



DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTO ATRAVÉS DA CURVA-CHAVE SEDIMENTOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUAIA-GO

Aldrei Marucci Veiga^{1} & Alexandre Kepler Soares² & José Alexandre Pinto Coelho Filho³ & Davi Nascimento Souza⁴ & Wellington Nunes de Oliveira⁵*

Resumo – O processo de erosão em uma bacia hidrográfica pode trazer muitos problemas, removendo a camada superficial do solo reduzindo sua profundidade. O sedimento é transportado para os corpos d'água, prejudicando a qualidade das águas, além de servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais. O objetivo deste estudo é apresentar as curvas-chaves dos dados hidrossedimentológicos coletados no Rio Araguaia nas dez estações fluviométricas e sedimentométricas, pertencentes a ANA e operadas pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM nos períodos 1977 a 2014. A curva-chave de sedimentos relaciona valores de descarga sólida a valores de vazão. Entre os métodos mais utilizados para o traçado da curva e a obtenção da equação, estão o método do traçado visual e o método da regressão linear, e a relação mais comum é a curva-chave de sedimentos em forma de potência. As estações a jusante apresentam maior produção de sedimento que as de montante. Essa produção de sedimento é alterada quando sofre influência humana, quando o rio passa pela cidade. As equações geradas pelo Excel obtiveram bons ajustes na escala log-log e tiveram boa representação nas curvas-chaves sedimentométricas. Conclui-se que as curvas-chaves geradas para as estações foram representativas para as séries temporais estudadas.

Palavras-Chave – Sedimentometria, Rio Araguaia, bacia hidrográfica

DETERMINATION OF SEDIMENT PRODUCTION, THROUGH BOW KEY SEDIMENTOMETRIC, THE WATERSHED OF ARAGUAIA-GO RIO.

Abstract – Erosion processes in a watershed can bring many problems, because they remove the top layer of soil reducing its depth. The sediment is transported to water bodies, damaging the quality of water in addition to serving as a vehicle to other pollutants that are adsorbed to these materials. The aim of this study is to present the key curves of hydrosedimentological data collected in the Araguaia River in ten fluviometric and sedimentometric stations belonging to ANA and operated by the Geological Survey of Brazil-CPRM in the periods 1977 to 2014. The key curve sediment related values solid discharge flow values. Among the most widely used methods for tracing the curve and obtaining the equation, they are the method of visual layout and the linear regression method, and the most common relationship is the key power curve-shaped sediment. Downstream stations have higher production of sediment that upstream. The sediment production undergoes changes when human influence, when the river runs through town. The equations generated by Excel obtained good fits in log-log scale and had good representation in sedimentometric key curves. It follows that the curves generated keys to stations were representative for the studied time series.

Keywords – Sedimentometry, Araguaia river, hydrographic basin.

¹ Msc. Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil). aldreiveiga@cprm.gov.br.

² Doutor, Professor Adjunto, UFG (Universidade Federal de Goiás). aksoares@gmail.com.

³ Msc. Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil). alexandre.coelho@cprm.gov.br.

⁴ Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil). davisouza@cprm.gov.br.

⁵ Msc. em Engenharia de Meio Ambiente, UFG (Universidade Federal de Goiás). wellington.wno@gmail.com.



INTRODUÇÃO

Os processos de erosão e sedimentação em uma bacia hidrográfica podem resultar em impactos na bacia, uma vez que a erosão remove a camada superficial do solo e reduz sua profundidade. O sedimento é transportado para os corpos d'água, prejudicando a qualidade das águas, além de servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais (PAIVA, 2003). A erosão é um conjunto de processos, segundo os quais o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido da superfície do solo, conseqüentemente, alterando-a localmente (NAGLE *et.al.*, 2015).

O transporte de sedimento é iniciado quando as partículas do solo são transportadas e entram em contato com o fundo do leito pelo efeito da gravidade, e então têm-se a atuação de forças hidrodinâmicas existentes no fundo dos cursos d'água (BORDAS e SEMMELMANN, 2011).

A necessidade de se conhecer o transporte de sedimentos (ou descarga sólida) efetuado por um rio é de interesse em diversos campos da engenharia e das ciências de meio ambiente. Como exemplo, pode-se citar a implantação de um empreendimento hidrelétrico, onde a quantidade de sólidos levados por arraste, rolamento ou saltação (carga de fundo) é uma importante variável para a estimativa da vida útil de um reservatório, e para a avaliação das transformações que o canal fluvial poderá sofrer na parte imediatamente a montante do remanso do corpo de água formado pela barragem. Caso parte desse material venha a chegar à barragem, os grãos poderão passar pelas tomadas de água e provocar um desgaste adicional nas turbinas, podendo resultar na diminuição de sua vida útil. Por outro lado, a retenção da carga de fundo, pode provocar significativas mudanças na parte do canal situada à jusante da usina, uma vez que a água vertida não dispõe de sedimentos e, como o aumento da energia cinética do fluxo transportado, poderá provocar erosões no curso de água (VEIGA, 2014).

Dessa maneira, pode-se dizer que o processo mencionado é bastante dinâmico em função da variação das características do fluxo, segundo diferentes condições hidrológicas e morfológicas inerentes ao curso de água. Pode-se perceber que a questão do transporte de sedimentos é complexa e envolve a combinação e interação de diversos aspectos em uma bacia hidrográfica. Por esse motivo, o presente estudo busca contribuir para a geração de conhecimento e quantificação do processo de formação de sedimentos na bacia do rio Araguaia por meio da análise de estações hidrossedimentológicas instaladas em sua bacia.

Este trabalho tem como objetivo elaborar as curvas-chave de descarga sólida através da análise das séries históricas dos dados hidrossedimentológicos registrados nas estações fluviométricas e sedimentométricas localizadas no rio Araguaia.

MATERIAL E MÉTODOS

Metodologia para o estudo Hidrossedimentológico

A elaboração das curvas-chave de descarga sólida, e a obtenção das respectivas equações, é feita por meio de ajuste matemático seguindo modelo potencial. Foram estudadas dez estações hidrossedimentológicas ao longo do rio Araguaia, as quais são pertencentes à rede hidrométrica gerenciada pela ANA e operada pela CPRM, a saber: Torixoréu (código 24200000); Barra do Garças (código 24700000); Araguaiana (código 24850000); Aruanã (código 25200000); Luiz Alves (código 25950000); São Félix do Araguaia (código 26350000); Barreira da Cruz (código 26800000); Conceição do Araguaia (código 27500000); Xambioá (código 28300000); Araguatins (código 28850000).

De acordo com Carvalho (2008), a amostragem de sedimentos pode ser feita pela aplicação do método pontual ou do método por integração na vertical. O método de integração por vertical consiste no procedimento em que um amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito constante



entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito. No presente trabalho será adotado o método por integração na vertical por ser indicado em rios com mais de 1,5 metros de profundidade, proporcionando melhor amostragem em rios profundos.

Para se determinar a concentração média de sedimentos na seção transversal de interesse, deve-se verificar o espaçamento entre as verticais nas quais serão realizadas as amostras. A concentração final de sedimentos corresponderá à média ponderada das concentrações de sedimentos em suspensão em áreas parciais, definidas pelas verticais especificadas, cujos pesos são as vazões líquidas em cada área parcial da seção transversal total (soma das áreas parciais medidas) na seção transversal de interesse no rio.

O United States Geological Survey (USGS) utiliza dois métodos para definir a localização e o espaçamento das verticais de amostragem de sedimentos em suspensão. Um é baseado no **IGUAL INCREMENTO DE DESCARGA LÍQUIDA (IIDL)** e o outro é baseado no **IGUAL INCREMENTO DE LARGURA (IIL)** no rio. Neste projeto foi adotado o método de amostragem em diversas verticais. O método IIDL quando o espaçamento nas verticais é devido aos mesmos valores de vazões, e o IIL ao mesmo espaçamento entre as verticais ao longo das margens do rio.

Cálculos da Descarga Total de Sedimentos

A descarga sólida total representa toda a carga de sedimentos em trânsito no curso d'água em uma seção transversal, incluindo material de arraste, saltitante e em suspensão, abrangendo todas as faixas granulométricas. Os dois métodos que são empregados com maior frequência são: Método Simplificado de Colby e o Método Modificado de Einstein. A principal diferença entre as duas metodologias de cálculo é que o método de Colby consiste em uma metodologia de cálculo semi-empírica, uma vez que utiliza ábacos e dados de campo e laboratoriais. Em contrapartida, o Método Modificado de Einstein baseia-se em complexas equações cujas variáveis são difíceis obtenção. No presente estudo foi aplicado o Método Simplificado de Colby em função da facilidade da aplicação, e do mesmo atender em termos metodológicos os objetivos propostos neste trabalho.

Curva de Transporte de Sedimento CCS (Curva Chave)

A curva-chave de sedimentos relaciona valores de concentração de sedimentos ou descarga sólida total (ton/d) a valores de vazão (descarga líquida) (m³/s). A curva será tanto mais representativa quanto maior o número de pontos medidos e maior variação de vazão alcançada entre os valores mínimos e máximos. Um mesmo posto com grande quantidade de dados pode apresentar curvas distintas, uma para o período de estiagem e outra para o período de chuvas (Carvalho, 2008).

Entre os métodos mais utilizados para o traçado da curva e a obtenção da equação, estão o método do traçado visual e o método da regressão linear, e a relação mais comum é a curva-chave de sedimentos em forma de potência (Carvalho, 2008). Para evitar as superestimativas das concentrações de sedimentos a altas vazões, o que pode levar à erros significativos nos cálculos da carga anual e da descarga efetiva, normalmente é sugerido o ajuste de um segundo segmento linear para as vazões mais altas.

As curvas-chave de sedimentos possuem várias formas, portanto a mais utilizada é:

$$Q_{ss} = a \times Q^b \quad \text{equação (1)}$$

em que:

a e b são constantes de ajuste;

Q_{ss} é descarga sólida em suspensão (t/dia).



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada estação de monitoramento em análise, foram elaborados gráficos em escala logarítmica relacionando os dados de descarga líquida total (eixo das ordenadas) com os valores de descarga líquida (eixo das abscissas). Foi realizado um ajuste potencial aos dados observados, conforme equação (2). Por meio desse ajuste, pode-se obter uma relação matemática direta entre dados de descarga sólida e os dados de descarga líquida.

$$Y = a \cdot X^b,$$

equação (2)

em que:

Y = descarga líquida (m³/s);

X = descarga sólida total (ton/dia);

“a”, “b” são variáveis definidas pela equação potencial.

Os gráficos de 1 a 10 apresentam as medições com suas respectivas linhas de tendência para cada estação.

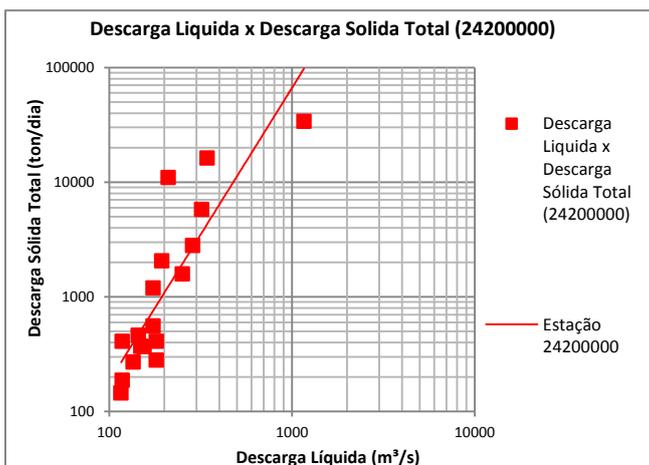


Gráfico 1- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 24200000)

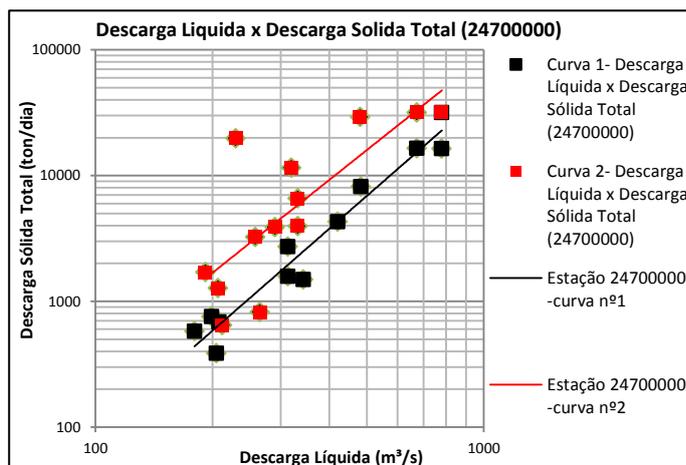


Gráfico 2- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 24700000)



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília - DF

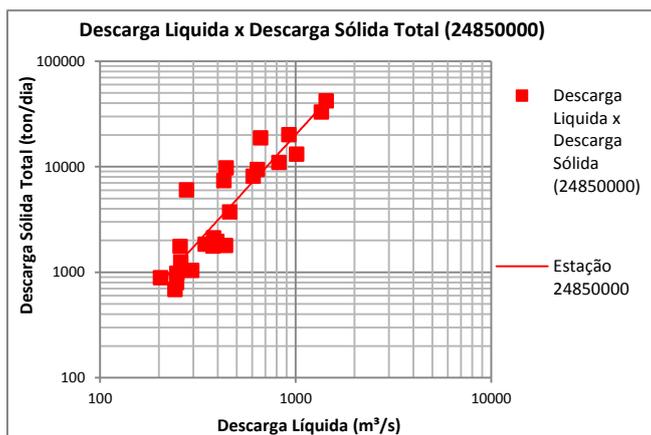


Gráfico 3- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 24850000)

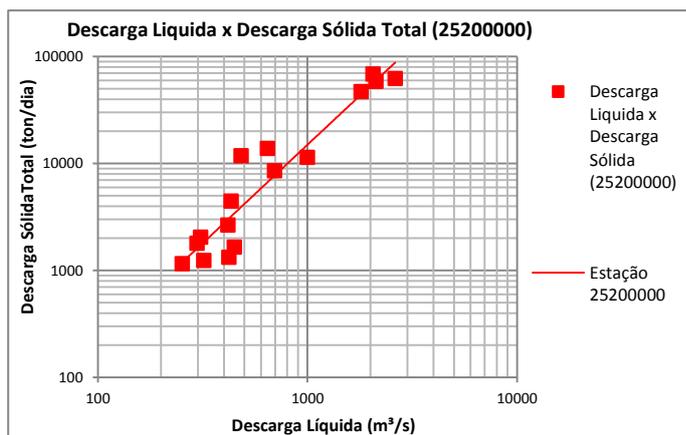


Gráfico 4- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 25200000)

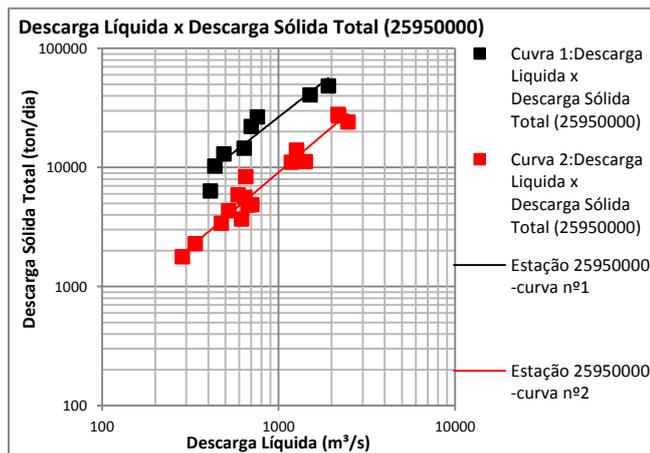


Gráfico 5- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 25950000)

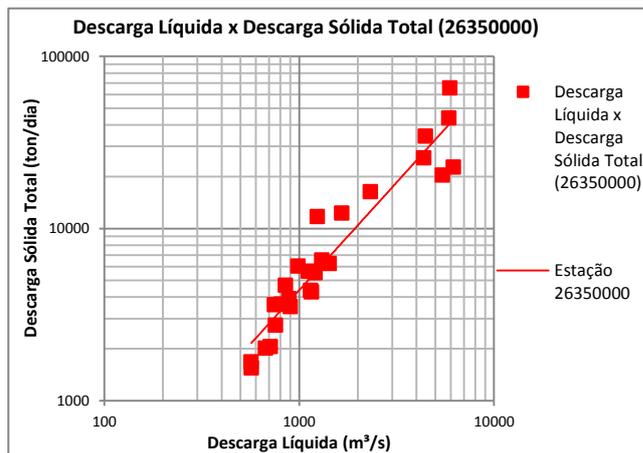


Gráfico 6- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 26350000)

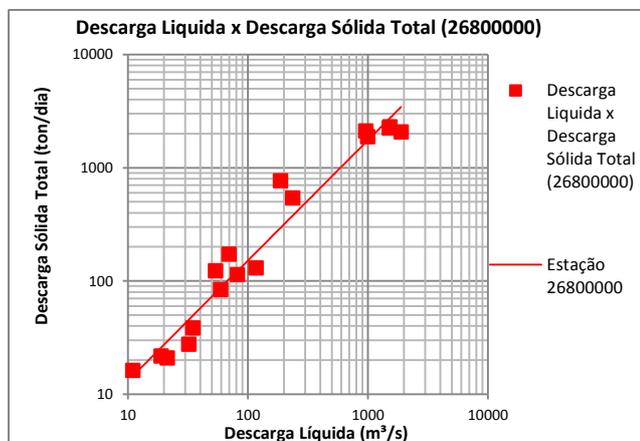


Gráfico 7- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 26800000)

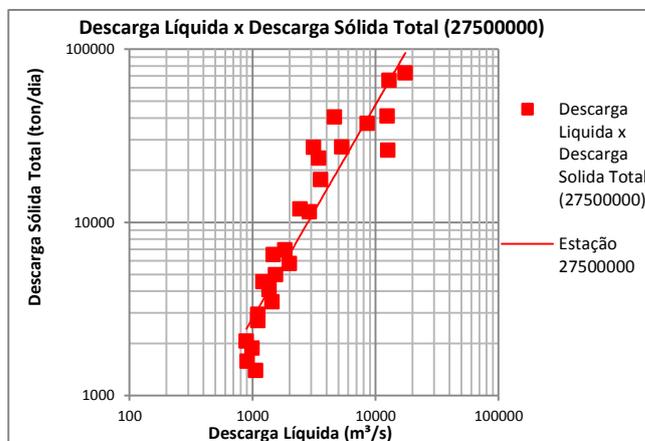


Gráfico 8- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 27500000)



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília - DF

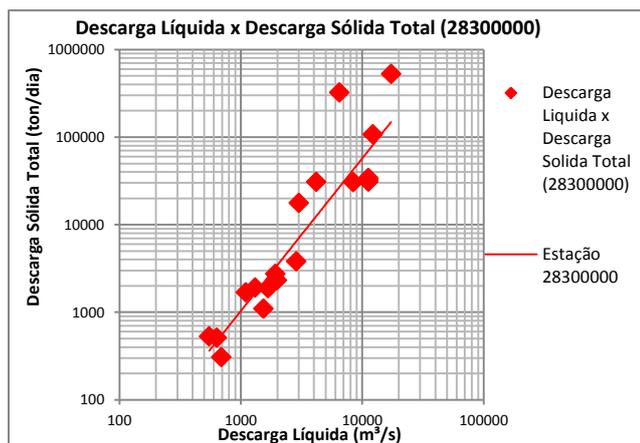


Gráfico 9- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 28300000)

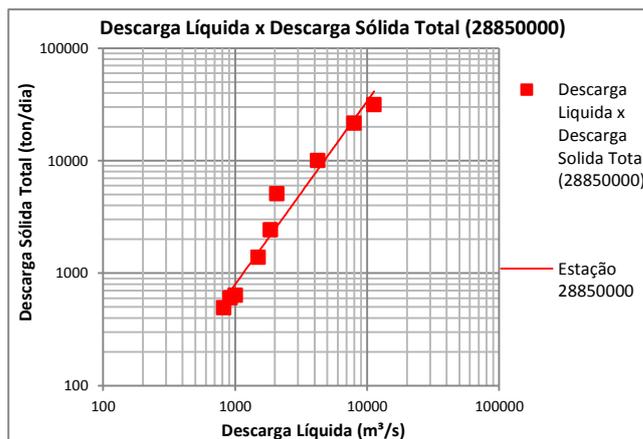


Gráfico 10- Descarga Líquida x Descarga Sólida Total (Estação código: 28850000)

Na Tabela 1, estão demonstrados os coeficientes obtidos pelo ajuste potencial aos dados observados, conforme apresentado nos Gráficos 1 a 10.

Tabela 1- Variáveis obtidas pelo método de traçado visual para cada estação em estudo:

Estações	Coeficientes		Quantidade de curva	Amplitude	
	a	b			
24200000	0,0014	2,5585	1	18/07/2006 a 29/09/2014	
24700000	0,0004	2,695	2	Curva1: 15/09/2000 a 15/04/2000	Curva 2: 16/04/2007 a 27/09/2014
	0,0038	2,4545			
24850000	0,0159	2,0337	1	15/09/2000 a 27/09/2014	
25200000	0,0458	1,8381	1	25/07/1978 a 26/09/2014	
25950000	8,615	1,1625	2	Curva1: 29/06/2000 a 10/11/2005	Curva 2: 11/11/2005 a 13/06/2014
	1,5583	1,2554			
26350000	0,7688	1,2524	1	11/05/2000 a 15/10/2014	
26800000	1,1368	1,0627	1	01/07/2005 a 21/08/2014	
27500000	0,551	1,2344	1	25/04/1977 a 28/08/2014	
28300000	0,0213	1,563	1	25/12/1978 a 15/10/2014	
28850000	0,0102	1,6296	1	17/08/2007 a 10/10/2014	

O Gráfico 11 apresenta o conjunto das curvas-chave de descarga sólida elaboradas para as estações em análise no presente estudo com as respectivas amplitudes. Pode-se verificar que as estações de códigos 24700000 e 25950000, obtiveram duas curvas-chaves devido às mudanças nas vazões em períodos distintos para cada, ou seja, cada curva foi separada por período.

A estação Torixoréu (código 24200000) é a estação mais a montante de estudo, e comparando seus dados em relação àqueles registrados na estação mais a jusante, Araguatins (código 28850000), verifica-se que para um mesmo valor de vazão, há acréscimo na descarga sólida total, na estação de montante até de jusante. É de se esperar essa produção de sedimento ao longo da bacia. Tal fato também pode ser constatado pelas inclinações das retas das respectivas curvas chaves sedimentométricas, ou seja, quanto menos inclinada a reta menor será a proporção da produção de sedimento, gerando a descarga sólida menos acentuada. Essa comparação é estendida para quase todas as estações, ou seja, comparando a estação a montante com a seguida de jusante, há aumento na produção de sedimento.

A cidade Barra do Garça está a montante da estação 24850000, onde processo de urbanização gera grande quantidade de sedimento, o qual está sendo carregado ao rio, e esse valor é percebido na estação

24850000., portanto, a descarga sólida nessa última estação é maior em relação à estação seguidamente a jusante 25200000. A urbanização provoca intensas alterações no uso do solo, provocando erosão e conseqüentemente maiores valores de sedimentos que chega ao manancial. A medida que vai seguindo o rio a jusante, o sedimento vai sendo depositado e, conseqüentemente, a produção de sedimento em 25200000 é menor.

Para o valor de descarga líquida de 1.280 m³/s, comum às estações analisadas, observa-se que aquela que registrou maior produção de sedimentos foi a estação Araguatins (código 28850000), na qual verifica-se um valor da ordem de 1.344 ton/dia.

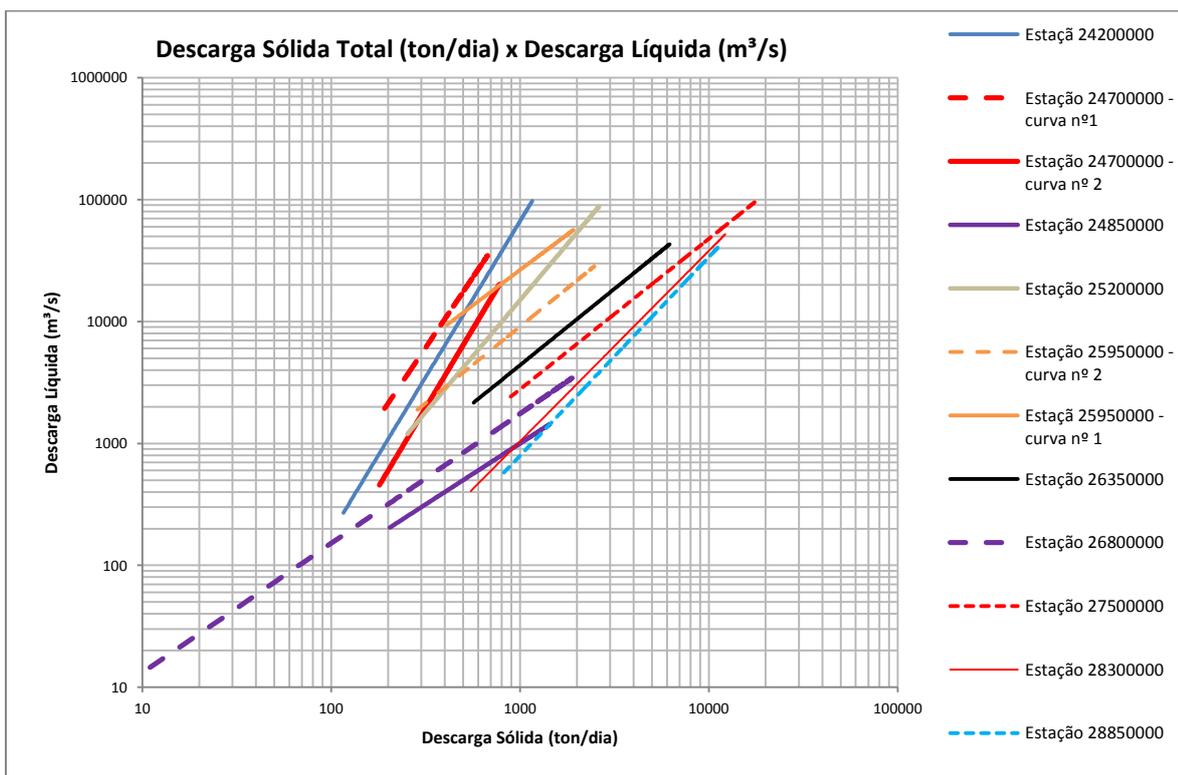


Gráfico 11- Curvas-chaves sedimentométricas para todas as estações em estudo.

CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou a análise dos dados registrados em estações hidrossedimentológicas na bacia do rio Araguaia, as quais pertencem à rede hidrométrica gerenciada pela ANA e são operadas pela CPRM. Os dados de descarga sólida e líquida registrados pelas estações foram postos em formato gráfico, onde foi possível um ajuste potencial aos dados observados. Por meio desse ajuste, foram geradas as curvas-chave sedimentométricas.

As estações de jusante apresentam maior produção de sedimento do que as de montante, porém isso não ocorre quando há a interferência humana, ou seja, na estação logo após a cidade há uma produção maior de sedimento do que a estação logo a jusante a esta. Devido à urbanização, o solo fica cada vez mais compactado e impermeabilizado, dificultando a infiltração da chuva e causando maior escoamento superficial, resultando em maior aporte de sedimento ao curso de água da macia. Portanto, a alteração no uso e ocupação do solo tem causado aumento do sedimento que chega ao curso d'água.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BORDAS, M.P.; SEMMELMANN, F.R. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI, C.E.M. “Hidrologia: ciência e aplicação”. 2.ed. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. P.915-43.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ªed., ver., atual. e ampliada. Rio de Janeiro-RJ. Interciência, 2008.

NAGLE, G.N.; FAHEY, T.J.; LASSOIE, J.P. **Management of Sedimentation in Tropical Watersheds**. Disponível em: http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/management%20sediment%20tropical%20watersheds.pdf. Acessado: 09/04/2015.

PAIVA, E.M.C.D. **Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas**. In: PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. (Orgs.). “Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas”. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p.493-506.

VEIGA, A.M. **Calibração hidrossedimentológica do modelo SWAT na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia-GO**. Universidade Federal de Goiás-UFG. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente-PPGEMA. Goiânia-GO, 2014. 125p.
