda do rio São Francisco na mesoregião noroeste de Minas Gerais. Nesse contexto, objetivou-se no presente estudo analisar a dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Urucuia a partir de dados coletados em campo, e analisar a aplicabilidade de imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 para predição da concentração de sedimentos em suspensão. Os resultados mostraram que a precipitação média na bacia é de 1.305,4 mm, com deflúvio anual de 314,9 mm. A partir de dados monitorados de vazão e de sedimentos em suspensão do posto fluviométrico Arinos-Montante obteve-se uma curva de descarga de sedimentos com r^2 igual a 0,88. A produção específica de sedimentos em suspensão foi classificada como “moderada”, sendo de 95,1 Mg.km⁻².ano⁻¹. Verificou-se que as bandas 2, 3 e 4 do sensor TM do satélite Landsat 5 são as que apresentam maior correlação com a concentração de sedimentos em suspensão no rio Urucuia, sendo, respectivamente, de 0,546, 0,587 e 0,466.

Palavras-chave: Sedimentos Totais em Suspensão. Sensoriamento remoto. Landsat. Rio São Francisco.

¹ Mestranda em Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, SP, Brasil.
E-mail: clareanamr@gmail.com

² Prof., Dr. - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, Lavras, MG, Brasil. E-mail: marcelo.viola@ufla.br

³ Prof., Dr. - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, Lavras, MG, Brasil. E-mail: coelho@deg.ufla.br

⁴ Prof., Dr. - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, MG, Brasil.
E-mail: junior.avanzi@dcs.ufla.br

⁵ Doutorando em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) – rubensjunqueira@live.com

ABSTRACT

Studies about solid discharge on water bodies are important for water resource management, as sediments directly affect water quality and reservoirs siltation. Since the concentration of suspended sediments is related to spectral behavior, products obtained by orbital remote sensing can corroborate research on hydrosedimentological dynamics in rivers. The Urucuia river is an important tributary along the left bank of São Francisco River in the northwestern mesoregion of Minas Gerais. In this context, the objective of the present study was to analyze the hydrosedimentological dynamics of the Urucuia river watershed considering field data as well as the applicability of TM sensor-Landsat 5 to predict suspended load concentration. The results showed that the average rainfall in the basin is 1,305.4 mm, with an annual outflow of 314.9 mm. A sediment discharge curve with r^2 equal to 0.88 was obtained from monitored flow and suspended sediment data from the Arinos-Montante station. The specific production of suspended sediment was classified as “moderate”, being $95.1 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$. Landsat 5 bands 2, 3 and 4 are the ones that present the highest correlation with the suspended sediment concentration in Urucuia River, being, respectively, 0.546, 0.587 and 0.466.

Keywords: *Suspended sediment concentration. Remote sensing. Landsat. Sao Francisco River.*

Data de submissão: 16/07/2019

Data de aprovação: 08/01/2020

1 INTRODUÇÃO

A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo necessita de resultados de pesquisas científicas que propiciem subsídio para a tomada de decisão. Neste contexto, pesquisas sobre a produção de sedimentos nas vertentes, sobretudo em áreas agrícolas, e o posterior transporte nos cursos d'água é uma das principais demandas ambientais no contexto da gestão dos recursos naturais (MINELLA; MERTEN, 2011).

A descarga total de sedimentos em cursos d'água é composta por sedimentos transportados por arraste de fundo e por sedimentos em suspensão provenientes do leito do curso d'água e da bacia hidrográfica (PAIVA, 2001). De acordo com Yang (1996), os sedimentos de arraste de fundo podem equivaler a até 25% dos sedimentos em suspensão. Quantificar a descarga de sedimentos é essencial para pesquisas sobre o impacto do assoreamento de cursos d'água sobre a navegabilidade e enchentes, sobre a vida útil de reservatórios e viabilidade de utilização dos recursos hídricos para abastecimento urbano, irrigação, dentre outros (PAIVA, 2001).

A medição direta do transporte de sedimentos em cursos d'água é realizada em postos sedimentométricos (COIADO; PAIVA; SIMÕES, 2001). De acordo com Vestena (2009) os registros de postos sedimentométricos apresentam a limitação de muitas vezes serem pontuais e coletados diariamente. Isto representa uma limitação para o reconhecimento da dinâmica do transporte de sedimentos principalmente para pequenas bacias hidrográficas, as quais tem reduzido tempo de concentração. Ainda de acordo com Vestena (2009), a rede sedimentométrica tem baixa densidade de postos, significando que em diversos cursos d'água não há dados de medição direta sobre o transporte de sedimentos. Neste tipo de situação, o sensoriamento remoto que consiste da coleta de dados da radiação eletromagnética por sensores a bordo de aeronaves ou satélites é destacado como uma técnica promissora. A concentração de sedimentos na água afeta o seu comportamento espectral, e desta maneira pode-se obter a caracterização, monitoramento e estudo dos recursos hídricos por sensoriamento remoto (NOVO, 2009), conforme tem sido tema de diversas pesquisas (MONTANHER *et al.*, 2014; KNAEPS *et al.*, 2015; LOBO *et al.*, 2016; AGUIAR; GOMES, 2006; ALFOLDI; MUNDAY, 1978; ARANUVACHAPUN; WALLING, 1988; RITCHIE; ZIMBA; EVERITT, 2003).

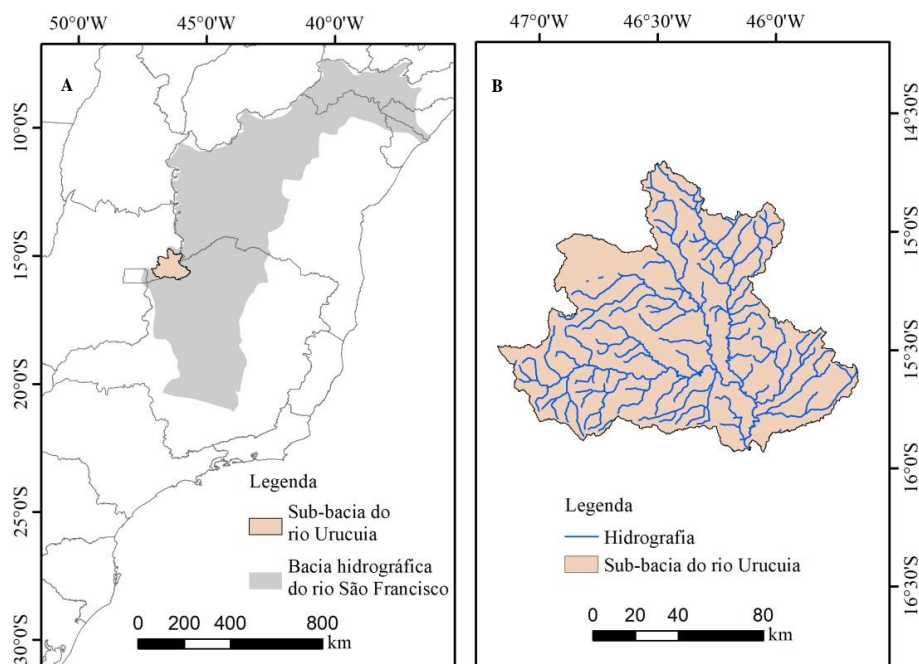
Especificamente para a bacia hidrográfica do rio São Francisco, o desenvolvimento de estudos visando ao entendimento da dinâmica do transporte de sedimentos em suspensão é importante para subsidiar o aproveitamento dos recursos hídricos, projetos de reservatórios, dentre outros. A Bacia Hidrográfica do rio Urucuia é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, próximo ao município de Arinos em Minas Gerais. De acordo com Sá, Silva Filho e Silva (2004), a bacia do rio Urucuia é responsável por 10% da vazão total e 18% da carga total de sedimentos do rio São Francisco.

Diante do contexto abordado, objetivou-se no presente estudo o entendimento do regime hidrológico e da dinâmica do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Urucuia, com seção de controle no posto fluviométrico de Arinos-Montante, localizado no estado de Minas Gerais (MG), próximo ao município de Arinos. Especificamente, objetivou-se analisar a aplicabilidade de dados espectrais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para a estimativa da concentração dos sedimentos em suspensão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo delimitou-se a área de drenagem a montante do posto fluviométrico Arinos-Montante, sendo denominada de sub-bacia do rio Urucuia. Está localizada na região noroeste do estado de MG, próximo ao município de Arinos (MAPA 1). A área de drenagem calculada é de 11.713,8 km².

Mapa 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Urucuia



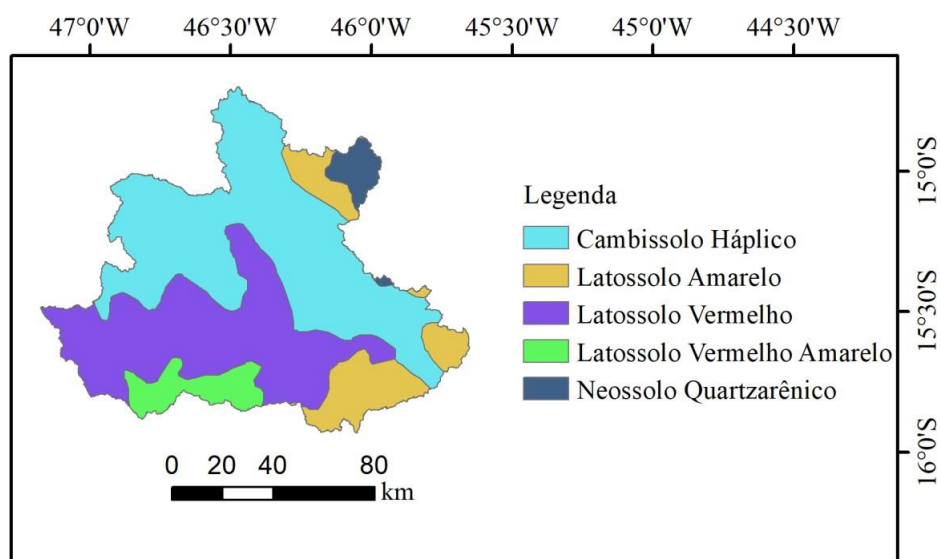
Legenda: A) Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco no território brasileiro
B) Destaque para a área de drenagem delimitada a Montante do posto fluviométrico Arinos-Montante

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A região em estudo está inserida no bioma Cerrado, na mesorregião Noroeste de Minas, mais especificamente entre os paralelos 14° 42' 0''S a 16° 43'37''S e os meridianos 45° 04' 33'' W a 47° 06' 36'' W. Ocupa território de importantes municípios do estado de Minas Gerais, tais como Arinos, Buritis, Unaí, Uruana, Cabeceiras, Formoso, entre outros. De acordo com Alvares et al. (2013) o clima é tropical com inverno seco (Aw).

No tocante às características pedológicas, ocorrem Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico (MAPA 2).

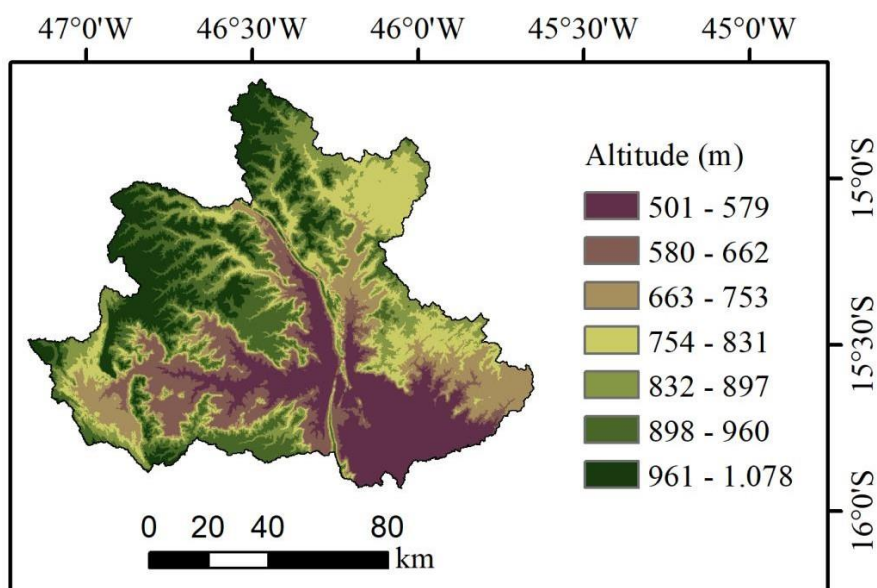
Mapa 2 – Solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Urucuia-MG



Fonte: Adaptado de IBGE; Embrapa (2001)

No Mapa 3 está representado o modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) obtido junto ao United States Geological Survey (USGS)⁶. A altitude média é de 782 metros, com mínima de 504 metros e máxima de 1.103 metros.

Mapa 3 – Modelo digital de elevação da sub-bacia Hidrográfica do Rio Urucuia



Fonte: Adaptado de United States Geological Survey (2019)

⁶ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

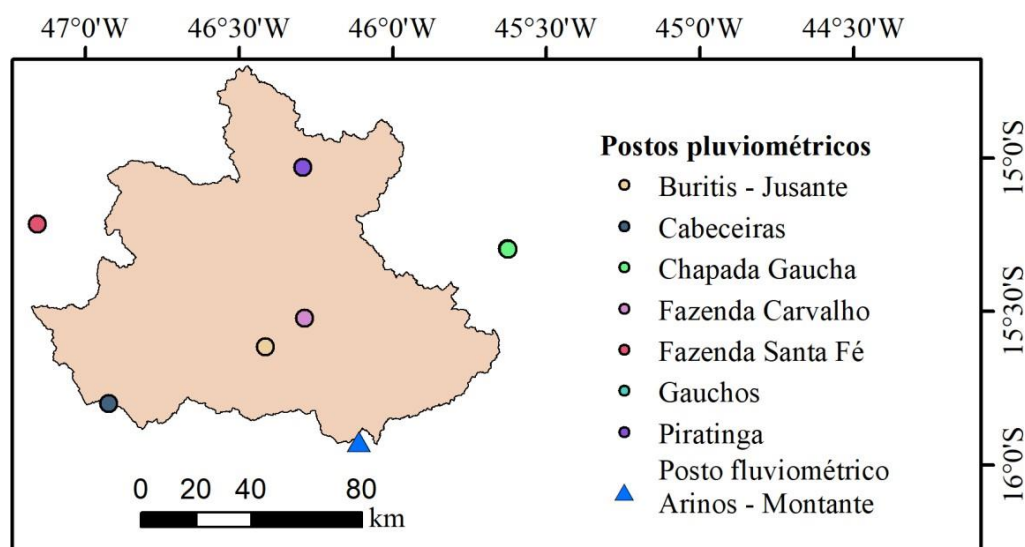
A caracterização hidrológica foi realizada a partir de séries históricas hidrológicas obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb)⁷ da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme está mostrado na Tabela 1 e no Mapa 4.

Tabela 1 – Principais informações dos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados no presente estudo

Nome	Tipo	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Arinos Montante	Pluviométrica	1546000	-15°55'28"	-46°6'38"	492
Cabeceiras	Pluviométrica	1546005	-15°48'3"	-46°55'29"	900
Buritis – Jusante	Pluviométrica	1546001	-15°36'57"	-46°24'54"	-
Piratinga	Pluviométrica	1546011	-15°1'53"	-46°17'32"	785
Gauchos	Pluviométrica	1545004	-15°17'42"	-45°37'36"	-
Fazenda Santa Sé	Pluviométrica	1547001	-15°12'58"	-47°19'25"	573
Arinos Montante	Fluviométrica	43429998	-15°55'28"	-46°6'38"	492

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Mapa 4 – Localização dos postos pluviométricos e fluviométrico utilizados no presente estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Procedeu-se o preenchimento de falhas mensais das séries de precipitação pela metodologia do vetor de ponderação regional, de acordo com Mello e Silva (2013), conforme Equação 1:

⁷<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>

$$P_Y = \overline{P_Y} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{P_{X_i}}{\overline{P_{X_i}}} \right) \cdot \frac{1}{n} \quad (1)$$

Em que, P_Y é a falha a ser preenchida no posto y , em mm, $\overline{P_Y}$ é a precipitação média observada no posto y para o período da falha, mm, P_{X_i} é a precipitação observada no posto vizinho x_i , mm, $\overline{P_{X_i}}$ é a precipitação média observada no posto vizinho x_i para o período da falha, mm, e n é o número de postos vizinhos empregados no preenchimento.

O cálculo da precipitação média na sub-bacia do rio Urucuia considerou a metodologia dos polígonos de Thiessen, de acordo com Mello e Silva (2013), conforme Equação 2:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{A_{bh}} \quad (2)$$

Em que, P_i é a precipitação do posto i , mm, A_i é a área de influência do posto i definida pelo traçado dos polígonos de Thiessen, km², e A_{bh} é a área total de drenagem, km².

A partir do balanço hídrico anual simplificado (Equação 3), foi computada a evapotranspiração anual na sub-bacia do rio Urucuia. Em razão da disponibilidade de dados de precipitação essa análise foi realizada para o período entre 1997 a 2011. O balanço hídrico anual, conforme Rodrigues *et al.* (2015), está descrito na Equação 3:

$$P = ET + D \quad (3)$$

Em que, P é a precipitação anual, mm, ET é a evapotranspiração anual, mm, e D é o deflúvio total anual, mm.

Com os dados de descarga líquida (vazão - Q) e de concentração de sedimentos totais em suspensão (C_s) da estação Arinos-Montante (43429998) procedeu-se a quantificação da descarga sólida em suspensão (C_{ss}), conforme Equação 4. Para essas análises foram selecionados dados do período de 1978 a 2014, tendo sido descartados os anos de 1990 a 1993, os quais continham mais de 5% de falhas.

$$C_{ss} = 0,0864 * Q * C_s \quad (4)$$

Em que, C_{ss} é a descarga sólida em suspensão, em $Mg.dia^{-1}$, Q é a vazão média diária, $m^3.s^{-1}$, C_s é a concentração de sedimentos em suspensão, em $mg.L^{-1}$, e 0,0864 é o fator de conversão de unidades.

Tendo sido quantificada a descarga sólida em suspensão pela aplicação da Equação 4 aos dados de descarga líquida, foi então obtida a produção específica de sedimentos, em $Mg.km^{-2}.ano^{-1}$ pela relação entre a descarga sólida em suspensão anual, em $Mg.ano^{-1}$, e a área de drenagem, em km^2 .

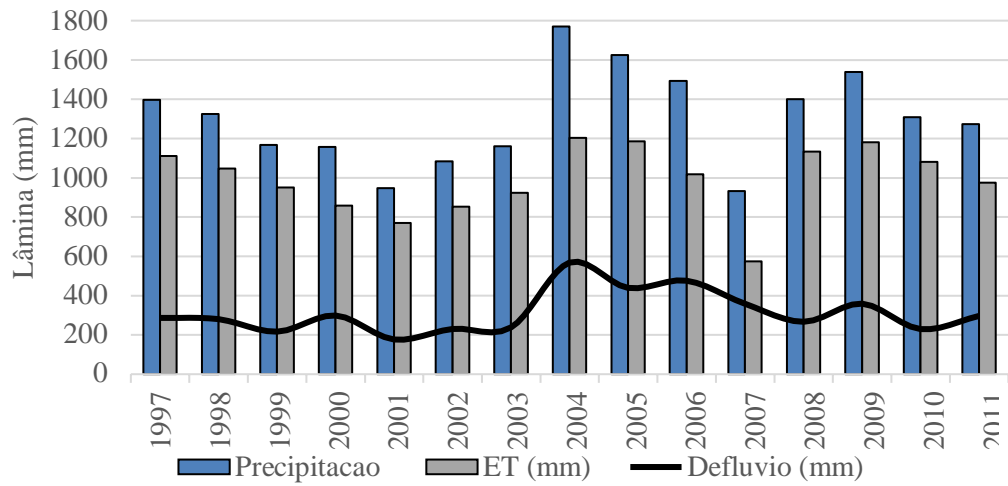
Com o objetivo de estudar a aplicabilidade da utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital para a estimativa da concentração de sólidos totais em suspensão analisou-se a reflectância das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor TM do satélite *Landsat 5*⁸. Foram selecionadas 22 cenas para datas com disponibilidade de dados observados de concentração de sólidos totais em suspensão (LORENZZETTI *et al.*, 2007). Para o processamento das imagens foi utilizado o *software* livre *Quantum Gis*. Procedeu-se o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre a reflectância Landsat 5 TM e os respectivos valores de concentração de sólidos totais em suspensão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média anual na sub-bacia do rio Urucuia é de 1.305,4 mm. O deflúvio total anual é de 314,9 $mm.ano^{-1}$, representando 24,1% da precipitação total. O Gráfico 1 apresenta os resultados do balanço hídrico anual. Com base neste balanço quantificou-se que a evapotranspiração anual é de 990,5 $mm.ano^{-1}$, o que equivale a 75,9% da precipitação. O Gráfico 2 traz a precipitação mensal. Observa-se sazonalidade característica do clima Aw, com inverno seco e verão chuvoso. Nos meses do verão (dez-jan-fev) ocorre 48,9% da precipitação anual, nos meses do outono (mar-abr-mai) ocorre 24,0%, no inverno (jun-jul-ago) ocorre 0,6% e na primavera (set-out-nov) ocorre 26,5%. Destaca-se o mês de dezembro com a maior lâmina média precipitada, e o meses de novembro (final da primavera) e março (início do outono) com importante precipitação. Verifica-se que a sazonalidade do regime de escoamento acompanha a da precipitação. A vazão mínima mensal ocorre nos meses de agosto e setembro, da ordem de 28 $m^3 s^{-1}$. A vazão máxima mensal ocorre em março, sendo de 251 $m^3.s^{-1}$.

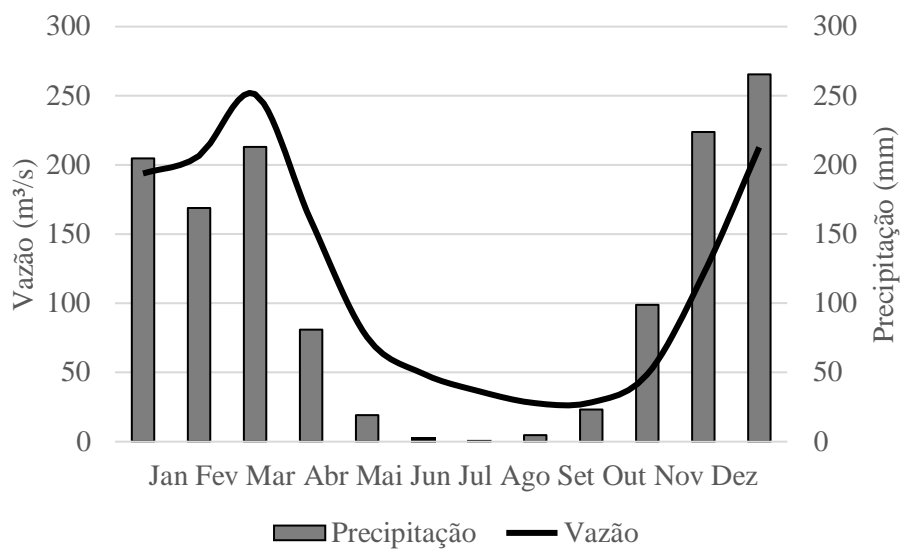
⁸<https://earthdata.nasa.gov/>

Gráfico 1 – Balanço hídrico anual na sub-bacia do Rio Urucua entre 1997 e 2011



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Gráfico 2 – Precipitação e vazão média mensal na sub-bacia do rio Urucua



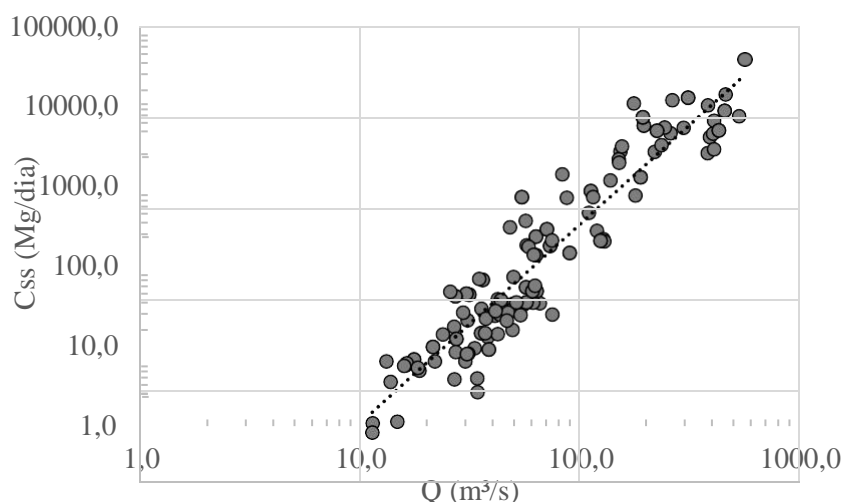
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O ajuste da curva de descarga sólida em suspensão para o rio Urucua na seção de Arinos-Montante está apresentado no Gráfico 3 e na Equação 5. Observa-se ajuste satisfatório, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,88.

$$C_{ss} = 0,0296 * Q^{2,1778} \quad (5)$$

Em que, C_{ss} é a descarga sólida em suspensão, em $Mg \text{ dia}^{-1}$, e Q é a vazão média diária, $m^3 \text{ s}^{-1}$.

Gráfico 3 – Ajuste da curva de descarga sólida em suspensão para a sub-bacia do rio Urucuia



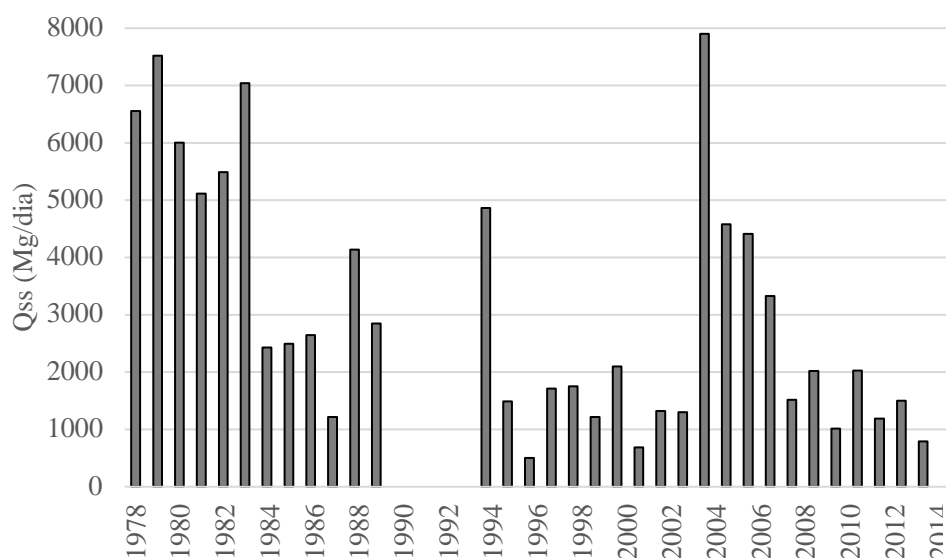
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A descarga sólida em suspensão média diária calculada para a seção de Arinos-Montante no rio Urucuia foi de $3.052 \text{ Mg.dia}^{-1}$ no período de 1978 a 2014. Lima *et al.* (2001) em estudo sobre a produção de sedimentos na bacia do rio São Francisco, obtiveram para o posto Arinos-Montante descarga sólida em suspensão média diária de $2.967 \text{ Mg.dia}^{-1}$ entre 1977 e 1999, valor este muito próximo ao encontrado no presente estudo.

Os Gráficos 4 e 5 mostram o comportamento da descarga sólida em suspensão média diária por ano e por mês, respectivamente. Observando-se os valores anuais, Gráfico 4, verificam-se variações entre 501 Mg.dia^{-1} (1996) e $7.900 \text{ Mg.dia}^{-1}$ (2004). A variação mensal, Gráfico 5, por sua vez apresenta dinâmica análoga à do escoamento (GRÁFICO 2).

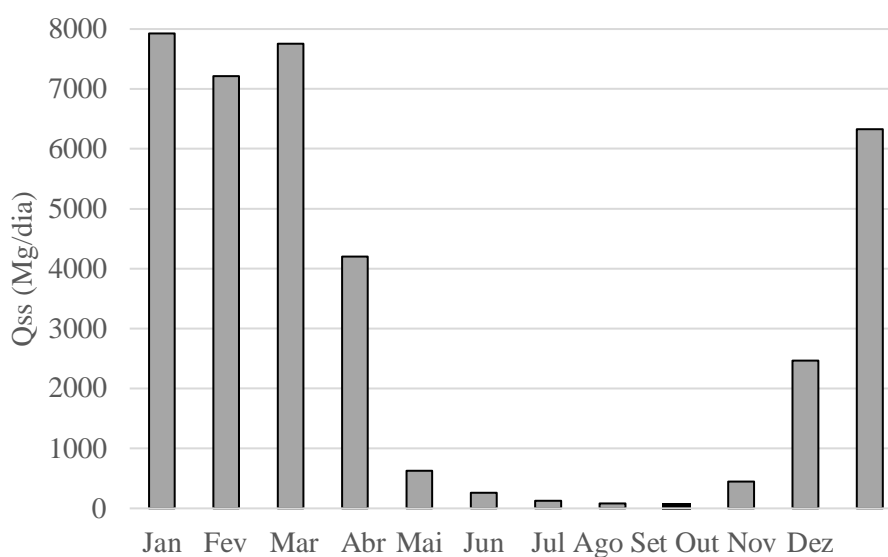
A produção específica de sedimentos é de $95,1 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Lima *et al.* (2001) obtiveram produção específica de sedimentos para a seção Arinos-Montante igual a $92 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, enquadrando a bacia na classe de produção de sedimentos “moderado”, que compreende o intervalo entre 70 e $175 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Gráfico 4 – Descarga sólida em suspensão média diária por ano para a seção de Arinos – Montante no rio Urucuia



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Gráfico 5 – Descarga sólida em suspensão média diária por mês para a seção de Arinos – Montante no rio Urucuia



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do coeficiente de correlação de Pearson entre os dados de reflectância Landsat 5 TM e a concentração de sólidos totais em suspensão na seção Arinos-Montante do rio Urucuia.

Tabela 2 – Coeficientes de Pearson entre os dados de reflectância Landsat 5, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a concentração de sólidos totais em suspensão

Banda	Coeficiente de Pearson
1 (azul)	0,202
2 (verde)	0,546
3 (vermelho)	0,587
4 (infravermelho próximo)	0,466
5 (infravermelho médio)	-0,274
7 (infravermelho médio)	-0,278

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Observa-se correlação positiva para a faixa do visível (bandas 1, 2, 3) e infravermelho próximo (banda 4), enquanto que para o infravermelho médio foi obtida correlação negativa. De acordo com Alfoldi e Munday (1978) e Hayakawa (2007) com o aumento da concentração de sedimentos em suspensão há o aumento da reflectância. Ainda de acordo com estes autores, para reduzidas concentrações de sedimentos em suspensão, comprimentos de ondas na faixa do azul (banda 2) e verde (banda 3) apresentam resposta importante. Por outro lado, para concentrações elevadas, a faixa do infravermelho passa a ser sensível. No presente estudo, a produção média anual específica de sedimentos totais em suspensão foi próxima ao limite inferior da classe “moderado” ($95,1 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$), tendo sido obtida melhor correlação com as bandas 2, 3 e 4, corroborando com o relatado anteriormente para reduzidas concentrações de sedimentos em suspensão.

4 CONCLUSÃO

Os dados de monitoramento de descarga líquida e de concentração de sólidos totais em suspensão da seção de Arinos Montante no rio Urucua possibilitaram ajustar uma curva chave de sedimentos em suspensão com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,88, possibilitando a estimativa da descarga sólida no período de 1978 a 2014.

A produção específica de sedimentos é de $95,1 \text{ Mg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. A descarga sólida em suspensão média calculada para a seção de Arinos-Montante no rio Urucua foi de $3.052 \text{ Mg.dia}^{-1}$, com expressiva variação anual, sendo de 501 Mg.dia^{-1} em 1996 e de $7.900 \text{ Mg.dia}^{-1}$ em 2004.

A análise da aplicabilidade de produtos de sensoriamento remoto orbital Landsat 5 TM mostrou coeficiente de correlação de Pearson maior que 0,5 para as bandas 2 e 3, evidenciando que há potencial de modelagem do transporte de sedimentos em suspensão por produtos de sensoriamento remoto orbital na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Nesse sentido recomenda-se o desenvolvimento de estudos futuros com ênfase em produtos de sensoriamento remoto de melhor resolução espacial e com base em dados de concentração de sedimentos totais em suspensão de toda a rede hidrossedimentológica da bacia do rio São Francisco.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**: séries históricas de estações. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- AGUIAR, A. M.; GOMES, L. C. Dinâmica sedimentar avaliada por sensoriamento remoto e sua influência no sistema aquático do reservatório de Itaipu-PR, Brasil. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 6., 2006, Goiania. **Anais [...]**. Goiania, 2006. p. 82 - 90.
- ALFÖLDI, T.T.; MUNDAY, J.C. Water quality analysis by digital chromaticity mapping of Landsat Data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Vancouver, v. 4, n. 2, p.108-126, 1978.
- ALVARES, C.A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARANUVACHAPUN, S.; WALLING, D.E. Landsat-MSS radiance as a measure of suspended sediment in the Lower Yellow River (Hwang Ho). **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 25, n. 2, p.145-165, jul. 1988.
- COIADO, E. M.; PAIVA, J.B.D.; SIMONS, S.J.C. Monitoramento da erosão e do transporte de sedimentos. *In: PAIVA, J. B. D. de.; PAIVA, E. M. C. de. (Org). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.
- HAYAKAWA, E.H. **Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do Alto Rio Paraná via imagens orbitais**: região de Porto São José - PR. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Escala 1:5.000.000.

KNAEPS, E. *et al.* A SWIR based algorithm to retrieve total suspended matter in extremely turbid waters. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã , v.168, p. 66–79, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2015.06.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425715300523>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LIMA, J. E .F. W. *et al.* **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio São Francisco**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANEEL; ANA, 2001.

LOBO, F. *et al.* Distribution of artisanal and small-scale gold mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the past 40 years and relationship with water siltation. **Remote Sensing**, Basel, v. 8, n.579, 2016. DOI: 10.3390/rs8070579. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/7/579>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LORENZZETTI, J. A. *et al.* Uso de imagens LANDSAT como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO*, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3429-3436.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MINELLA, J.P.; MERTEN, G.H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3. 2011.

MONTANHER, O.C. *et al.* Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5 /TM. **International Journal Applied Earth Observation and Geoinfomation.**, v.29, p. 67-77, 2014. DOI: 10.1016/j.jag.2014.01.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414000038>. Acesso em: 15 jan. 2019.

NOVO, E. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

PAIVA, J.B.D. Métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios. *In*: PAIVA, J. B. D; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos , 2001.

RITCHIE, J. C.; ZIMBA, P. V.; EVERITT, J. H. Remote sensing techniques to assess water quality. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 69, n. 6, p.695-704, jun. 2003.

RODRIGUES, J. A. M. *et al.* indicadores hidrológicos para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 4, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i4.47923>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/47923>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SÁ, I.B.; SILVA FILHO, P. P.; SILVA, D. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas para o estudo da sedimentação do Rio São Francisco. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 2004, Aracaju. **Anais** [...] Aracaju, 2004.

UNITED STATES. Geological Survey - USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15 jan. 2019.

UNITED STATES. National Aeronautics and Space Administration - NASA. **Earth Data**. Disponível em: <https://earthdata.nasa.gov/>. Acesso em: 15 jan. 2019.

VESTENA, L. R. Análise da dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica no sul do Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p.413-424, 2009.

YANG, C. T. Bed-load transport. *In*: YANG, C. T. **Sediment transport: theory and practice**. New York: McGraw-Hill, 1996. p. 90-121.