

DESCARGA SÓLIDA DO RIO ITAJAÍ DO SUL MEDIANTE APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DE COLBY

Alex Sandro Baucke¹
Jarbas Cleber Ferrari²
Gean Paulo Michel³
Willian Jucelio Goetten⁴

RESUMO

O monitoramento hidrossedimentológico é uma ferramenta importante na supervisão a ser realizada em uma bacia hidrográfica, visto que os corpos hídricos são utilizados nos mais variados fins, como abastecimento público, navegação, irrigação, entre outros. Como a sub-bacia do Itajaí do Sul não apresenta este acompanhamento, buscou-se neste trabalho mediante utilização de uma ferramenta computacional, estimar a descarga sólida total diária da sub-bacia em um período de dois anos. Ainda, como item complementar, se estabeleceu uma relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão. O coeficiente de determinação encontrado para esta relação foi de 0,98. Para a descarga sólida total, em 2014 constatou-se um transporte de sedimentos aproximado na foz do rio Itajaí do Sul de 1,29 milhões de toneladas. Deste modo, acredita-se que este estudo possa contribuir como uma ferramenta de gestão na sub-bacia do rio Itajaí do Sul.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia. Descarga Sólida Total. Turbidez. Bacia Itajaí do Sul.

¹ Mestre em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: alex.baucke@gmail.com

² Departamento de Engenharia Sanitária. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: jarbas.ferrari@udesc.br

³ Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (UFRGS). E-mail: gean.michel@ufrgs.br

⁴ Departamento de Engenharia Sanitária. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: willian.j.goetten@gmail.com

SOLID DISCHARGE OF THE SOUTH ITAJAÍ RIVER USING THE COLBY'S SIMPLIFIED METHOD

ABSTRACT

The hydro sedimentological monitoring is an important tool in the supervision of a hydrographic basin, since the water bodies are used in the most varied purposes, like public supply, navigation, irrigation, among others. As the South Itajaí sub-basin this monitoring has not yet been performed, this work aims to estimate the daily total solid discharge of the sub-basin over a period of two years, using a computational tool. In addition, a relation between the turbidity and the concentration of suspended sediments is established. The coefficient of determination obtained is 0.98. The results for the sediment transport in the South Itajaí River in year 2014 was approximately 1.29 million tons. It is concluded that this study can contribute as a management tool in the sub-basin of the South Itajaí River.

Keywords: Hydro sedimentology. Total solid discharge. Turbidity in South Itajaí basin.

1 INTRODUÇÃO



Os processos erosivos são fenômenos naturais que causam o desgaste, desprendimento e transporte de partículas de solo devido as ações da água, dos ventos e outros (BERTONI; NETO, 2014). As ações antrópicas de retirada da cobertura vegetal, modificação na dinâmica dos corpos hídricos e a exploração insustentável pela agricultura e pecuária estão acentuando e acelerando este processo. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação (FAO, 2015), a cada ano a erosão hídrica ocasiona a perda aproximada de 20 a 30 Gt de solo. Além disso, considerando apenas o continente europeu, a erosão severa é responsável pela perda 0,43% da produtividade agrícola, representando um valor monetário de 1,25 bilhão de euros (PANAGOS et al., 2018).

Os impactos decorrentes da erosão hídrica podem englobar várias frentes de uma bacia hidrográfica, como relacionadas a economia, meio ambiente e meio social. Entre estes impactos está o acúmulo de sedimentos em áreas de sedimentação, alterando a seção transversal do corpo hídrico e conseqüentemente ocasionando o aumento das planícies de inundação (MAHABALESHWARA; NAGABHUSHAN, 2014). Portos, barragens e leitos navegáveis também acabam sendo influenciados

por este assoreamento acelerado, demandando a necessidade de realização de dragagens, destinação do material retirado e tratamento, quando contaminado por petróleo, metais pesados e outros agentes contaminantes (DIAS, 1999). Os custos devido as inundações por rios e marés no Reino Unido alcança valores anuais de 1,3 bilhão de euros, podendo ultrapassar até 3 bilhões em alguns anos (UNITED KINGDOM, 2012).

Já na agricultura, os impactos da erosão estão associados a mudanças físicas, químicas e biológicas do solo, tornando-se necessárias complementações de nutrientes nas lavouras, elevando o custo de produção (TELLES, 2013). Bauer e Quinton (2019) relatam que os custos decorridos da degradação do solo no Inglaterra são de aproximadamente 1,2 bilhão de euros por ano, sendo que 47% deste montante é relacionado a perda do conteúdo orgânico do solo. Já na República Tcheca, o impacto financeiro da perda de solo é de aproximadamente 0,7 bilhão de euros por ano.

Entre os impactos ambientais, destaca-se que no aporte substancial de sedimentos aos corpos hídricos, ocasionará o desequilíbrio nas concentrações de oxigênio dissolvido e a turvação da água, prejudicando o desenvolvimento da fauna e flora aquática. Ainda, a má qualidade e a baixa disponibilidade de água para o abastecimento público, assim como a redução da capacidade de produção energética devido ao assoreamento dos reservatórios, podem prejudicar seriamente a qualidade de vida da população, tornando-se também um problema social (BARROSO; SILVA, 1992).

Isto pode ser visualizado com clareza na Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Rio do Sul (SC), que se localiza próximo ao exutório do rio Itajaí do Sul, na qual, o grande aporte de sedimentos no corpo hídrico em períodos pós chuva, influencia na qualidade e quantidade de água tratada, além de representar um custo mais elevado no tratamento.

Os métodos de quantificação da Descarga Sólida em Suspensão (DSS) e da Descarga Sólida Total (DST) são bastante diversificados, e a aplicação de um ou outro, deverá considerar as características da bacia hidrográfica e do curso hídrico, além da disponibilidade dos dados necessários. Buscando determinar a produção de sedimentos ao longo da bacia do rio do Coco, em Tocantins, Almeida (2017) quantificou produção de sedimentos nas principais sub-bacias. Assim, constatou que as regiões da alta bacia são responsáveis pela maior produção de sedimentos. Já

Garrido et al. (2018), utilizando o método simplificado de Colby, determinou curvas-chave representativas da DSS e DST para a bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu. Ainda, Miranda et al. (2014) utilizam o método simplificado de Colby para determinar o transporte dos sólidos em vários pontos a montante de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), no município de Mogi-Guaçu (SP), e assim, identificar em quais lugares há uma maior deposição de sólidos.

O método simplificado de Colby vem sendo amplamente aplicado tanto por agências nacionais como por pesquisadores, como Bernal (2009); Vanzela et al. (2009); Silva (2013); Miranda et al. (2014); Almeida (2017) e ; Garrido et al. (2018). Isto, devido ao modelo ser de menor complexidade em seus cálculos e requerer a utilização de menos dados de entrada, que muitas vezes se encontram em extrema carência, devido à ausência de postos de medições no país. Portanto, resultando em um trabalho mais econômico e fácil de ser realizado (CARVALHO, 2008; MIRANDA et al, 2014).

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi determinar a nível diário a DSS e estimar a DST do Rio Itajaí do Sul (SC), mediante o Método Simplificado de Colby, utilizando dados de concentração de sólidos em suspensão (CSS) obtidos a partir de ensaios realizados com amostras da ETA de Rio do Sul (SC). Mediante os resultados, foi possível obter um acompanhamento diário por aproximadamente dois anos, e não apenas para dias isolados, como o encontrado na maior parcela dos estudos baseados em metodologias semelhantes. Ainda, como objetivo secundário, se estabeleceu uma correlação entre a turbidez e a CSS.

2 METODOLOGIA

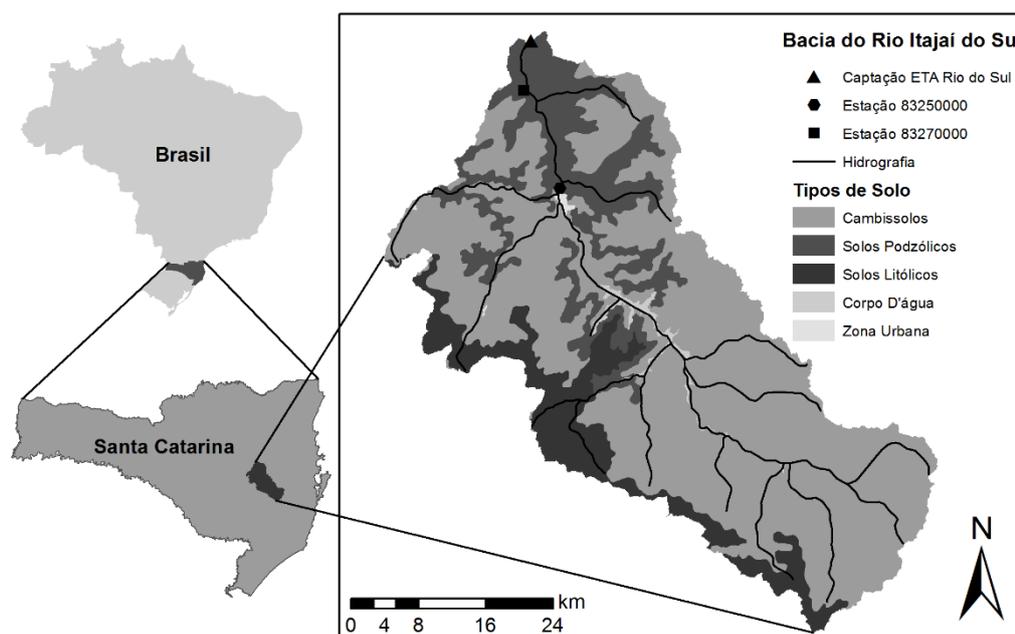
2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itajaí pertence à região hidrográfica do Atlântico Sul. Localizada no Estado de Santa Catarina (Brasil) ela se divide em sete sub-bacias, entre elas a do presente estudo, a sub-bacia do Itajaí do Sul. A sub-bacia do Itajaí do Sul (Figura 01) possui uma área de 2020 km², tendo a nascente do seu principal rio no município de Alfredo Wagner, em uma altitude de 1050 m, com uma distância da nascente até a foz de cerca de 289 km. O rio principal, Itajaí do Sul, tem 101 km de extensão, sendo sua foz no município de Rio do Sul (FAAVI, 2010).

O ponto de localização da captação de água para abastecimento público na qual foram realizadas as coletas, assim como a localização das estações fluviométricas consultadas, estão demonstrados na Figura 01. O ponto de captação da ETA de Rio do Sul situa-se próximo à foz do Rio Itajaí do Sul.

De acordo com a classificação feita por Koëppen e Geiger (1928), o Alto Vale do Itajaí, onde a sub-bacia do rio Itajaí do Sul está inserida, é considerado clima subtropical constantemente úmido, ou seja, Cfa. Mas de acordo com Panfolfo et al. (2002), nesta região algumas áreas podem ser consideradas como de clima temperado, ou Cfb. A temperatura média anual varia entre 17,0 e 19,1 °C. Ainda, ressalta-se a predominância da Unidade Geomorfológica Patamares do Alto Rio Itajaí, que atingem altitudes de 900 m, com elevações ultrapassando 1200 m, na qual apresentam um relevo com vales profundos na forma de “v”, encostas declivosas e cursos de água com velocidade acentuada (EPAGRI, 1999).

Figura 01 - Mapa da sub-bacia e composição do solo



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

De acordo com Panfolfo et al. (2002), os níveis médios anuais históricos de precipitação no Vale do Itajaí variam de 1100 a 1900 mm. Vibrans (2003), analisou o uso do solo nas sub-bacias do Itajaí mediante o uso de imagens de satélites do ano de 2000, na qual é possível aferir que as florestas somam 54,8% da área da bacia, representando um número expressivo. Entretanto, analisando-se independentemente

a sub-bacia do rio Itajaí do Sul, este número é consideravelmente inferior, chegando a 756,6 km² ou 37,2% de toda a sub-bacia. Na Tabela 01 é possível verificar os demais usos aplicados na bacia.

Tabela 01 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Itajaí do Sul

Tema	Itajaí do Sul	
	km ²	%
Inicial	17,9	0,9
Capoeira	510,5	25,2
Floresta	756,6	37,3
Eucalipto	4,5	0,2
Pinus	19,0	0,9
Arrozeira	37,7	1,9
Lav./Pastagem	574,9	28,4
Curso d'água	4,6	0,2
Urbana	32,1	1,6
Não classificada	68,1	3,4
Total	2025,9	100

Fonte: Adaptado de (VIBRANS, 2003).

Pelo sistema HidroWeb, que é gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foram obtidos dados de vazão e de cotas das estações fluviométricas de Itaporanga e Aurora, cujo código é 83250000 e 83270000, respectivamente. A localização espacial destas estações também se encontra na Figura 01. Na Tabela 02 é detalhado a origem de todos os dados analisados, assim como sua área de contribuição da bacia e o período disponível (ano).

Tabela 02 - Origem, cronologia e informações sobre os dados utilizados

Estação	83250000	83270000	83270000	ETA Rio do Sul
Origem	HidroWeb	HidroWeb	CESAP	Dados Internos
Área da Bacia (km²)	1650	1990	1990	2020
Período de dados de Cota	1994 - 2016	2009 - 2012	2012 - 2016	-
Período de dados de Vazão	1994 - 2004	2009 - 2012	2015 - 2016	-
Período de dados de Turbidez	-	-	-	2014 - 2016
Outros*	-	2009 - 2012	-	-

*Outros = Largura, Velocidade Média, Área da Seção Transversal.

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Como pode ser verificado na Tabela 02, a estação 83250000 possui dados de vazão atualizados somente até 2006. Sendo assim, visando estabelecer um comparativo entre as vazões das duas estações fluviométricas, foi necessário a verificação da curva-chave e da equação utilizada nos dados da HidroWeb, a fim de aplicá-la aos dados mais recentes de cota e obter a vazão até o ano de 2016. Já os dados referentes a estação 83270000, que se localiza a aproximadamente 9,6 km a montante da foz do rio Itajaí do Sul, também foram obtidas pelo sistema gerido pela ANA. Entretanto, devido a indisponibilidade de informações mais recentes, foi contatado a empresa que administra a estação fluviométrica, o Consórcio Empresarial Salto Pilão (CESAP), que forneceu os dados de cota e vazão até o ano de 2016. Porém, tendo em vista que os dados de vazão fornecidos não estão completos, foi necessário construir uma relação entre a cota e vazão, afim de obter a equação representativa da curva-chave utilizada pela CESAP, e assim aplicá-la nas lacunas existentes.

2.2 Coleta e quantificação das amostras de sedimento

As amostras de sedimento do presente estudo foram obtidas de acordo com o Guia de Práticas Sedimentológicas proposto por Carvalho et al. (2000), no qual, pelo método indireto de bombeamento, a mistura de água-sedimento foi coletada. Tendo em vista que o sistema de captação de água para abastecimento público de Rio do Sul e demais municípios atendidos, localiza-se a aproximadamente 2,8 km da foz do rio Itajaí do Sul, bem como a praticidade e segurança para a realização das coletas, optou-se por realizar a coleta através deste método no ponto de captação.

A água, após ser captada pelo sistema de bombeamento é direcionada a Calha Parshall da ETA de Rio do Sul, onde foi realizada a coleta da amostra antes da adição de qualquer produto químico ou processo físico. Em seguida, as amostras foram transportadas em ambiente refrigerado e abrigado da luz até o laboratório de qualidade das águas da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) para a realização dos ensaios.

Neste estudo optou-se pela utilização do Método Simplificado de Colby (MSC) para o cálculo da DST, e para a DSS utilizou-se o mesmo método, porém desconsiderando os coeficientes relativos a descarga de fundo. Ainda, por não se contar com dados históricos de Concentração de Sólidos em Suspensão, item obrigatório para o cálculo da DSS e DST, realizou-se uma correlação entre a turbidez

e a concentração de sedimentos em suspensão, para a obtenção de uma série histórica de sedimentos transportados na foz do rio Itajaí do Sul. O estabelecimento da correlação entre estas duas variáveis já fora utilizado por diversos pesquisadores, como Ferraz et al. (2018), Ellison (2010), Lima et al. (2011), entre outros. Sendo assim, pela turbidez possuir um acompanhamento diário ao longo dos anos, torna possível a obtenção indireta da DSS e DST também a níveis diários, e não em valores resumidos a poucas incursões de campo, como normalmente observado em outros trabalhos deste gênero.

Os períodos de amostragem para a quantificação da concentração de sedimentos em suspensão ocorreram de julho a setembro de 2015, na qual buscou-se coletar amostras com valores de turbidez que apresentassem a maior amplitude possível, principalmente em eventos pós precipitação intensa. Já a turbidez média diária medida antes e após o período de amostragem, foi obtida a partir do controle interno de água bruta realizado pela ETA, resultando em um período amostral de 01 de março de 2014 até 28 de fevereiro de 2016. Para a obtenção da turbidez foram utilizados turbidímetros da marca Hach, modelo 2100Q. Já para a análise da CSS, foram obedecidas as instruções estabelecidas no *Standard Methods and Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005), que utiliza o método de filtração para a quantificação.

Tanto para a quantificação da CSS ou a verificação da turbidez da água, realizou-se as medições das amostras em triplicata, visando diminuir as probabilidades de erros amostrais ou operacionais. A partir disto, com os valores obtidos, foi possível estabelecer uma relação entre turbidez e CSS, através de regressão. Posteriormente estes dados foram utilizados para aplicação do Método Simplificado de Colby, descrito por Carvalho (2008), para cálculo da DSS e posteriormente DST.

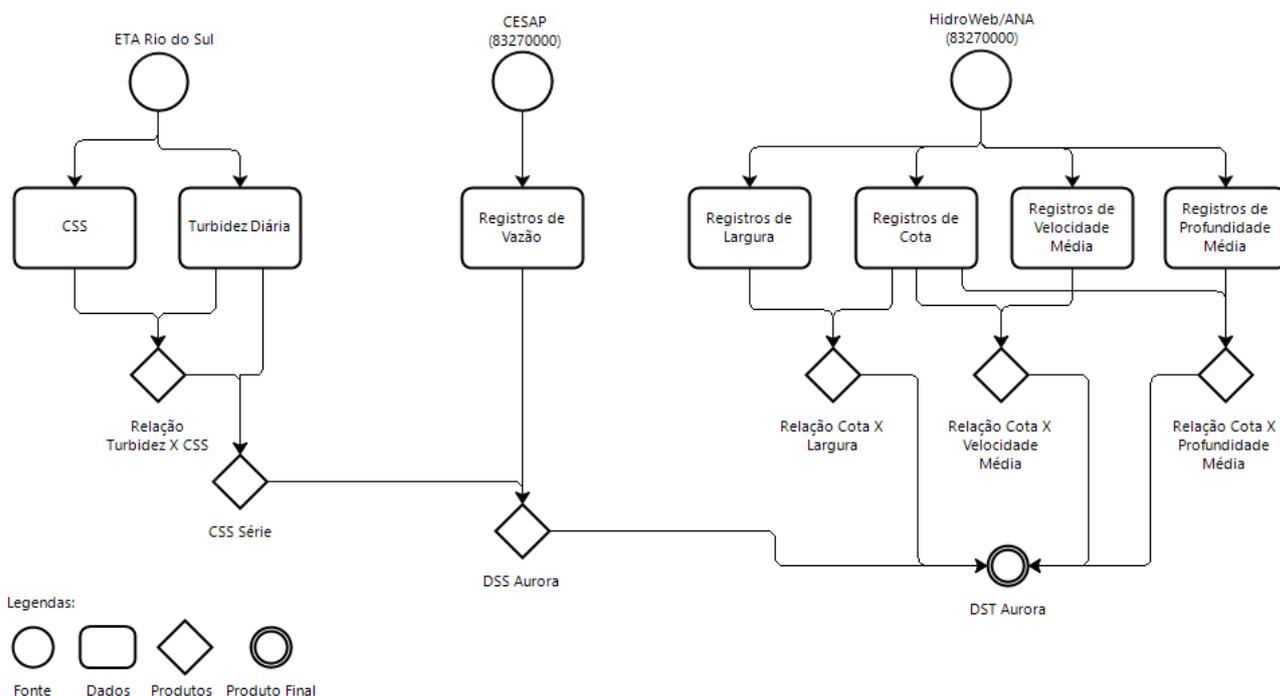
O método simplificado de Colby é composto basicamente por análise do transporte de sedimentos em suspensão e estimativa dos sedimentos de fundo. Embora o método seja usualmente aplicado com o uso de ábacos, devido ao longo período analisado, optou-se por desenvolver uma ferramenta computacional para aplicação do mesmo. Desta forma, o método foi implementado em ambiente Excel, permitindo a quantificação da DSS e DST de maneira mais prática e confiável. A metodologia da ferramenta computacional para a obtenção da DST seguiu os estudos realizados por Scapin (2005) e Miranda et al. (2014).

Para o cálculo da DSS, se estabeleceu que a turbidez medida em Rio do Sul é igual a turbidez na estação 83270000, visto a ínfima distância entre os dois pontos. Deste modo, a partir da CSS calculada pela relação com a turbidez, em conjunto com a vazão do município de Aurora (SC), utilizou-se a ferramenta computacional para quantificação da descarga sólida em suspensão da sub-bacia do rio Itajaí do Sul. Para o cálculo consequente da DST, utiliza-se esta mesma prerrogativa, mas com a adição dos dados complementares de velocidade, profundidade média e largura do rio. Estes índices obtidos englobam 98,5% da sub-bacia.

Com a obtenção do resumo de descarga e o perfil do corpo hídrico disponibilizado no HidroWeb para a estação 83270000, foi possível estabelecer relações entre: (i) cota média diária e largura; (ii) cota média diária com a velocidade média; e (iii) cota no momento da análise dos perfis com a área da seção transversal. A partir da área obtida, o valor resultante é dividido pela largura do rio, chegando-se ao valor de profundidade média. Estas relações foram analisadas no software CurveExpert, visando verificar a curva da relação mais representativa e assim permitindo aplicar as equações resultantes na base de dados, e então, obter todos os dados necessários para o cálculo da DST, conforme pode ser visto na Figura 02.



Figura 02 – Fluxograma do processo de obtenção da DST.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao todo, foram coletadas 29 amostras de água bruta distribuídas em 21 incursões de campo no ano de 2015. A faixa de turbidez medida foi de 16,6 NTU no dia 18 de agosto, até os 3628 NTU no dia 11 de setembro, demonstrando uma amplitude significativa.

Com base no mapa de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina (POTTER et al., 2004), em escala 1:250.000, foi possível verificar os tipos de solo presentes na sub-bacia. Constatou-se a presença de cambissolos e solos podzólicos, que possuem características argilosas, e solos litólicos que se caracterizam arenosos. A sub-bacia do rio Itajaí do Sul apresenta solos com características essencialmente argilosas, compondo 87% da sua área total (Figura 01). De acordo com estudos realizados pelo Subcommittee on Sedimentation (1963), a variação no transporte de partículas em suspensão sofre influência da velocidade de corrente e peso da partícula. Entretanto, devido a sub-bacia apresentar solos principalmente argilosos e ao baixo peso de suas partículas, a taxa de sedimentação é reduzida, o que mantém a concentração dos sedimentos em suspensão no corpo hídrico praticamente uniforme em todo o seu perfil. Assim, admitiu-se que a coleta em apenas uma profundidade de determinada seção transversal do rio, não interfere nos resultados obtidos, sendo dispensável a amostragem por integração vertical.

Na Tabela 03 é possível verificar os dias em que foram coletadas as amostras, a turbidez no momento da coleta, a quantificação da CSS e seu respectivo desvio padrão. Como pode ser visto na tabela, o desvio padrão na maioria das amostras apresentou-se bastante baixo, indicando uma boa reprodutibilidade dos dados da CSS determinados experimentalmente.

Índices elevados de turbidez estão sempre associados com a incidência de chuvas. Segundo os técnicos da ETA de Rio do Sul, em ocasiões de elevadas precipitações, a turbidez do rio Itajaí do Sul aumenta consideravelmente, passando da média de 50 NTU para 1500 a 2000 NTU com certa facilidade, chegando até a 9000 NTU no verão.



Tabela 03 - Quantificação das amostras

Dia	T (NTU)	CSS (mg/l)	D. P. (%)	Dia	T (NTU)	CSS (mg/l)	D. P. (%)
07/jul	1152,0	966,7	11,9	08/set	1486,0	1088,9	3,5
22/jul	173,0	160,0	0,0	11/set	3628,0	2228,6	6,7
25/jul	709,0	476,7	5,3	11/set	3168,0	2044,4	7,5
18/ago	16,6	24,4	15,7	12/set	760,0	476,7	13,3
27/ago	614,0	466,7	4,9	12/set	539,0	386,7	6,0
27/ago	520,0	413,3	5,6	12/set	595,0	346,7	6,7
27/ago	357,0	226,7	10,2	18/set	3000,0	2266,7	5,9
28/ago	699,0	413,3	5,6	18/set	2196,0	1433,3	4,0
29/ago	289,0	160,0	0,0	20/set	720,0	435,7	7,1
29/ago	351,0	173,3	13,3	20/set	666,0	400,0	0,0
05/set	98,0	76,7	3,8	21/set	228,0	200,0	16,7
05/set	76,0	50,0	0,0	22/set	377,0	266,7	8,7
07/set	43,0	27,8	10,2	23/set	151,0	125,0	10,8
08/set	789,0	680,0	0,0	23/set	124,0	133,3	8,7
08/set	895,0	800,0	0,0				

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

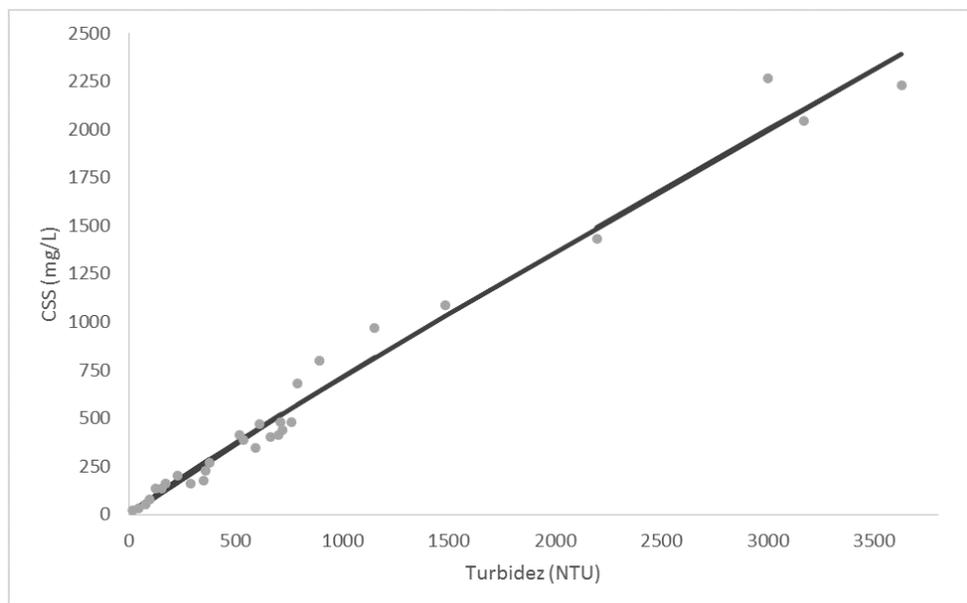
Um episódio que contribuiu para esta afirmação, pode ser verificado quando se observam os resultados para turbidez nos dias 07 e 08 de setembro de 2015, na qual a turbidez passou de 43 NTU a 789 NTU em um intervalo de aproximadamente 12 horas, e novamente dobrou o seu valor para 1486 NTU, num espaço temporal menor que 4 horas, evidenciando a grande suscetibilidade da bacia ao desprendimento, carreamento e transporte de sedimentos na presença de chuvas acometidas a montante da ETA.

Estes resultados estão de acordo com o estudo realizado por Silva, Angelis e Machado (2009), no qual verificou-se que os índices de precipitação acometidos no rio Purus, influenciam diretamente na qualidade da água, e que a interferência humana atua negativamente na qualidade final do corpo hídrico. Deste modo, o fato de a sub-bacia do Itajaí do Sul apresentar elevados índices de cobertura não vegetal do solo, contribui para a alta variação da turbidez em curtos intervalos de tempo.

A partir do software CurveExpert, diversos modelos foram construídos a partir dos dados obtidos, para a verificação da melhor relação possível. A relação que apresentou maior relevância ocorreu na construção da regressão potencial (Figura 03). Uma possível justificativa para tal característica de não linearidade, é que devido ao aumento momentâneo da vazão juntamente com a turbidez e a CSS, o tamanho do sedimento tende a ser maior. Deste modo, as características físicas do sedimento

são distintas, requerendo a construção de uma relação que se aplique mais adequadamente as diferentes condições (ZABALETA, 2007).

Figura 03 - Correlação entre a CSS e a Turbidez.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).



O coeficiente de determinação encontrado para a curva demonstrada na Figura 03 foi de 0,9805. Abaixo apresenta-se a Equação 1 gerada para relacionar os dados de turbidez e CSS.

$$CSS = a \cdot T^b \quad (1)$$

Onde T= turbidez em NTU; a = 1,08148 e b = 0,93962.

Para a verificação da curva-chave utilizada na estação fluviométrica de 83250000, foram analisados dados de cota e vazão de 1994 até 2004, devido ao lapso de informações encontrado no ano de 2005. O coeficiente de determinação foi de 0,9926, e a equação resultante segue abaixo.

$$Q = 0,0182 \cdot C^{1,7436} \quad (2)$$

Onde: Q = vazão em m³/s; e C = Cota.

Além da curva-chave verificada na estação fluviométrica 83250000, também foi analisada a estação gerida pela CESAP (83270000), pois não existiam dados de

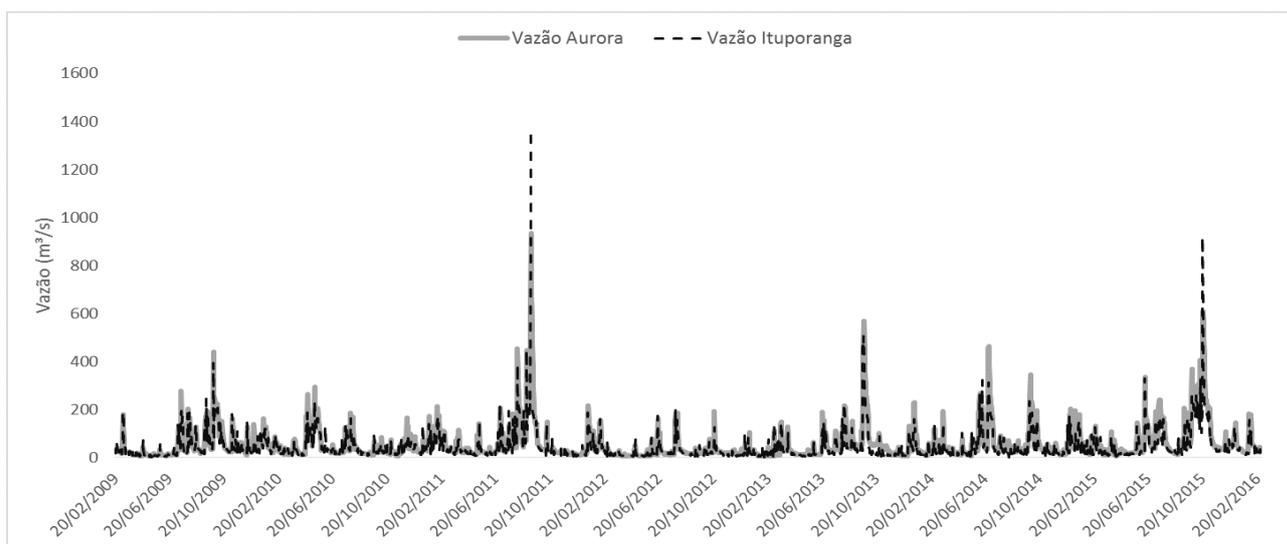
vazão de 2013 a fevereiro de 2015. Deste modo, como nos relatórios enviados pela empresa haviam dados recentes de vazão e cota, março de 2015 a março de 2016, verificou-se a curva-chave e a equação utilizada para este período. Assim, foi possível a aplicação da equação resultante para obtenção dos índices faltantes. O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,9997 e a Equação 3, resultante, segue abaixo.

$$Q = 0,0003C^2 + 0,3495 \cdot C - 81,156 \quad (3)$$

Onde: Q = vazão em m³/s; e C = Cota.

A partir disto, foi possível estabelecer um comparativo entre as vazões encontradas nas duas estações fluviométricas (Figura 04). Como pode ser visto, a vazão encontrada na estação fluviométrica 83270000 encontra-se ligeiramente mais alta que a 83250000 na maioria do período analisado.

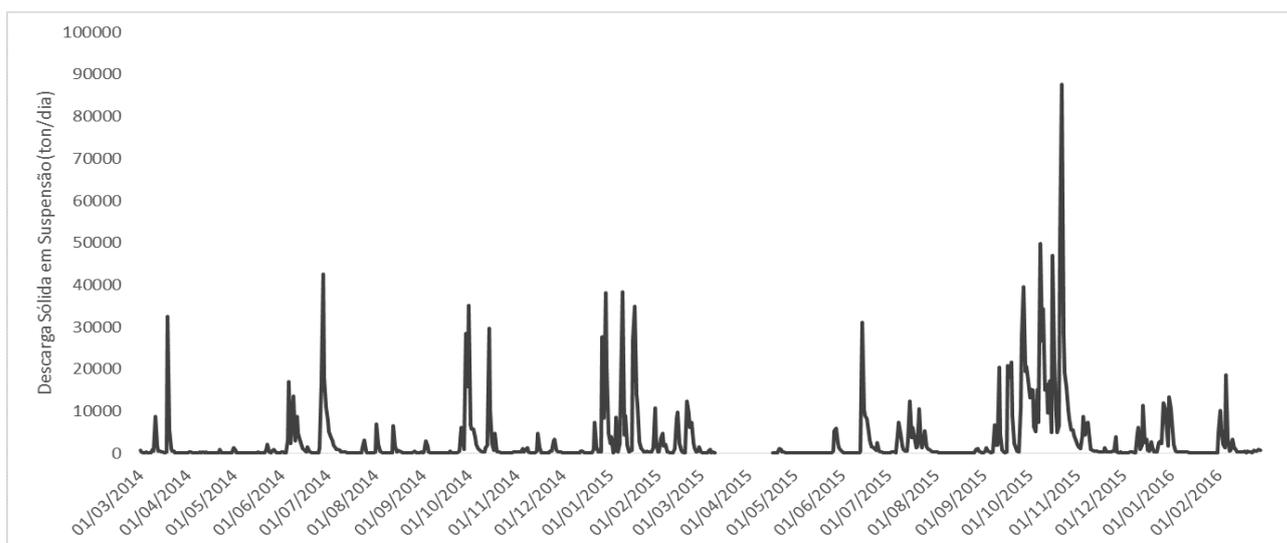
Figura 04 - Comparativo de vazões.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Com as vazões obtidas da estação 83270000, juntamente com a CSS calculada mediante o uso do histórico de turbidez na estação de tratamento de água, por meio da aplicação da equação resultante entre a correlação da CSS e turbidez, foi possível o cálculo da descarga sólida em suspensão pelo período de dois anos (Figura 05). Admitindo que a turbidez encontrada em Rio do Sul na ETA, e consequentemente a CSS, seja a mesma que na estação fluviométrica 83270000.

Figura 05 – Descarga Sólida em Suspensão da Sub-bacia do rio Itajaí do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Como pode ser visto na Figura 05, o mês que apresentou um maior índice da DSS foi de outubro de 2015, período este de enchentes na cidade de Rio do Sul. Somente no dia 22 de outubro houve o transporte de 88760,31 toneladas de sedimentos em suspensão no ponto de análise. O lapso de informações ocorridas no mês de abril de 2015, deve-se a falta de dados referentes a cota, inviabilizando a obtenção da vazão e consequentemente da DSS.

Os dados de largura e velocidade foram obtidos pela construção de uma relação com a cota mediante o software CurveExpert. Para obtenção da largura a melhor regressão foi a Exponential Decline, com um coeficiente de determinação de 0,85 (Equação 04). Na construção da relação entre a velocidade e a cota, a regressão mais representativa foi o Ratkowski Model, com coeficiente de determinação de 0,87 (Equação 05). O coeficiente de determinação da cota em relação a área da seção transversal demonstrou-se linear e com valor de 0,99 (Equação 06).

$$L = q_0 \cdot \exp^{-C/d} \quad (04)$$

Onde: L = Largura; C = Cota; $q_0 = 29,05217069294873$; e $d = -1246,195162655955$

$$VEL_{media} = \frac{f}{(1 + \exp^{g-h \cdot C})} \quad (05)$$

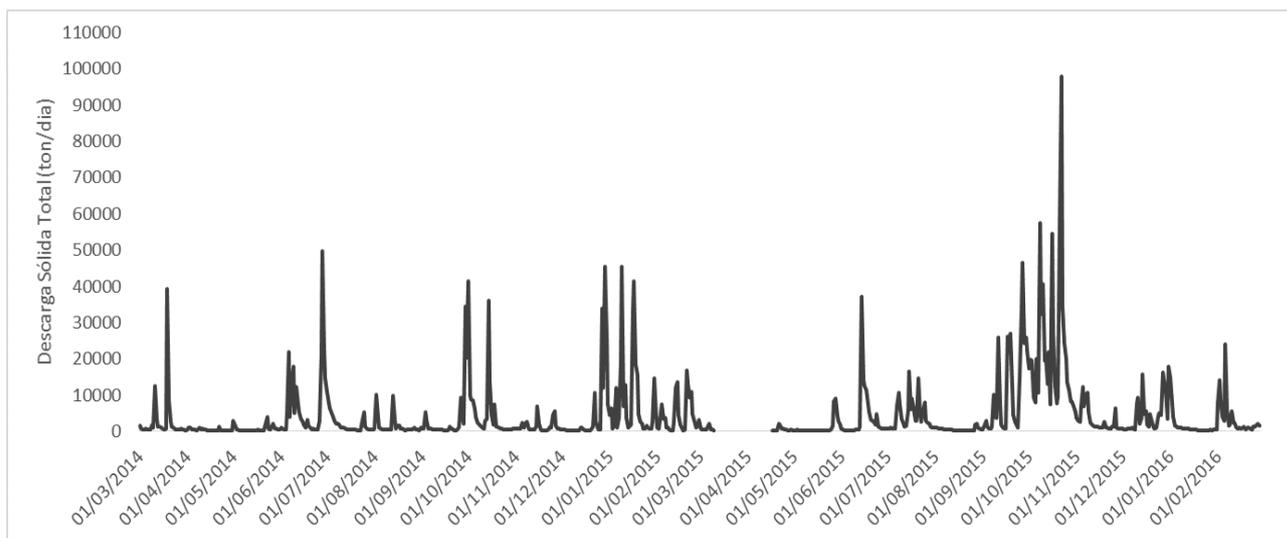
Onde: VEL_{media} = Velocidade Média; C = Cota; $f = 1,239453091745875$; $g = 6,364271678805697$; e $h = 0,02806722250829321$

$$A = j + l \cdot C \quad (06)$$

Onde: A = Área; C = Cota; j = -47,38928720445058; e l = 0,3073191933240611

Deste modo, a estimativa da DST foi realizada com base nos dados históricos de vazão da estação de Aurora, com dados de CSS obtidos pelo uso da correlação com a turbidez em Rio do Sul, visto que a distância entre os dois pontos é extremamente baixa. Juntamente com a largura, velocidade e profundidade média de Aurora atingidos pela aplicação das equações resultantes das correlações com o histórico de cotas. Assim, com o uso da ferramenta computacional foi possível estimar a descarga sólida total diária da sub-bacia do rio Itajaí do Sul, conforme visualiza-se na Figura 06.

Figura 06 - Descarga Sólida Total da Sub-bacia do rio Itajaí do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Verifica-se que os índices obtidos apresentam um padrão semelhante aos apurados pela descarga sólida em suspensão, porém, mais altos. O lapso de informações no mês de abril de 2015, deve-se a falta de dados de cota da estação fluviométrica 83270000.

Como pode ser averiguado, os meses com maior transporte de sedimentos na sub-bacia do Itajaí do Sul, estão compreendidos entre final de outubro de 2015, e início de novembro do mesmo ano. Isso, deve-se ao período de acometimentos de enchente na sub-bacia. Assim, subentendesse que períodos extremos para esta bacia

contribuem mais fortemente na transposição de sedimentos do que em condições normais. Pode-se perceber isto na análise do mês de outubro de 2015 comparando-o a todo ano de 2014. Pois, apenas nestes 30 dias, aproximadamente 717 mil toneladas de sedimento passaram pelo exutório da bacia, enquanto no ano de 2014 todo este valor chegou a aproximadamente 1,29 milhões de toneladas de sedimento. Porém, as observações desta influência de eventos climáticos extremos, como enchentes, inundações e deslizamentos, carecem de uma análise mais aprofundada para serem discutidas.

4 CONCLUSÃO

O estabelecimento de uma correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez para o rio Itajaí do Sul, demonstrou-se com bom coeficiente de determinação. Sendo para isso, realizada a construção de uma curva e equação representativa, mediante a regressão potencial. Entretanto, se ressalta a importância de realizar mais amostragens para índices de turbidez mais elevados, visto que no período do estudo, em poucas oportunidades foi possível quantificar estes valores.

A partir da obtenção da relação entre a turbidez e a CSS, foi possível aplicá-la no histórico de turbidez encontrado na estação de tratamento de água de Rio do Sul, e mediante o Método Simplificado de Colby juntamente com os dados da CESAP e da HidroWeb, conseguiu-se quantificar diariamente a Descarga Sólida em Suspensão e a Descarga Sólida Total. Os resultados encontrados são referentes a estação fluviométrica 83270000, que se encontra na cidade de Aurora, a 9,5 km de distância da foz do rio Itajaí do Sul, representando 98,5% da sub-bacia.

A iniciativa para realização do presente estudo, partiu da carência de informações e mensurações dos processos erosivos e hidrossedimentológicos na sub-bacia do rio Itajaí do Sul. Além disso, a metodologia adotada permitiu um acompanhamento a nível diário da produção sedimentológica da bacia, e por um período longo de tempo. Ou seja, não apenas restritivo a poucos dias de resultados, comumente observado em outros trabalhos semelhantes. Assim, com o uso desta metodologia relativamente simples que foi aplicada, acredita-se que o estudo poderá servir como ferramenta de gestão da sub-bacia. Podendo ser usado pelas entidades gestoras de abastecimento público no acompanhamento hidrossedimentológico do rio Itajaí do Sul, como por outros órgãos envolvido com questões ambientais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides. **Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

APHA, AWWA and WEF. **Standard Methods and Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, 2005.

BARROSO, Deborah Guerra; SILVA, Marx Leandro Naves. Poluição e Conservação dos Recursos Naturais - Solo e Água. **Informe Agropecuário: Conservação de Solo e Meio Ambiente**, Belo Horizonte, v. 16, p.17-24, 1992. Bimestral.

BAUER, Miroslav; QUINTON, John. Soil erosion and flood mitigation in CZ and UK: comparison, discussion and lesson learned. In: International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 19., 2019, Sofia. **Proceedings [...]**. Sofia: SGEM, 2019.

BERNAL, Juliana Maria da Silva. **Contribuição do Aporte Fluvial de Sedimentos para a Construção da Planície Deltaica do Rio Jequitinhonha - BA**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências - Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. 

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355 p.

CARVALHO, Newton de Oliveira et al. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000. 154 p.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.

DIAS, Marilza do Carmo de Oliveira (Org.). Manual de Impactos Ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. **Ministério de Meio Ambiente**, Fortaleza, p.258-260, 1999.

ELLISON, Christopher A. et al. **Correlating Streamflow, Turbidity, and Suspended-Sediment Concentration in Minnesota's Wild Rice River**. In: 2ª JOINT FEDERAL INTERAGENCY CONFERENCE, 2010, Las Vegas. Reston: ACWI, 2010.

EPAGRI. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. 1010 p.

FAAVI - FUNDAÇÃO AGÊNCIA DE ÁGUA DO VALE DO ITAJAÍ. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí**. Vale do Itajaí, 2010.

FAO; ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR): Main Report. Roma: Food And Agriculture Organization Of The United Nations And Intergovernmental Technical Panel On Soils, 2015. 645 p.

FERRAZ, Lorena *et al.* Estimativa da descarga de sedimentos transportados na bacia hidrográfica do rio Verruga. **Agrarian Academy**, [S.L.], v. 5, n. 9, p. 224-233, 31 jul. 2018. Centro Científico Conhecer. http://dx.doi.org/10.18677/agrarian_academy_2018a23.

GARRIDO, Jose Wagner Alves *et al.* Determinação das curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 69-75, fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018138711>.

Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. n.p. 1928.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck *et al.* **Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em rios de uma bacia agrícola típica do cerrado: O caso da Bacia Experimental de Alto Rio Jardim**. DF. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Porto Alegre: ABRH.

MAHABALESHWARA, H.; NAGABHUSHAN, H. M.. A study on soil erosion and its impacts on floods and sedimentation. **Ijret: International Journal of Research in Engineering and Technology**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 443-451, 2014.

MIRANDA, Renato Billia de *et al.* **Ferramenta Computacional para Determinação da Descarga Sólida de Sedimento por Meio do Método Simplificado de Colby**. In: XXV CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 25., 2014, Santiago.

PANAGOS, Panos *et al.* Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: from direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. **Land Degradation & Development**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 471-484, 30 jan. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2879>.

PANFOLFO, C. *et al.* **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 13 p.

POTTER, R. O. *et al.* **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 721 p.

SCAPIN, Juliana. **Caracterização do transporte de sedimentos em pequeno rio urbano da cidade na cidade de Santa Maria - RS.** 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVA, Alexandre Marco da et al. Hydrosedimentological disequilibrium in a small, urbanized watershed. **Acta Limnologica Brasileira**, Rio Claro, v. 25, n. 2, p.140-149, 2013.

SILVA, Ana Elisa Pereira da; ANGELIS, Carlos Frederico; MACHADO, Luiz Augusto Toledo. Impactos da precipitação e uso do solo na qualidade da água do Rio Purus. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2009. **Anais**. Natal: INPE, 2009.

Subcommittee on Sedimentation (Org.). **A Study of Methods Used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams.** 14. ed. Minneapolis: St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, 1963. 151 p.

TELLES, Tiago Santos et al. Valuation and assessment of soil erosion costs. *Scientia Agricola*, Londrina, v. 70, n. 3, p.209-216 jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162013000300010>

UNITED KINGDOM. DEFRA. **Climate Change Risk Assessment: floods and coastal erosion.** Floods and Coastal Erosion. 2012. Disponível em:<https://bit.ly/2YNoXUI>. Acesso em: 28 ago. 2020.

VANZELA, Luiz S. et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p.55-64, jul. 2009.

VIBRANS, Alexander Christian. **A Cobertura Florestal da Bacia do Rio Itajaí:** Elementos para uma Análise Histórica. 2003. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ZABALETA, Ane et al. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. **Catena**, [s.l.], v. 71, n. 1, p.179-190, set. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2006.06.007>.