

# Transporte dos Sedimentos Finos em Suspensão e Origem da Matéria Orgânica nas Bacias dos Rios Capivari e Jundiaí (SP)

Graziela Meneghel de Moraes\*  
Jefferson Mortatti  
Helder de Oliveira  
Karine Balbo de Gênova Campos

Centro de Energia Nuclear na Agricultura-  
CENA/USP  
Universidade de São Paulo  
Avenida Centenário, 303- São Dimas-  
Piracicaba- SP

\*gmmoraes@cena.usp.br  
jmortatti@cena.usp.br  
oliveira@cena.usp.br  
kbcampos@cena.usp.br

\*Autora para correspondência

## Resumo

O presente trabalho objetivou avaliar os aspectos da dinâmica dos sedimentos finos em suspensão nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari (SP), para o entendimento dos processos de erosão mecânica que ocorrem nas duas bacias estudadas, e investigar a origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão, utilizando os parâmetros de referências (*end-members*), a fim de evidenciar a influência das diferentes atividades relacionadas ao uso e ocupação do solo. Foi possível verificar que, apesar da correlação linear entre o sedimento fino em suspensão e a vazão dos rios Jundiaí e Capivari serem típicas de rios de pequeno porte, o transporte dos sedimentos finos em suspensão demonstrou uma erosão média a alta, respectivamente, associada principalmente ao uso e ocupação de solo existente nas bacias. Utilizando as razões isotópicas (C/N) e o  $\delta^{13}\text{C}$  verificou-se que, apesar da influência da erosão mecânica nas bacias, as matérias orgânicas, presentes nos sedimentos finos em suspensão, são de esgotos domésticos lançados em ambos os rios sem tratamento prévio.

*Palavras-chaves:* Erosão Mecânica, Parâmetros de Referência, Rios Capivari e Jundiaí.

## Abstract

This study show to evaluate aspects of the dynamics of fine suspended sediments in the basins of Capivari and Jundiaí rivers (SP), to the understanding of mechanical erosion processes occurring in the two watersheds studied, and investigate the origin of organic matter in fine suspended using the parameters of references (*end-members*) in order to demonstrate the influence of different activities related to the use and occupation of land sediments. We found that although linear correlation between the FSS and the flow of rivers Jundiaí and Capivari be typical of small rivers, the transport of fine suspended sediments showed an average high erosion, respectively, primarily related to the use and occupancy of existing soil in the basins. Using the isotopic ratios (C/N) and  $\delta^{13}\text{C}$  it was found that despite the influence of mechanical erosion basins, organic substances present in the fine suspended sediment are introduced wastewater streams in both untreated.

*Keywords:* Mechanical erosion, End-Members, Capivari and Jundiaí Rivers.

## 1. INTRODUÇÃO

A unidade de estudo denominada bacia de drenagem está limitada topograficamente pelas curvas de nível do terreno, desencadeando as convergências das águas precipitadas ou de corpos d' água superficiais localizadas dentro deste limite para um canal de drenagem principal (Swami e Mattos, 1975). Como descrito por Odum (1988), o estudo de uma bacia hidrográfica deve ser visto não apenas por atributos isolados, mas sim como o conjunto desses atributos, principalmente quando se trata de adequar a ocupação de sua área pelos interesses humanos. A bacia de drenagem se caracteriza como uma importante unidade de paisagem para a realização de estudos hidrogeoquímicos, independente de sua escala, uma vez que seus cursos d' água refletem a dinâmica desse ecossistema geograficamente delimitado, compreendendo tanto seus tributos físicos, químicos e biológicos quanto a inter-relação de seus vários componentes, como solo, água, cobertura vegetal e atmosfera; e as alterações antrópicas que ocorrem dentro de sua área de drenagem (Jenkins et al, 1994; Mortatti, 1995; Ferraz et al., 2002; Bibian, 2007; Vendramini, 2009).

Um dos principais processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica é a erosão mecânica, a qual está associada aos processos de degradação física dos solos. O fluxo de material em suspensão medido em um determinado local de uma bacia de drenagem é o resultado de um conjunto de mecanismos de erosão e sedimentação que ocorre à montante principalmente associado a perdas significativas de solos. Essa dinâmica pode ser investigada através do estudo da dinâmica do sedimento fino em suspensão (FSS), ao longo de da bacia, em um determinado período de tempo (Tardy, 1986). Vale destacar que o sedimento fino em suspensão (FSS) transportado fluvialmente é caracterizado como as partículas menores de 63µm, ou seja, o ponto de transição entre a areia muito fina e silte grosseiro (Mortatti et al, 2012).

A composição desses sedimentos finos em suspensão é uma mistura complexa de partículas orgânicas e inorgânicas originárias de diversas fontes, tais como: material proveniente da erosão de solos, intemperismo de rochas, esgotos domésticos e industriais, deposições atmosféricas, entre outros (Degens *et al.* 1990).

Dentre os constituintes desses materiais, destacam-se diversos tipos de traçadores, principalmente o carbono e o nitrogênio, presentes na matéria orgânica, que podem servir para identificar as prováveis origens e os processos aos

qual a mesma esteve sujeita durante sua formação (Amorin, 2009).

Como descrito por Meyers & Ishiwatary (1993), Meyers (1994; 2003) e Amorin (2009) a razão molar carbono orgânico particulado e nitrogênio orgânico particulado (C/N) e o  $\delta^{13}\text{C}$  são os traçadores mais confiáveis para indicação de fontes de matéria orgânica para um sistema fluvial. Para se determinar a origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão é necessário se determinar os valores de (C/N) e o  $\delta^{13}\text{C}$  e compará-los com parâmetros de referência (end-members).

A assinatura isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica produzida por organismos fotossintéticos reflete a dinâmica da assimilação de carbono e a composição isotópica da fonte (Garcette-Lepecq et al., 2000). É possível estabelecer parâmetros de referência para plantas C3 e C4, considerando a discriminação isotópica que ocorre nas plantas com respeito ao  $\text{CO}_2$  durante o processo de fotossíntese. Isso se deve às propriedades bioquímicas das enzimas primárias que fixam o carbono e ao processo de difusão que controla a entrada de  $\text{CO}_2$  nas folhas (Farquhar et al. 1989). As plantas com ciclo C3, como por exemplo, as constituintes das matas ciliares, apresentam valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  de -27‰. As plantas C4, representadas pelas gramíneas, apresentam valores médio de  $\delta^{13}\text{C}$  de -13‰ (Kendal et al., 2001).

A origem do sedimento fino em suspensão também pode ser correspondente à própria formação pedológica que ocorre na bacia de drenagem em estudo, para esse parâmetro de referência é necessária uma análise da composição isotópica desses materiais como também da razão entre carbono e nitrogênio particulados. Essa origem também pode ser de origem antrópica, ou seja, por deposições de esgotos domésticos, os quais, segundo Evangelista (2003), possuem uma razão molar entre C/N entre 9 e 10 e razão isotópica média de  $\delta^{13}\text{C}$  igual a -23,3‰.

Outro parâmetro de referência é a matéria orgânica de origem autóctone presente na água, isto é, produzida principalmente pela comunidade planctônica (fitoplânctons), que possuem, segundo Meyers & Ishiwatari (1993), uma razão molar de C/N entre 5 e 7, e razão isotópica média de  $\delta^{13}\text{C}$  igual a -29‰.

O presente estudo teve como objetivo avaliar os aspectos da dinâmica dos sedimentos finos em suspensão nas bacias dos rios Jundiá e Capivari (SP), para o entendimento dos processos

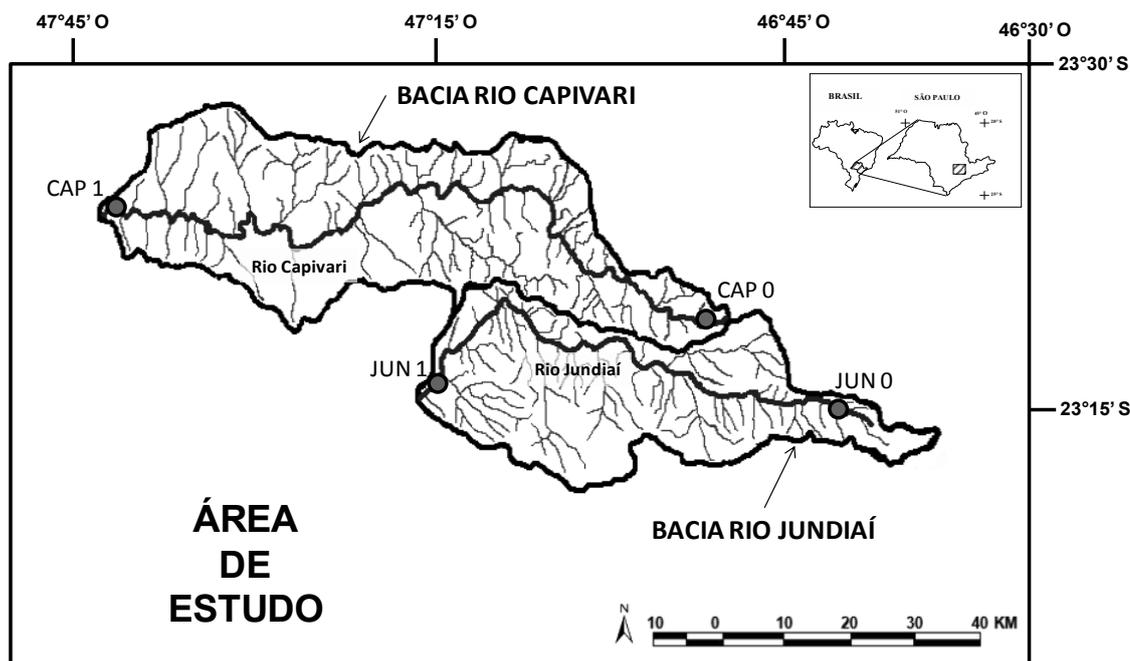
de erosão mecânica que ocorrem nas duas bacias estudadas e investigar a origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão utilizando os parâmetros de referências (end-

## 2. ÁREA DE ESTUDO

As bacias dos rios Capivari e Jundiá, com áreas de 1.620,92 km<sup>2</sup> e 1.114,03 km<sup>2</sup> respectivamente, são de suma importância para a região sudeste, pois fazem parte da região do médio Tietê (UGRH-5), que está em pleno desenvolvimento industrial e demográfico os

members), a fim de evidenciar a influência das diferentes atividades relacionadas ao uso e ocupação do solo.

quais utilizam suas águas para abastecimento e despejo de efluentes. Foram definidas quatro estações de amostragem sendo duas no rio Capivari (nascente e foz) e duas no rio Jundiá (nascente e foz), como pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1-** Localização das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari com os principais rios de sua rede de drenagem e as estações de amostragem fluvial: JUN0-Nascente do rio Jundiá; JUN1-Foz do rio Jundiá; CAP0-Nascente do rio Capivari e CAP1-Foz do rio Capivari.

Para a bacia de drenagem do rio Jundiá, o solo predominante próximo a nascente é o Cambissolo (CX-1), sendo que ao longo da bacia ocorre a presença de Latossolo Vermelho (LV-41), até a foz, que possui Argissolo Vermelho Amarelo (PVA-52).

O uso e ocupação da bacia de drenagem do rio Jundiá é distribuída em 63 % com pastagens, 13 % com vegetação nativa, 10 % com áreas urbanas e industriais (alimentícias, metalúrgicas, química, têxteis, chapas duras e

papelão), 6 % com áreas de reflorestamento e 8 % com cultura anual com predomínio de frutas, citricultura e hortifrutigranjeiras.

Na bacia do rio Capivari, 31 % da área estão ocupadas com pastagem, 45 % por cana de açúcar, 11 % cultura anual e perene, 6 % à área urbana e industrial, e 3 % vegetação nativa. Apresentam retiradas de argila, areia e calcário pela mineração (PLANO DE BACIAS 2004/2007).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As determinações das vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), dos rios Capivari e Jundiá foram realizadas durante as amostragens, nas quatro estações previamente definidas, medindo a seção

transversal do canal por batimetria (medidas da largura e profundidade) e posteriormente calculadas com auxílio do WinXPRO 3.0 (USDA, 2005) e as respectivas velocidades do canal

utilizando um Micromolinete Digital Global Water FP 101.

As amostragens das águas fluviais para determinação dos sedimentos finos em suspensão (FSS) foram realizadas de abril de 2011 a dezembro de 2012, em 15 excursões. Amostras de 500mL foram coletadas em triplicata no eixo principal da corrente e das margens direita e esquerda do rio, utilizando um amostrador pontual de estágio simples adaptado por Mortatti (1995), para rios de pequeno porte, sendo compostas posteriormente para maior representabilidade de cada estação. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno, devidamente identificadas e mantidas sob-refrigeração a 4°C.

$$C_{FSS} = \frac{mf - mi}{V} \quad (1)$$

onde,  $C_{FSS}$  é a concentração média dos sedimentos finos em suspensão ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  $mf$  é a massa final do filtro mais amostra (mg);  $mi$  a massa inicial do filtro (mg) e  $V$  é o volume filtrado (L).

O cálculo do transporte total dos sedimentos finos (T) em suspensão foi realizado

$$FSS = a.Q + b \quad (2)$$

$$FSS = \left\{ \left[ \left( \frac{a \times (Q_{\max})^2}{2} \right) - \left( \frac{a \times (Q_{\min})^2}{2} \right) \right] + [(b \times Q_{\max}) - (b \times Q_{\min})] \right\} - \left[ (Q_{\max} - Q_{\min}) \times C_{\min} \right] \times f \quad (3)$$

onde  $Q_{\max}$  e  $Q_{\min}$  é a maior e a menor vazão observada no período de estudo,  $f$  é o fator de correção da massa e do tempo no cálculo do transporte fluvial, sendo igual a 31,536 para resultados em ( $\text{t a}^{-1}$ ).

$$T_E = T \times A^{-1} \quad (4)$$

onde  $A$  é a área de drenagem a montante da estação de amostragem considerada, em  $\text{km}^2$ .

A obtenção das amostras de sedimentos finos em suspensão para análise de carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio orgânico particulado (COP) e razão isotópica ( $\delta\text{C}^{13}$ ) foi realizada por processo de decantação, de 30 litros de águas fluviais coletadas em triplicata, reservadas em galões, onde após o processo, a água foi removida por sifonamento, para separação do material particulado. Também foram coletados em triplicata, os três dos principais solos

Para as quantificações dos sedimentos finos em suspensão adotou-se o método gravimétrico, onde foram filtrados 300 mL de amostras compostas, utilizando o processo manual à vácuo, utilizando filtros de membrana de celulose  $0,45\mu\text{m}$  e 47mm de diâmetro pré-pesados. Após secagem em estufa com circulação forçada de ar (Marconi MA037) a 60°C até peso constante. Após a filtragem, os filtros com os sedimentos foram secos por 24 horas a 60°C, sendo posteriormente mantidos em dessecador com sílica gel, para estabilização por 48 horas e novamente pesados.

As determinações da quantificação dos sedimentos finos em suspensão foram realizadas utilizando a equação 1,

de acordo com o método determinístico, realizado a partir da correlação linear entre as concentrações de FSS e respectivas vazões (Q), observados durante o período estudado, conforme equação 2, sendo que a função linear determinada foi integrada, como ser verificado na equação 3.

O transporte fluvial específico médio ( $T_E$ ), definido como o transporte fluvial total por unidade de área da bacia de drenagem ( $\text{t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ ), foi calculado de acordo com a Equação 4:

PVA52, PVA 102 e CX1, presentes nas bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, utilizando um trado manual, na profundidade de 0-10 cm de profundidade, sendo posteriormente armazenados em sacos plásticos. Os materiais particulados dos solos e sedimentos finos em suspensão foram secos ao ar, homogêneos, macerados em almofariz de ágata e peneirados na fração  $< 63\mu\text{m}$ . A composição química e isotópica do COP e do NOP presentes nos sedimentos e solos amostrados foram determinados por espectrometria de massas

acoplada com um sistema de cromatografia gasosa (ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20).

Os resultados foram expressos em  $\delta$ (‰) em relação ao padrão Pee Dee Belemnite (PDB) para a razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , de acordo com a equação 5:

$$\delta^{13}\text{C} = [(\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{padrão}}] / ((\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{padrão}}) \times 1000 \quad (5)$$

Para a investigação das origens da matéria orgânica das amostras de sedimentos finos em suspensão nos rios Capivari e Jundiá, a caracterização isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e a razão entre o carbono orgânico particulado e o nitrogênio orgânico particulado ou simplesmente a razão C/N foram comparadas com parâmetros de referências

(end-members), obtidos na literatura determinados por Kendall et al. (2001) para as plantas C3 e C4, valores de fitoplânctons por Meyers & Ishiwatari (1993), valores de esgotos domésticos por Evangelista (2003), e os principais solos das bacias (PVA52, PVA 102 e CX1) determinados nesse estudo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Parâmetros de referência de Carbono Orgânico Particulado (COP), Nitrogênio Orgânico Particulado (NOP) e razão C/N para os principais solos da bacia de drenagem (AVA e LVA), para as plantas C3 e C4, fitoplâncton e esgoto doméstico obtidos na literatura.

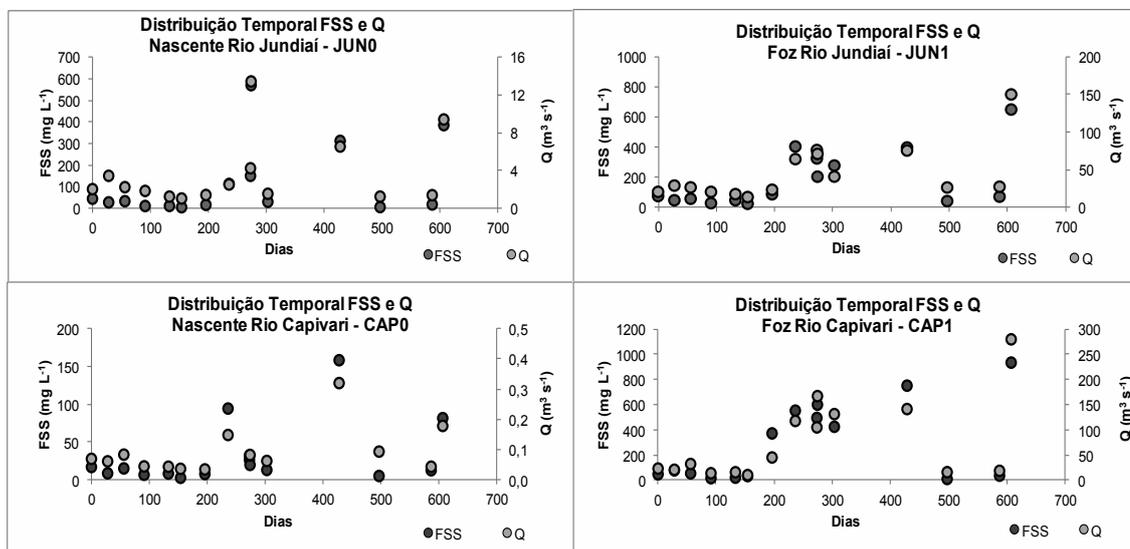
Parâmetros de Referência (End-Members)				
	COP	$\delta\text{C}^{13}$	NOP	C/N
	%	(‰)	%	
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA52)	1,335	-15,57	0,16	8,6
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA102)	1,121	-14,55	0,03	34,0
Cambissolos (CX1)	2,138	-17,8	0,12	18,3
Plantas C3 <sup>1</sup>		-28		26,3
Plantas C4 <sup>1</sup>		-13,3		37,1
Fitoplancton <sup>2</sup>		-29,3		5,4
Esgotos Domésticos <sup>3</sup>		-23,3		9,8

<sup>1</sup>Kendall, Silva e Kelly (2001), <sup>2</sup>Meyers & Ishiwatari (1993) e <sup>3</sup>Evangelista (2003)

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra a distribuição temporal das concentrações de FSS e respectivas vazões, que contribui para um melhor entendimento da

dinâmica das concentrações de FSS nas bacias dos rios Jundiá e Capivari, nas quatro estações de amostragem.

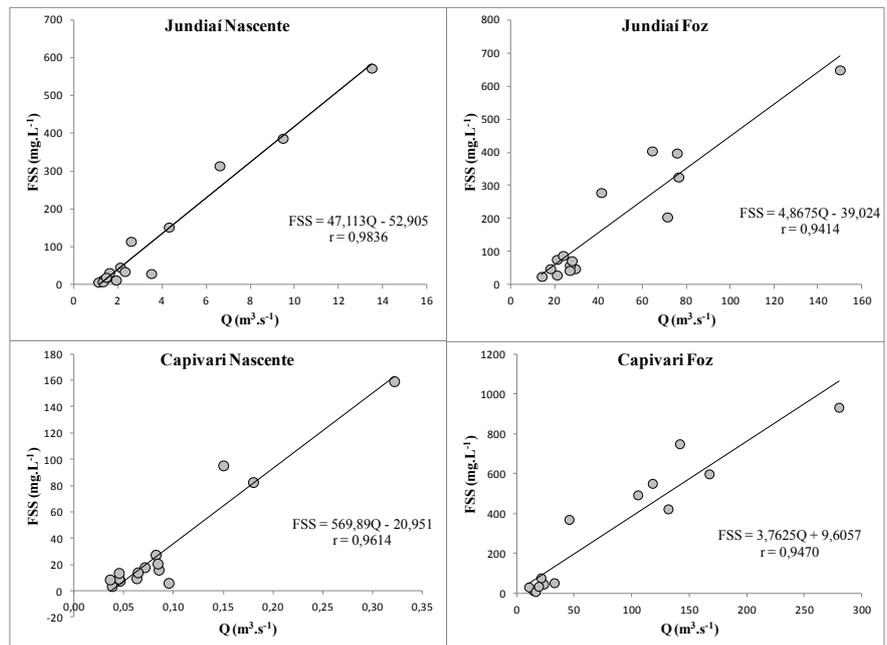


**Figura 2.** Distribuição temporal de FSS ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) do o rio Piracicaba para o período de fevereiro de 2010 a janeiro de 2011.

Foi possível observar durante todo período estudado que as variações das concentrações dos sedimentos em suspensão medidos próximos à nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari seguiram, de uma forma geral, as variações da vazão, sendo observadas maiores concentrações durante os períodos de cheia, ou águas altas e menores concentrações concomitantemente com as menores vazões, se mostrando em fase com as respectivas vazões observadas. Esse comportamento é considerado normal e característico dos processos dinâmicos

de remobilização e sedimentação em rios de pequeno e médio porte, conforme observado por Probst (1986) e Probst & Bazerbach (1986), respectivamente, para os rios Girou e Garone da França e por Mortatti, et al, (2003) para o rio Piracicaba.

O comportamento das concentrações dos sedimentos finos em suspensão em função das respectivas vazões para cada estação de amostragem, ao longo dos rios Jundiá e Capivari, foi avaliado através de um modelo de correlação linear simples como mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Correlação linear entre as concentrações dos sedimentos finos em suspensão (FSS) e respectivas vazões (Q), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, para o período estudado.

Tanto na nascente como na foz, dos dois rios estudados, os coeficientes de correlação foram altamente significativos ( $p > 0,01$ ), confirmando as características de rios de pequeno porte como observados anteriormente por Probst e Bazerbach (1986).

O transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão, total (T) e específico ( $T_E$ ), para as quatro estações de amostragem dos rios Capivari e Jundiá, no período estudado, pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão, total (T) e específico ( $T_E$ ), para as quatro estações de amostragem dos rios Capivari e Jundiá, no período estudado.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS FINOS EM SUSPENSÃO					
Estação de amostragem	Área ( $\text{Km}^2$ )	Q médio ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	T ( $\text{t.a}^{-1}$ )	$T_E$ ( $\text{t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ )	$T_E$ ( $\text{t.km}^{-2}.\text{d}^{-1}$ )
Jundiá Nascente (JUN 0)	211,23	3,63	3514,41	16,64	0,05
Jundiá Foz (JUN 1)	1114,03	45,85	45452,35	40,80	0,11
Capivari Nascente (CAP 0)	85,05	0,09	22,21	0,26	0,00
Capivari Foz (CAP 1)	1620,92	76,02	147019,98	90,70	0,25

Durante todo o período estudado foi possível verificar que a erosão mecânica nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari avaliada em termos de transporte total de FSS se mostrou da ordem de 3514,41 t a<sup>-1</sup>, para a nascente do rio Jundiaí, o que correspondeu a 16,64 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, em termos de transporte específico. Já para a foz o transporte total foi de 45452,35 t a<sup>-1</sup> e transporte específico de 40,80 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, superior do que a nascente, demonstrando que há uma contribuição da erosão mecânica ao longo do rio Jundiaí. A nascente do rio Capivari, apresentou um transporte total de 22,21 t a<sup>-1</sup> e transporte específico de 0,26 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, sendo esse valor inferior se comparado com a bacia do rio Jundiaí. Já o transporte específico da foz do rio Capivari, no valor de 90,70 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, foi considerado superior àquele do rio Jundiaí. Esse resultado pode ser explicado possivelmente devido à produção agrícola mais intensa na bacia do rio Capivari, que não possui manejo adequado dos solos.

Quando comparadas com bacias de drenagem regionais de mesmas características de uso e ocupação do solo, notou-se que a erosão mecânica da bacia do rio Capivari, principalmente na estação de amostragem relativa à foz, se mostrou significativamente superior às observadas

para o rio Tietê (59,60 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>) por Bortoletto Júnior (2004) e para a bacia do Sorocaba (55,70 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>) (Fernandes, 2012) porém valor similar foi determinado por Vendramini para o rio Piracicaba (88,07 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>).

Em termos globais, as erosões mecânicas observadas na foz das bacias dos rios Jundiaí e Capivari foram bastante superiores aos rios africanos considerados naturais, como as do rio Congo, na República do Congo com 12,6 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (NKOUNKOU; PROBST, 1987), do rio Niger, em Mali, com 8 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (MEYBECK et al., 2003). Já quando comparadas às bacias de drenagem européias com características agrícolas (regiões com maior influência antrópica) o rio Capivari apresentou erosão mecânica ligeiramente superior às observadas para os rios Garone e Lot, ambos na França e que apresentaram 74 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (MEYBECK et al., 2003).

Na tabela 3 pode ser vista a classificação da erosão mecânica para os rios do mundo, proposta por Meybeck et al. (2003). Segundo essa classificação, o rio Jundiaí apresentou uma erosão média, já o rio Capivari foi classificado como sendo portador erosão alta. Assim, apesar dos rios Jundiaí e Capivari apresentarem características de rios de pequeno a médio porte, sua contribuição no transporte de FSS é significativa.

**Tabela 3.** Critérios estabelecidos para a classificação da variabilidade global dos sedimentos sólidos em suspensão em 60 estações de amostragens em alguns dos principais rios do mundo (MEYBECK et al., 2003).

<b>Variabilidade Global Diária dos Sedimentos Finos em Suspensão</b>	
Classes	(t.km <sup>-2</sup> .a <sup>-1</sup> )
muito baixo	<3,65
baixo	de 3,65 a 18,25
médio	de 18,25 a 73
alto	de 73 a 365
muito alto	de 365 a 1825
extremamente alto	>1825

(Extraído e adaptado de Meybeck et al., 2003)

Na bacia do rio Jundiaí a variação entre os transportes totais e específicos nos períodos chuvosos e de estiagem (Tabela 4) se mostrou bastante significativa e determinante na avaliação da dinâmica da carga particulada transportada fluvialmente. Desse modo, para a nascente do rio Jundiaí o transporte específico foi de 21,31 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 0,56 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> no período de seca. Apesar desta área, estar localizada próxima à nascente, é possível observar

um aumento de aproximadamente 38 vezes entre os períodos de estiagem e chuvoso. Essa elevada carga de material em suspensão observada na nascente durante o período chuvoso pode estar associado às atividades de uso e ocupação do solo, como a retirada da mata ciliar observada durante as coletas. Já para a foz do rio Jundiaí o transporte específico foi de 34,71 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 2,10 t km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> no período de estiagem, evidenciando a influência da chuva na

entrada de sedimento fino em suspensão por escoamento superficial para o rio estudado, principalmente associado às erosões que ocorrem ao longo da bacia.

O mesmo acontece com a bacia do rio Capivari (Tabela 4), onde na área de nascente o transporte específico foi de  $0,31 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  no período chuvoso e de  $0,01 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  no período de estiagem (seca). Na foz do rio Capivari o transporte específico foi de  $66,00 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  no período chuvoso e  $1,59 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  no período de seca, evidenciando um aumento no transporte entre os períodos de estiagem e chuvoso de aproximadamente 33 vezes. Para ambos os

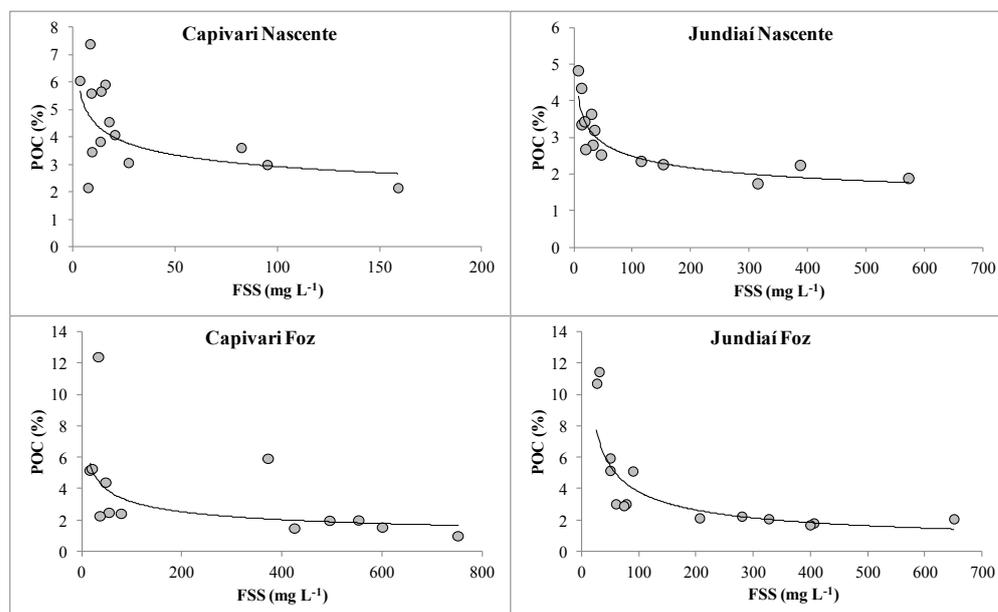
períodos o transporte foi maior do que o observado no rio Jundiá.

Mesmo assim, a variação observada entre os valores totais médios e os obtidos nos períodos chuvosos não fez diferença para classificar a erosão mecânica nas bacias dos rios Jundiá e Capivari como média e alta, respectivamente, segundo a classificação demonstrada na Tabela 3 por Meybeck et al. (2003).

A figura 4 ilustra os valores de carbono orgânico particulado (%) da matéria orgânica em relação ao sedimento fino em suspensão, no período estudado, nas quatro estações de amostragem dos rios Capivari e Jundiá.

**Tabela 4.** Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão, total (T) e específico ( $T_E$ ), para as quatro estações de amostragem dos rios Capivari e Jundiá, nos períodos chuvoso e seca.

Estação de Amostragem	Transporte de Sedimentos Finos em Suspensão			
	Período Chuvoso		Período Seca	
	T ( $\text{t.a}^{-1}$ )	$T_E$ ( $\text{t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ )	T ( $\text{t.a}^{-1}$ )	$T_E$ ( $\text{t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ )
Jundiá Nascente (1)	388961,57	1841,41	1340,06	2,32
Jundiá Foz (2)	3341225,20	21,66	54279,07	21,66
Capivari Nascente (3)	2311,55	27,18	33,68	0,14
Capivari Foz (4)	9242918,78	5702,27	23462,35	5,28

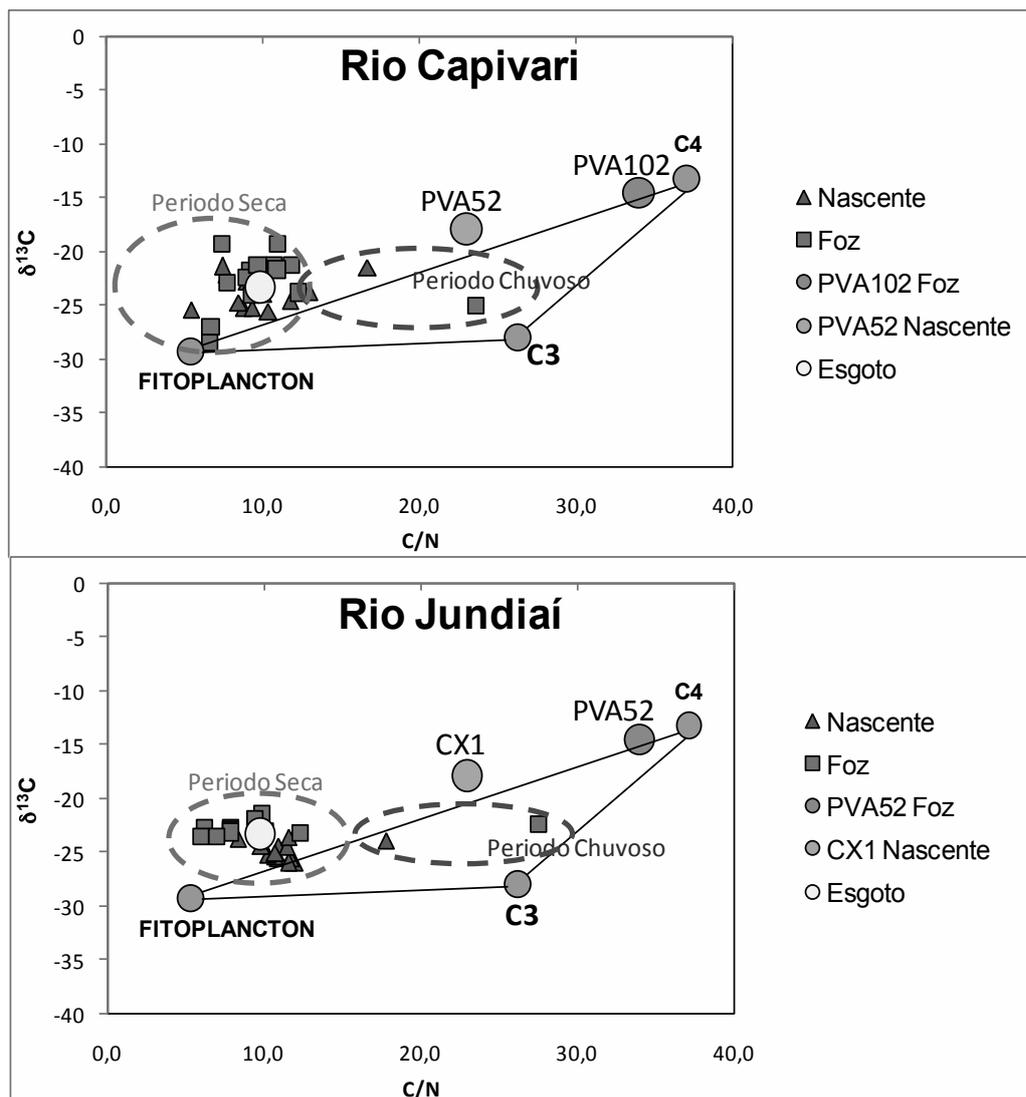


**Figura 4.** Valores de POC (%) da matéria orgânica em relação ao sedimento fino em suspensão, no período estudado, nas quatro estações de amostragem dos rios Capivari e Jundiá

Como observado por Martins et al. (1991), em rios africanos, a porcentagem de carbono orgânico particulado decaiu com o aumento da concentração dos sedimentos finos em suspensão, que ocorre pelo carregamento de materiais trazidos pela chuva para dentro dos recursos hídricos, apontando para o fato de que ocorre uma diluição da matéria orgânica

particulada por substâncias minerais inorgânicas, provenientes da erosão mecânica.

Na Figura 5 observa-se que, através dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e da razão C/N obtidos nas amostras de sedimentos finos em suspensão, foi possível determinar a origem da matéria orgânica nesses sedimentos, comprovando a predominância da origem litológica



**Figura 5.** Relação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N obtidos nas amostras dos sedimentos finos em suspensão dos rios Capivari e Jundiá, com os parâmetros de referência C3, C4 e fitoplâncton, bem como para os principais tipos de solos presentes nas bacias estudadas.

suspensão

Como pode ser observado, na Figura 5, de uma forma geral, para a nascente do rio Capivari, ocorre à influência direta dos efluentes domésticos ( $\delta^{13}\text{C}$  de  $-23\%$  e C/N de 10) na matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão, já que os pontos referentes à nascente estão agrupados próximos ao padrão de referência para esgotos domésticos. Foi possível observar também a influência da sazonalidade na origem dos sedimentos, onde o período chuvoso mais intenso apresentou  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-21\%$  e razão C/N de 17, configurando a origem da matéria orgânica proveniente do processo da erosão mecânica dos solos da nascente (PVA52). Por outro lado, no período de seca intenso, os valores isotópicos apresentados de  $\delta^{13}\text{C}$  foram igual a  $-23\%$ , deste modo pode-se dizer que a origem da matéria

orgânica esteve relacionada com efluentes domésticos. Alguns valores obtidos também ficaram próximos ao valor estabelecidos para o fitoplâncton, porém com razão C/N de 6, caracterizando que a matéria orgânica já foi degradada pelos microorganismos. O mesmo comportamento pode ser observado junto à foz do rio Capivari, na época de seca, o predomínio foi de esgotos domésticos e dos fitoplânctons e na época chuvosa, o  $\delta^{13}\text{C}$  foi de  $-25\%$  e C/N de 23, tendo como principal contribuinte o solo da bacia (origem geogênica).

Foi possível verificar que para a nascente do rio Jundiá, ocorre à influência direta dos efluentes domésticos ( $\delta^{13}\text{C}$  de  $-23\%$  e C/N de 10) na matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão e assim como observado para o rio

Capivari, ocorre à influência direta da sazonalidade na origem dos sedimentos, observando-se que no período de maior chuva, seus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N foram de -25‰ e 18, respectivamente, demonstrando a contribuição do solo (CX1 nascente) na origem da matéria orgânica presente no sedimento fino em suspensão. Para o período de seca intenso o predomínio foi de valores próximos ao parâmetro de referência dos esgotos domésticos. Para a foz do rio Jundiá, o mesmo comportamento da

nascente foi observado, sendo que no período de chuva, o valor foi de  $\delta^{13}\text{C}$  de -21‰ e C/N de 27, demonstrando a contribuição da erosão mecânica na bacia do rio Jundiá.

Valores muito próximos aos dos rios Capivari e Jundiá foram observados por Boutton (1996), Krusche et.al. (2002) e Mortatti et. al.(2004), os quais também associaram tais valores isotópicos a esgotos domésticos e também observaram o efeito da sazonalidade.

## 5. CONCLUSÃO

A caracterização do comportamento dinâmico da carga particulada fluvial foi realizada em termos do relacionamento das concentrações de FSS e as respectivas vazões, sendo possível verificar que ocorrem variabilidades significativas nos processos de escoamento superficial desse material, ao longo do período estudado, sendo esses efeitos observados principalmente nos períodos chuvosos.

O transporte específico da carga particulada, para a foz dos rios Jundiá e Capivari mostraram-se superior em relação às outras bacias regionais estudadas. Os resultados demonstraram que apesar de serem rios de pequeno a médio porte, os processos de perdas de solo nessas bacias de drenagem apresentaram valores elevados, evidenciando a erosão mecânica influenciada pelo desordenado uso e ocupação do

solo, principalmente relacionada às práticas agrícolas existentes nas bacias.

Com o auxílio das análises isotópicas de carbono  $\delta^{13}\text{C}$  e da razão C/N em comparação com os parâmetros de referência foi possível investigar sobre a origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão das bacias dos rios Capivari e Jundiá; verificando que, para as duas bacias estudadas, a origem foi principalmente litólica, principalmente nos períodos chuvosos e provenientes de esgotos domésticos nas épocas de seca.

Apesar de ambas as bacias apresentarem transporte de FSS proveniente de perdas de solos, devido principalmente por práticas agrícolas, a análise isotópica da matéria orgânica demonstrou que ambas as bacias também sofrem influências diretas da carga poluidora provenientes das cidades.

## 6. REFERÊNCIAS

- Amorin M. A., 2009. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazônica*, **39**, n.1, p.165-172.
- Berner E.K., Berner R.A. 1996. Marginal marine environments: estuaries The Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 284–311
- Bibian, J.P.R. Caracterização hidrogeoquímica da microbacia de drenagem do córrego de Barra Bonita, São Paulo, 2007. 197f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Bortoletto Júnior, M. J. 2004. Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba. 202 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Boutton, T. W. 1996. Stable carbon isotope ratio of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T. W. & YAMASAKI, S. (ed.) *Mass Spectrometry of Soils*. New York, Academic Press. p. 1-46.
- Degens, E. T.; Kempe, S.; Richey, J. E. 1990. *Biogeochemistry of major world rivers*. John Wiley & Sons. Chichester, 356 p.
- Evangelista, R. A. O. 2003. Caracterização química e isotópica de carbono e nitrogênio no estudo hidrogeoquímico de efluentes urbanos. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 139p.
- Farquhar G. D., Ehleringer J. R., Hubick K. T., 1989. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant*

- Physiology and Plant Molecular Biology. **40**: 503-537.
- Fernandes, A. M. 2012. Características hidrogeoquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP: processos erosivos mecânicos e químicos. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. 241 p.
- Ferraz, F.F.B.; MORTATTI, J. Avaliação do processo erosivo mecânico em bacia subtropical desenvolvida pela análise de sedimentos finos em suspensão. *Geociências*, São Paulo, **21**, n.1-2, p. 113-120, 2002.
- Garcette-Lepecq A., Derenne S., Largeau C., Bouloubassi I., Saliot A. 2000. Origin and formation pathways of kerogen-like organic matter in recent sediments off the Danube delta (northwestern Black Sea). *Organic Geochemistry*, **31**, pp. 1663–1683.
- Jenkins, A.; Peters, N.E.; Rhode, A. Hydrology. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. Biogeochemistry of mall catchments: a tool for environmental research. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.
- Krusche A.V. et al. (Ed). 2002. Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). *Water Research*, v.36, p. 2743-2752.
- Martins, O. E. Probst, J. L., 1991. Biogeochemistry of Major African Rivers: Carbon and Mineral Transport. *Biogeochemistry of Major World Rivers*. Published by John Wiley and Sons Ltd. Chapter 6.
- Meybeck, M.; Laroche, L; Dürr, H.; Syvitski, J.P. 2003. Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. *Global and Planetary Change*, **39**, p. 65-93.
- Meyers, P. A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, **114**: 289-302.
- Meyers, P.; Ishiwatary R. 1993. Lacustrine organic geochemistry – an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*. **20**(7): 867-900.
- Meyers, P.A. 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, **34**: 261-289.
- Mortatti, J. 1995. Erosão na Amazônia: processos, modelos e balanço. Tese (Livredocência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 155 p.
- Mortatti, J., Bortoletto Júnior, M. J., Milde, L.C.E, Probst, J.L. 2004. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: Séries temporais e hidrogramas de cheia. *Revista de Ciências e Tecnologia*. **12**, n.23, pp.55-67.
- Mortatti, J.; Probst, J.L.; Bortoletto Júnior, M. J. 2003. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. *Geociências*, **22** (1): 75–81.
- Odum, P.E. 1988. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Koogan, 434p.
- PLANO DE BACIAS 2004/2007 - 4ª Consulta Pública: Bacias Hidrográficas do Rio Capivari data: 18 de abril de 2005, Capivari, SP. [www.comitepcj.sp.gov.br/download/Apres-SHS-PB\\_Jundiai.pps](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Apres-SHS-PB_Jundiai.pps): acesso em 5/08/2010.
- Probst, J. L. 1986. Dissolved and suspended matter transported by Girou River (France): mechanical and molasse basin. *Hydrological Sciences Journal*, Oxford, v. 31, p. 61-79.
- Probst, J. L.; Bazerbachi, A. 1986. Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. *Science Géologique Bulletin*. Strasbourg, **39**, p.79-98.
- Siviero, M. R. L, Coiado, E. M. 1999. A Produção de Sedimentos a Montante de uma Seção no Rio Atibaia Associada à Descarga Sólida Transportada. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- Swami, M.; Mattos, A., 1975. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 233 p.
- Tardy, Y. 1986. *Le Cycle de L'eau; Climats, Paléoclimats et Géochimie Globale*. Paris, Masson, 338 p.
- Vendramini, D. aspectos hidrogeoquímicos de uma microbacia reflorestada com *Eucalyptus grandis* no município de Angatuba, São Paulo. 2009. 195 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba