

# Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil)

Paulo Ricardo Petter Medeiros<sup>1\*</sup>  
Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo<sup>2</sup>  
Enaide Marinho Melo Magalhães<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente; Laboratório de Ciências do Mar; Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Maceió (AL), Brasil.

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL – Maceió (AL), Brasil.

<sup>3</sup>Laboratório de Ciências do Mar, UFAL – Maceió (AL), Brasil.

\*Autor correspondente: paulopetter\_@hotmail.com.br

## Resumo

A turbidez da água e o material em suspensão são parâmetros importantes no monitoramento da qualidade de águas superficiais. O Rio São Francisco (NE, Brasil) enquadra-se na tipologia de rio de médio a grande porte e possui relevância ecológica, econômica e social. O objetivo principal deste estudo foi avaliar a influência da vazão e precipitação na turbidez e concentração de material em suspensão. As amostras foram coletadas mensalmente em seção transversal do Baixo São Francisco, durante os anos de 2001, 2004 e 2007. As amostras foram coletadas em sub-superfície com garrafa tipo Van Dorn. O material em suspensão foi analisado em laboratório, enquanto a turbidez foi medida no local da coleta, com sonda multiparamétrica YSI-6600. O ano de 2001 apresentou menores concentrações de material em suspensão e turbidez, a média ficou em torno de  $4,8 \pm 2,1$  mg/L e  $2,7 \pm 2,0$  NTU, respectivamente. Os maiores valores médios anuais de material em suspensão e turbidez ocorreram no ano de 2004, sendo, respectivamente, de  $72 \pm 148,9$  mg/L e  $101,0 \pm 146,0$  NTU. A localização geográfica da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio São Francisco foi determinante nas elevadas concentrações de material em suspensão e turbidez na região fisiográfica do Baixo São Francisco, sendo mais importante que a intensidade total da precipitação. A ausência de correlação entre material em suspensão e turbidez com a vazão evidenciou a influência do extremo manejo da vazão com o objetivo de maximizar a produção de energia hidroelétrica.

**Palavras-chave:** turbidez, Rio São Francisco (NE, Brasil), precipitação, material em suspensão.

## Abstract

*Turbidity and suspended matters are important parameters utilized in the water quality monitoring at the surface-water interface. The São Francisco River (NE-Brazil) is considered a medium to large-size river of economic, ecological and social importance. The objective of this work was to evaluate the influence of river discharge and precipitation on turbidity and suspended matter concentration. The fieldwork was carried out in the lower sector of the São Francisco River on a monthly scale within 2001, 2004 and 2007. The Van Dorn bottle was utilized to collect the samples at the sub-surface level with suspended matter analyzed at the laboratory, while turbidity was measured in situ. The year 2001 showed the lowest*

concentrations of suspended matters and turbidity with average of  $4.8 \pm 2.1$  mg/L and  $2.7 \pm 2.0$  NTU, respectively. Suspended matters and turbidity indicate that the year 2004 had the highest annual mean values with  $72.0 \pm 148.9$  mg/L and  $101.0 \pm 146.0$  NTU, respectively. The results reveal that the geographical location of the precipitation in the São Francisco River basin plays a major role in increasing the suspended matters and turbidity concentrations in the lower sector of the river, being more important than the total precipitation rate. The lack of correlation between suspended matters and turbidity with river discharge revealed the influence of the water discharge management aiming to maximize the hydropower electricity generation.

**Keywords:** turbidity, São Francisco River (NE-Brazil), precipitation, suspended matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A turbidez da água é definida como sendo a medida de sua capacidade de dispersar a radiação (Esteves 1998). Ela é um parâmetro chave no monitoramento da qualidade de águas superficiais, devido à sua relação com a concentração de material em suspensão e sua influência na ecologia do ambiente aquático (Göransson *et al.* 2013). A turbidez pode atenuar a penetração da luz na coluna d'água e, assim, reduzir a sua transparência, de modo a prejudicar a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas (Wetzel 2001). A estreita relação entre turbidez e material em suspensão possibilita que aquela seja frequentemente usada como substituta da concentração material em suspensão (Chanson *et al.* 2008). A concentração de material em suspensão de um rio é controlada por diversos fatores naturais da bacia hidrográfica, dentre os quais: geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal natural, uso do solo e fatores climáticos, dentre outros. Além do material em suspensão, existem outros fatores responsáveis pela turbidez da água, tais como coloides, matéria orgânica dissolvida e particulada, organismos microscópicos e algas. A turbidez e o material em suspensão variam tanto espacialmente quanto temporalmente em um ambiente aquático continental. Essas variações estão associadas à precipitação, à vazão, ao uso

do solo e à cobertura vegetal (Silva *et al.* 2008, Hamilton & Luffman 2009), dentre outros fatores. Entretanto, as pressões antrópicas têm progressivamente aumentado, alcançando um patamar no qual os sistemas de drenagem não podem ser mais definidos somente pelas relações climáticas e morfológicas naturais (Souza & Knoppers 2003).

O Rio São Francisco (NE, Brasil) se enquadra na tipologia de rio de médio a grande porte (a área da bacia é de  $640 \times 10^3$  km<sup>2</sup>) e possui relevância ecológica, econômica e social; é utilizado na geração de energia hidrelétrica, irrigação, navegação, abastecimento de água, pesca e aquicultura. Em comparação com a vazão, que é medida de maneira sistemática desde 1936, estudos relacionados a sedimentos em suspensão e fluxo de nutrientes são relativamente escassos, destacando-se os realizados por Milliman (1975), Souza e Knoppers (2003), Medeiros *et al.* (2007), Medeiros *et al.* (2011a), Medeiros *et al.* (2011b), Oliveira *et al.* (2012), Jesus e Souza (2013). Estudos relacionando material em suspensão e turbidez são inexistentes no baixo São Francisco. Nesse sentido, o objetivo principal deste estudo é avaliar a influência da vazão e da precipitação pluviométrica na concentração de material em suspensão e turbidez da água.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Subdivisões e características da bacia hidrográfica

O Rio São Francisco nasce no Estado de Minas Gerais, sua extensão é em torno de 2.863 km, possui área aproximada de 639.219 km<sup>2</sup> (7,5% do território nacional); é a mais extensa bacia hidrográfica exclusivamente brasileira. Tradicionalmente é dividido em Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco (Figura 1). O Baixo São Francisco possui área total de 36.959 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 6% da área total da bacia; é a menor região fisiográfica.

O Rio São Francisco atravessa vários domínios climáticos (Bernardes 1951); existem na bacia hidrográfica climas úmidos (As e Aw) e climas semiáridos (BSh). No Baixo São Francisco, o clima predominante é o AS' (quente e úmido, com chuvas de inverno), embora a noroeste existam zonas com características climáticas do tipo BSh (semiárido com curta estação chuvosa no outono-inverno). A precipitação da bacia apresenta média anual histórica de cerca de 1.000 mm, com variação de 350 a 1.500 mm anuais.

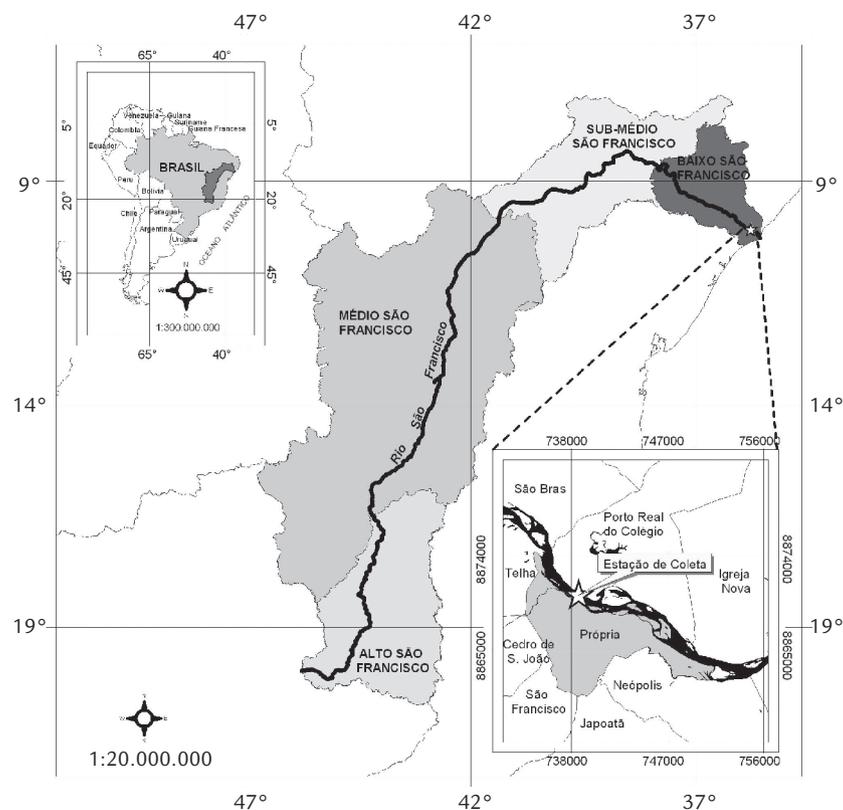


Figura 1  
Setores fisiográficos da Bacia do Rio São Francisco, com detalhe na área de estudo.

## 2.2. Geologia e geomorfologia da Bacia do Rio São Francisco

No Baixo São Francisco, a parte sedimentar é formada pelo Cretáceo, pelo Terciário (Formação Barreiras) e Quaternário (aluviões e dunas). A Formação Barreiras integra a maior parte dos sedimentos da parte sul da região, constituindo-se de tabuleiros. A planície fluvio-marinha e aluvial ocorre ao longo do Rio São Francisco, desde Penedo (AL) até o litoral, é constituída de superfícies planas, praticamente sem desníveis acentuados, formados

por sedimentos recentes, aluvionares, eólicos e praias (Braz Filho 1980). Ao longo de praticamente toda a porção externa da planície costeira do Rio São Francisco ocorrem dunas eólicas. No delta e na base dos tabuleiros encontram-se terraços marinhos Pleistocênicos e, para o norte e nordeste, tabuleiros terciários da Formação Barreiras. Segundo Bittencourt *et al.* (2007), o estuário do Rio São Francisco é dominado por ondas.

## 2.3. Principais usos do rio e impactos ambientais

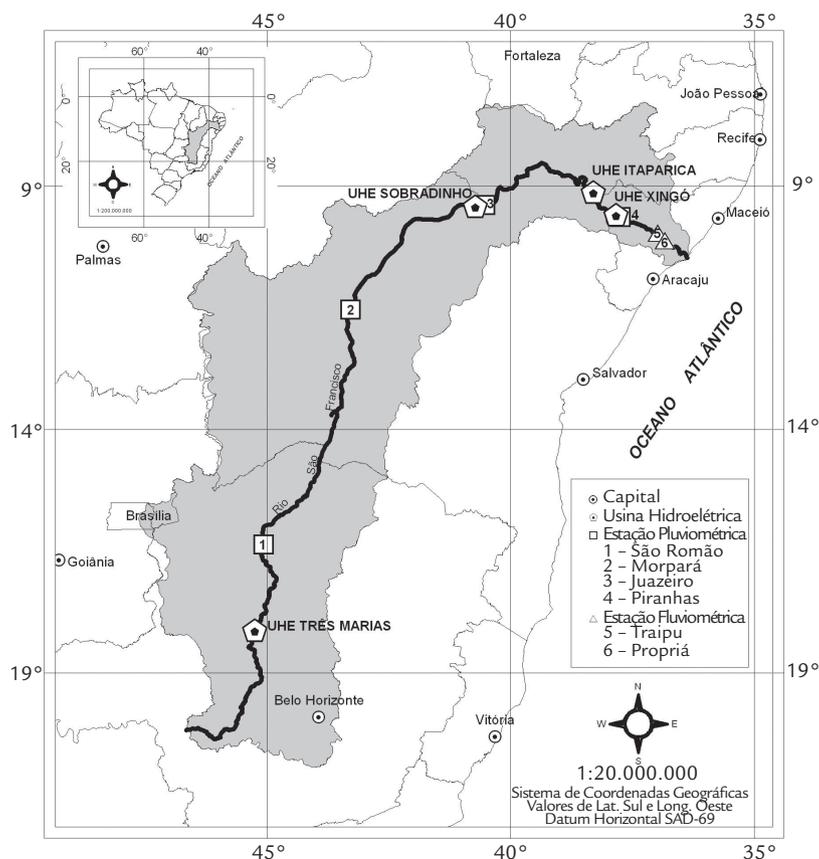
O Rio São Francisco é caracterizado por usos múltiplos, destacando-se a irrigação, aquicultura e geração de energia hidroelétrica. Existe um sistema em cascata de barragens (Figura 2) totalizando 6 barragens principais, com um volume armazenado em seus reservatórios em torno de

71 km<sup>3</sup>. A atividade de geração de energia hidroelétrica provocou grandes alterações nas condições naturais do rio, principalmente na região do Baixo São Francisco (Medeiros *et al.* 2007, Medeiros *et al.* 2011a, Medeiros *et al.* 2011b, Medeiros *et al.* 2014).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água foram coletadas (Figura 1) em uma seção transversal (S 10° 12' 43,6"; W 36° 49' 14") do Rio São Francisco, com largura aproximada de 700 metros. Foram realizadas coletas mensais, durante os anos de 2001, 2004 e 2007. As amostras foram coletadas em sub-superfície com garrafa tipo Van Dorn. O número de amostras coletadas mensalmente variou de 1 a 4, em razão de mudanças da vazão

e do perímetro úmido, ocorridos durante os anos estudados. O material em suspensão foi determinado segundo Strickland e Parsons (1972). A turbidez foi determinada no local da coleta, com sonda multiparamétrica YSI-6600. Dados da precipitação foram obtidos em estações pluviométricas localizadas nos setores Alto (São Romão, cód.: 01645000), Médio (Morpará, cód.: 01143002), Submédio (Juazeiro, cód.: 00940024) e



Fonte: Medeiros (2011).

Figura 2

Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, principais usinas hidroelétricas, estações pluviométricas de São Romão (Alto), Morpará (Médio), Juazeiro (Submédio) e Piranhas (Baixo); estações fluviométricas de Traipu (AL) e Propriá (SE).

Baixo (Piranhas, cód.: 00937023) da bacia do Rio São Francisco (Figura 2), obtidos junto ao banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA 2008). As vazões defluentes

do reservatório da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE) foram obtidas junto à Companhia Hidrográfica do Rio São Francisco (CHESF) (CHESF 2008).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Precipitações e vazões

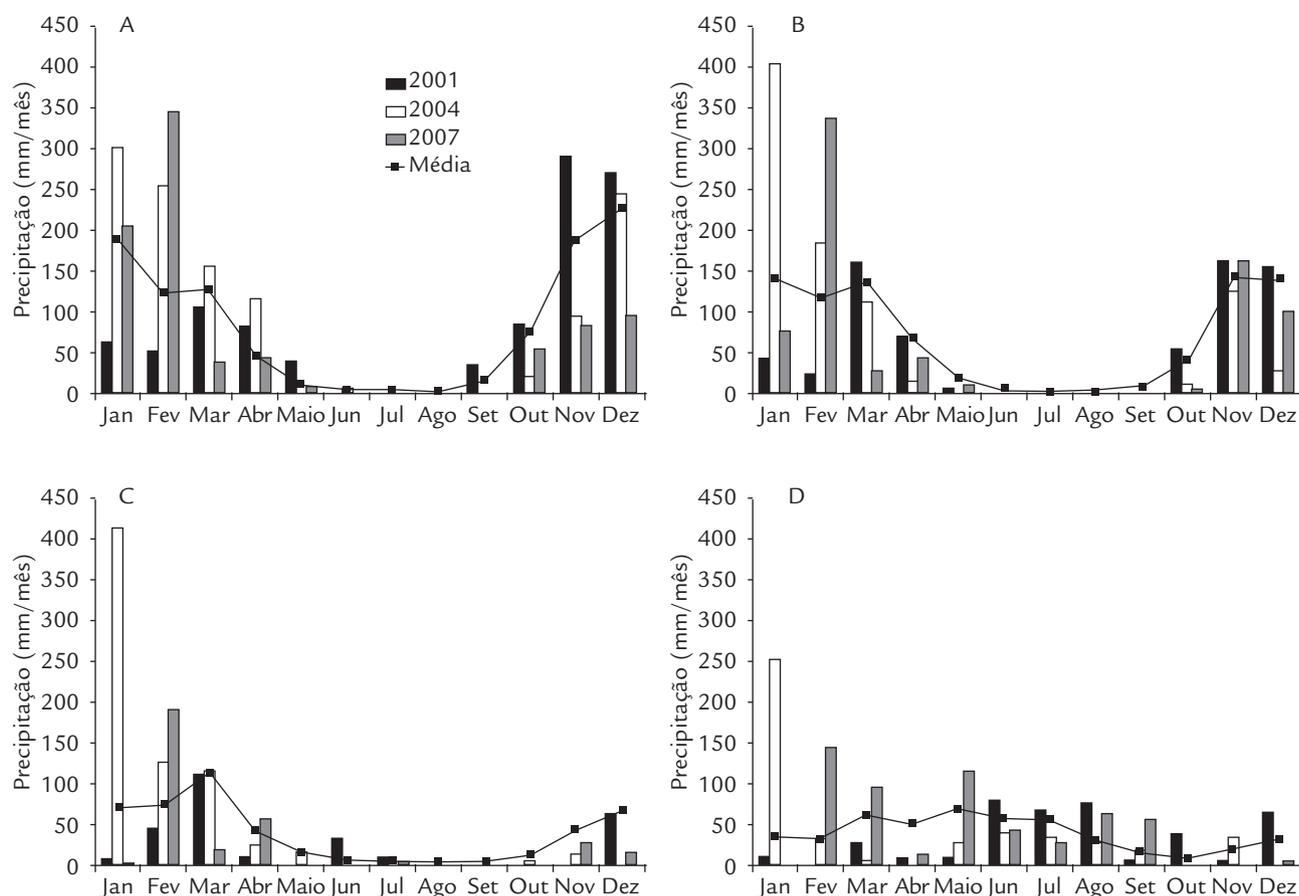
Os três ciclos anuais estudados exibiram condições distintas nos regimes da precipitação pluviométrica e vazão. De um lado, a avaliação das precipitações em estações pluviométricas ao longo da calha principal nos setores do Alto, Médio, Submédio e Baixo Rio São Francisco (Figura 3) demonstra que, para o ano hidrológico de 2001, as precipitações foram inferiores em relação à média histórica de todos os setores. De outro modo, os ciclos anuais de 2004 e 2007 foram caracterizados por elevadas precipitações; em vários meses, foram superiores à média histórica.

As precipitações acumuladas por setor e acumuladas anuais (Tabela 1) também evidenciam as menores precipitações do ano de 2001 em relação aos anos de 2004 e 2007. Elas mostram também as elevadas precipitações nos setores Submédio e Baixo São Francisco, nos anos de 2004 e 2007.

Semelhante às precipitações, as vazões (Figura 4) também exibiram diferenças entre os anos hidrológicos estudados. As maio-

res vazões médias mensais ocorreram no ano de 2007, atingindo valor médio mensal superior a 5.000 m<sup>3</sup>/s no mês de fevereiro.

O regime diferenciado de contribuição dos quatro setores fisiográficos da bacia (Alto, Médio, Submédio e Baixo) para a vazão total é estimado em 42,2; 51,4; 5,7 e 0,7% (www.ana.gov.br), respectivamente. O ano de 2001 se caracterizou por baixas vazões (Figura 4); esse ano teve suas vazões principalmente reguladas pelo sistema de barragens em cascata. Isso ocorreu devido ao extremo manejo da vazão, visando maximizar a produção de energia elétrica (Medeiros *et al.* 2011). Em contrapartida, os anos hidrológicos de 2004 e 2007 se caracterizaram por elevadas precipitações pluviométricas, gerando elevadas vazões. Essas vazões foram, em alguns períodos, superiores à capacidade de armazenamento dos reservatórios das barragens, o que causou a abertura das comportas. Diante desse cenário, é razoável afirmar que os anos de 2004 e 2007 foram influenciados por eventos climáticos extremos de precipitação. Os deflú-



Fonte: www.ana.gov.br.

Figura 3

Distribuição mensal das precipitações pluviométricas nos anos de estudo e a média histórica nas estações do Alto (A), Médio (B), Submédio (C) e Baixo São Francisco (D).

vios anuais, calculados a partir dos valores médios mensais das vazões, também mostram diferenças entre os anos estudados. O ano de 2001 apresentou deflúvio de 45 km<sup>3</sup>, enquanto que os anos de 2004 e 2007 apresentaram deflúvios anuais superiores, sendo respectivamente de 81 e 86 km<sup>3</sup>. Apesar de no

ano de 2004 ter ocorrido uma maior precipitação acumulada (Tabela 1) em relação ao ano de 2007, ele apresentou menor deflúvio anual. Esse fato indica o efeito do armazenamento de água nos reservatórios e o manejo da vazão com finalidade de produção de energia hidroelétrica.

#### 4.2. Relações entre material em suspensão, precipitação e vazão

O ano de 2001 (Figura 5A) apresentou menores concentrações de material em suspensão; a média ficou em torno de  $4,8 \pm 2,1$  mg/L. Esses resultados evidenciam os efeitos da baixa pluviosidade de 2001 e o intenso controle das vazões pelo sistema de barragens em cascata nesse período, com o objetivo de maximizar a produção de energia elétrica.

O ano de 2007 apresentou média de  $8,4 \pm 8,5$  mg/L. As cheias de 2007 foram mais prolongadas devido à elevada acumulação de água nos reservatórios do Alto e Submédio São Francisco, que promoveram a manutenção de elevadas vazões para a foz de janeiro a abril de 2007 (Medeiros *et al.*

2011). Embora a origem dessas vazões tenha sido nos setores superiores da bacia e tenha promovido uma diminuição nos tempos de residência nos reservatórios das usinas hidroelétricas, a atenuação pelo sistema de barragens em cascata e a ausência de produção significativa de sedimentos no Baixo São Francisco, com a jusante da Usina Hidroelétrica de Xingó, resultaram em menores concentrações de material em suspensão, em relação ao ano de 2004.

O maior valor médio anual de material em suspensão ocorreu no ano de 2004, o qual foi de  $72 \pm 148,9$  mg/L. Segundo Medeiros *et al.* (2011), essas elevadas concentrações

Tabela 1

Precipitações acumuladas por setor fisiográfico do Rio São Francisco, calculadas a partir dos dados obtidos em [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br).

	Alto São Francisco (mm)	Médio São Francisco (mm)	Submédio São Francisco (mm)	Baixo São Francisco (mm)	Precipitação acumulada anual (mm)
Ano 2001	1.014,00	658,00	264,00	399,40	2.335,40
Ano 2004	1.185,30	873,70	708,00	309,80	3.076,80
Ano 2007	862,70	753,30	309,80	581,60	2.507,40

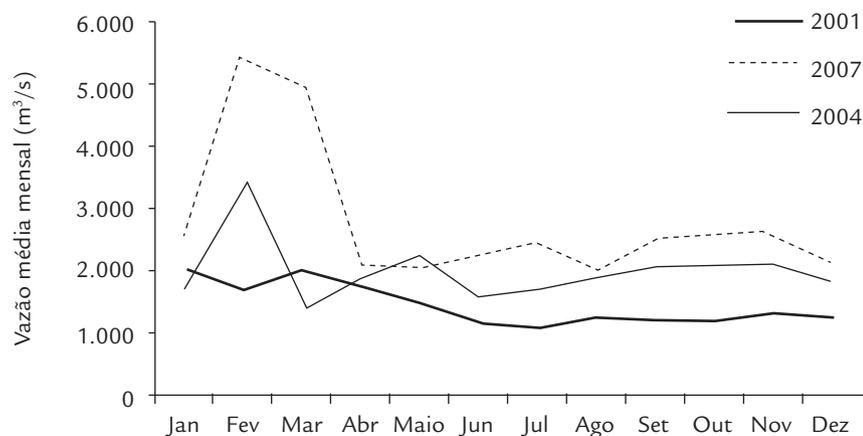


Figura 4

Vazões médias mensais para os anos de 2001 e 2007 na Usina Hidrelétrica do Xingó.

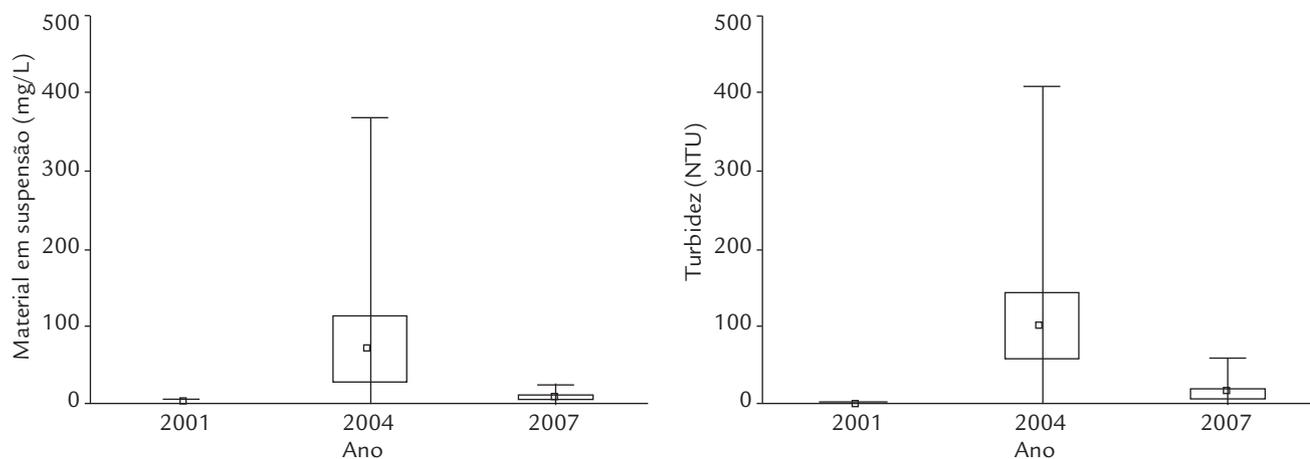


Figura 5

Valores médios de material em suspensão e turbidez para os anos de 2001, 2004 e 2007.

foram influenciadas pela localização geográfica das precipitações, as quais ocorreram nas porções mais inferiores da bacia hidrográfica. Isso ocasionou uma menor retenção de material em suspensão pelo sistema de barragens em cascata e menor tempo de residência nos reservatórios (Medeiros *et al.* 2014). As concentrações de material em suspensão exibidas no evento das cheias de janeiro e fevereiro de 2004 (Figura 6) alcançaram valores ao menos de uma ordem de

grandeza superiores aos anos de 2001 e 2007. A ausência de precipitações significativas para a bacia no período posterior a fevereiro de 2004 e a acumulação de água nos reservatórios para o período seco aumentaram os tempos de residência nos reservatórios, o que resultou nas baixas concentrações observadas ao final desse ano. A elevada variabilidade da concentração de material em suspensão no ano de 2007 ocorreu em função do aumento da concentração de ma-

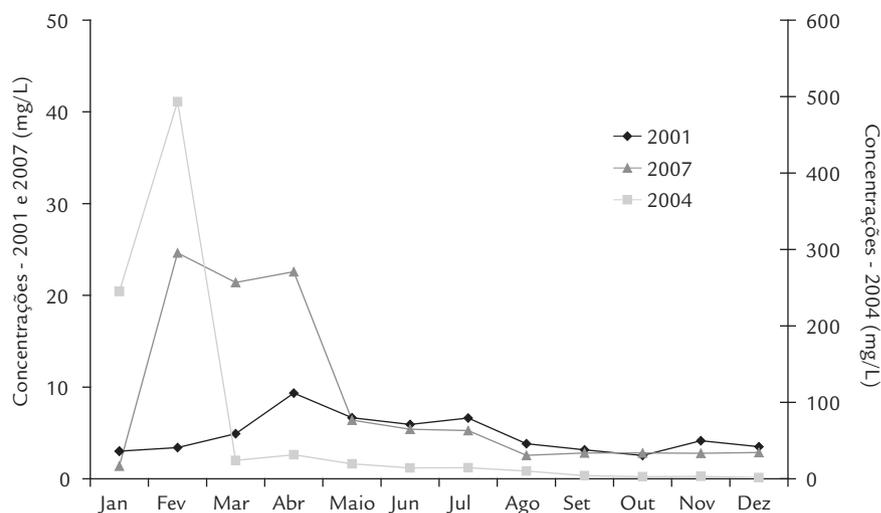


Figura 6  
Concentrações de sedimentos em suspensão nos anos de 2001 e 2007 (eixo da esquerda) e 2004 (eixo da direita) na estação fixa de Propriá.

terial em suspensão nos meses de fevereiro, março e abril (Figura 6), enquanto que, para o ano de 2004, esse aumento de concentração de material em suspensão ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro.

Semelhante ao material em suspensão, a turbidez (Figura 5B) apresentou menores valores no ano de 2001 ( $2,7 \pm 2,0$  NTU) em relação ao ano de 2007 ( $17,0 \pm 22,7$  NTU) e ao ano de 2004 ( $101,0 \pm 146,0$  NTU). O valor de turbidez ( $10,1$  NTU), citado por Jesus e Souza (2013), para o Médio São Francisco, na cidade de Bom Jesus da Lapa (BA), está dentro da faixa de valores encontrados para o Baixo São Francisco. Da mesma forma, os valores de turbidez ( $5,6$ – $29,00$  NTU), citado por Vasco *et al.* (2010), para o estuário do Rio Vaza Barris (SE), estão na faixa de valores encontrados para o Rio São Francisco. As correlações significativas não paramétricas de Spearman (Figura 7) sugerem que os processos que influenciaram as concentrações e a variabilidade do material em suspensão também influenciaram a turbidez.

As correlações não paramétricas de Spearman entre precipitação e material em suspensão somente foram significativas ( $p < 0,05$ ) para a região do Submédio São Francisco no ano de 2004, e para a região do Baixo São Francisco no ano de 2007. Nos anos de 2004 e 2007 ocorreram grandes precipitações pluviométricas nas regiões do Submédio e Baixo São Francisco (Tabela 2). Isso proporcionou uma maior produção de sedimentos e material em suspensão, em razão dessa precipitação ter ocorrido em uma região semiárida, com solos pouco profundos, com o embasamento cristalino mais próximo à superfície, o que dificultou a infiltração. Esse fato resultou em um escoamento superficial mais intenso, o que ocasionou maior erosão e lixiviação. O escoamento superficial é afetado pelo padrão temporal da distribuição da precipitação (Randall & Mulla 2001), de maneira a evi-

denciar a importância da precipitação em regiões semiáridas na produção e no aumento do rendimento de sedimentos de uma bacia hidrográfica (Medeiros *et al.* 2011). A maior concentração de material em suspensão na água também está associada à menor retenção pelo sistema de barragens em cascata, quando se refere à precipitação nas porções inferiores da bacia hidrográfica (setores Submédio e Baixo São Francisco).

Em condições naturais, as concentrações e os fluxos de material em suspensão de rios possuem estreita relação com a vazão (Restrepo & Kjerfve 2001). O aumento da vazão intensifica a velocidade do escoamento fluvial, a capacidade de transporte do rio e a lavagem das margens, o que incrementa o material particulado e dissolvido transportado. Milliman e Syvitsky (1992) mostraram claramente a distinção dos rendimentos de sedimentos em suspensão, quanto a diferentes características morfológicas das bacias de drenagem (altura da nascente, comprimento, inclinação média). No entanto, as relações de parâmetros morfológicos e da vazão sobre a produção de sedimentos em suspensão são consideravelmente alteradas em função dos múltiplos impactos antrópicos sobre as bacias de drenagem (Souza & Knoppers 2003). Esses impactos antrópicos associados às barragens foram responsáveis pela ausência de correlações significativas entre a vazão e a turbidez e, também, entre a vazão e a concentração de material em suspensão.

Segundo Medeiros *et al.* (2011) e Medeiros *et al.* (2014), também observa-se a drástica redução das descargas específicas de material em suspensão (*yield* ou rendimento). O rendimento (descarga específica) sofreu redução de valores em torno de  $10 \text{ t/km}^2 \cdot \text{ano}$  do período antes da instalação da maior parte das barragens para valores atuais inferiores a  $1 \text{ t/km}^2 \cdot \text{ano}$  (Tabela 3).

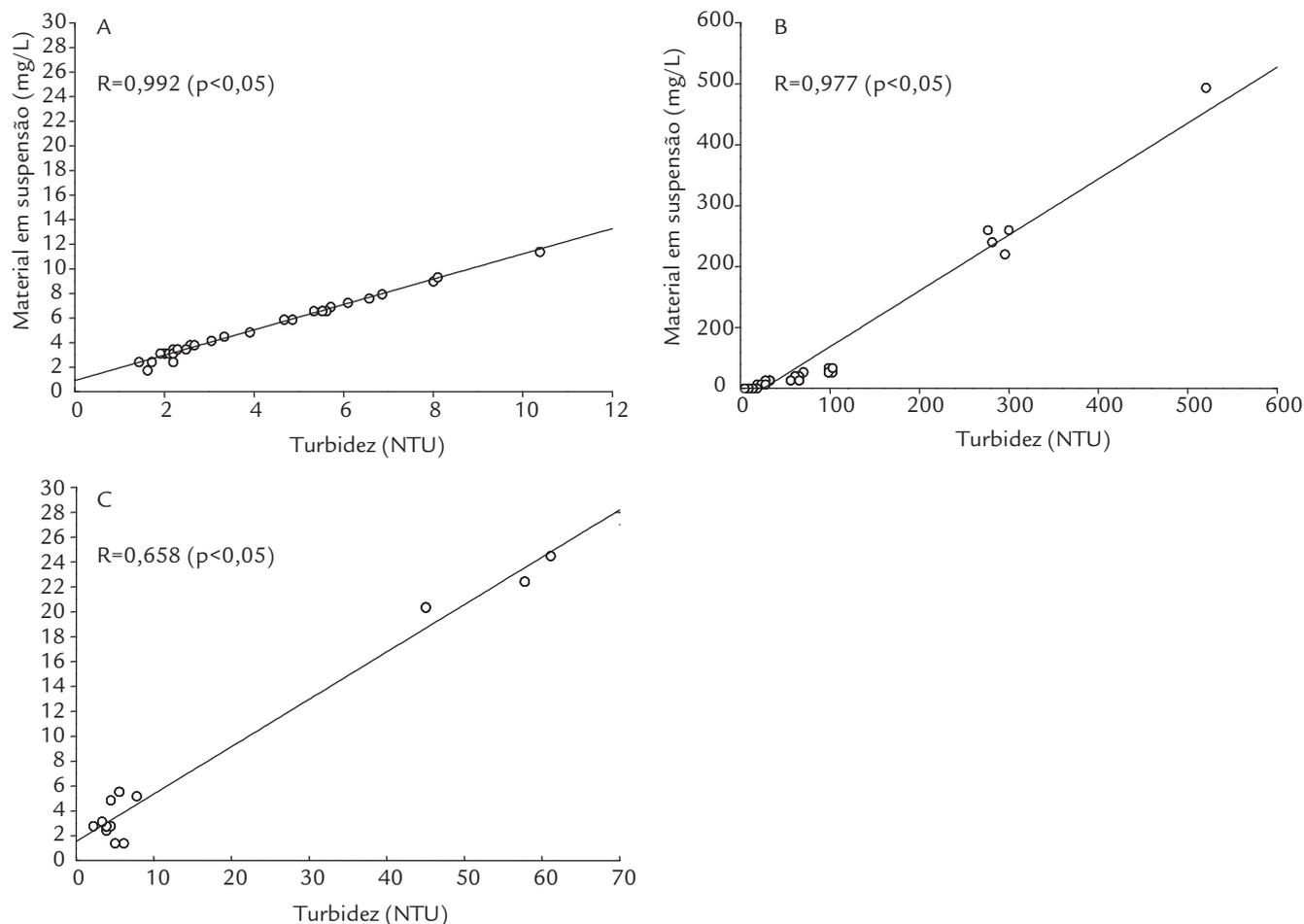


Figura 7  
Dispersão e correlação não paramétrica Spearman ( $p<0,05$ ) entre material em suspensão e turbidez nos anos de 2001 (A), 2004 (B) e 2007 (C).

Tabela 2  
Correlações não paramétricas de Spearman ( $p<0,05$ ) entre precipitação e material em suspensão nas regiões fisiográficas do Rio São Francisco.

	Alto São Francisco	Médio São Francisco	Submédio São Francisco	Baixo São Francisco
Ano 2001	***	***	***	***
Ano 2004	***	***	0,632	***
Ano 2007	***	***	***	0,658

\*\*\*Correlações não significativas.

## 5. CONCLUSÕES

A localização geográfica da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio São Francisco é determinante nas elevadas concentrações de material em suspensão e na turbidez na região fisiográfica do Baixo São Francisco, o que se torna mais importante do que a intensidade total da precipitação. Precipitações pluviométricas que ocorrem nas porções inferiores da bacia, mesmo com menores intensidades, produzem mais material em suspensão e incrementam a turbidez do que precipitações que ocorrem nas porções superiores da bacia

hidrográfica. Esse fato se deve à menor retenção de material em suspensão pelo sistema de reservatórios das usinas hidrelétricas em cascata. A correlação existente entre material em suspensão e turbidez demonstra que a turbidez pode ser utilizada como indicador da concentração de material em suspensão no Rio São Francisco. A ausência de correlação entre material em suspensão e turbidez com a vazão evidenciou a influência do extremo manejo da vazão com o objetivo de maximizar a produção de energia hidrelétrica.

Tabela 3

Área de drenagem, descargas de água, de sedimentos e rendimento para rios tropicais e subtropicais.

Rios	Área (x10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Q (km <sup>3</sup> /ano)	Q <sup>s</sup> (10 <sup>6</sup> t/ano)	Y (t/km <sup>2</sup> /ano)	Impactos
<sup>1</sup> São Francisco 1975		97	6,0	9,4	
<sup>1</sup> São Francisco 1983–1984		103	2,1	3,3	
<sup>1</sup> São Francisco 1999–2000	640	71	0,4	0,7	Barragens
<sup>1</sup> São Francisco 2001		47	0,2	0,3	
<sup>1</sup> São Francisco 2004 (fevereiro)		66 (10)	7,7 (6,1)	12,1 (9,5)	
<sup>1</sup> São Francisco 2007 (fevereiro)		95 (16)	1,1 (0,4)	1,7 (0,7)	
<sup>3</sup> Rio Itapicuru	36,44	-	0,017	0,46	Barragens
<sup>2</sup> Paraíba do Sul	55	28	0,6	11	Erosão/Barragens
<sup>2</sup> Rio Doce	90	20	9,9	110	Erosão
<sup>2</sup> Magdalena (Colômbia)	257	228	144	560	Erosão
<sup>2</sup> Chao Phraya (Tailândia)	160	28	6	37,5	Barragens
<sup>2</sup> Fly (Nova Guiné)	75		120	61	Erosão
<sup>2</sup> Pearl (China)	450	220	40	89	Barragens

Q: descarga de água; Q<sub>s</sub>: descarga de sedimentos; Y: rendimento Fonte: <sup>1</sup>Medeiros et al. (2011), <sup>2</sup>Medeiros et al. (2014), <sup>3</sup>Aquino et al. (2005).

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projetos Instituto do Milênio Estuários

(CNPq/MCT, processo n° 420.050/2005-1 e CNPq INCT-TMCOcean, processo n° 573.601/2008-9).

## 7. REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. 2008. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acessado em 03 jan 2008.
- Aquino R.F., Carvalho N.O., Dominguez J.M.L. 2005. Carga de sedimentos em suspensão produzida pela bacia do Rio Itapicuru. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Atas, p.1-6.
- Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Fontes L.C.S., Sousa D.L., Silva I.R., Silva F.R. 2007. Wave refraction, river damming, and episodes of severe shoreline erosion: the São Francisco River mouth, northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 23(4):930-938.
- Braz Filho P.A. 1980. Prospecto turfa (Baixo rio São Francisco). Salvador, CPRM/SUREG. Relatório C.C. 2606/010, 27 p.
- Bernardes L.M.C. 1951. Notas sobre o clima da bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia*, 13(3):473-489.
- Chanson H., Takeuchi M., Trevethan M. 2008. Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures for suspended sediment concentration in a small subtropical estuary. *Journal of Environmental Management*, 88:1406-1416.
- CHESF. Companhia Hidrográfica do Rio São Francisco. 2008. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br>. Acessado em 03 jan 2008.
- Esteves F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência, 226 p.
- Göransson G., Larson M., Bendz D. 2013. Variation in the turbidity with precipitation and flow in a regulated river system – river Göta Älv, SW Sweden. *Hidrology and Earth System Sciences*, 17:2529-2542.
- Hamilton J.L., Luffman I. 2009. Precipitation, pathogens, and turbidity trends in the Little River, Tennessee. *Physical Geography*, 30(3):236-248.

- Jesus D.B.M., Souza R.C.A. 2013. Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, BA, e as atividades antrópicas relacionadas. In: XII SEPA – Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, *Atas*, p. 73-84.
- Medeiros P.R.P., Knoppers B.A., Santos Júnior R.C., Souza W.F.L. 2007. Aporte fluvial e dispersão da matéria particulada em suspensão na zona costeira do estuário do Rio São Francisco (SE/AL). *Geochemica Brasiliensis*, 21(2):212-231.
- Medeiros P.R.P., Knoppers B.A., Cavalcante G.H., Souza W.F.L. 2011. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(2):387-397.
- Medeiros P. R. P., Knoppers B., Souza W. F. L., Oliveira E. N. 2011. Aporte de material em suspensão no Baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 15(1):42-53.
- Medeiros P.R.P., Santos M.M., Cavalcante G.H., Souza W.F.L., Silva W.F. 2014. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. *Geochemica Brasiliensis*, 28(1):65-78.
- Milliman J.D. 1975. A synthesis. In: Milliman J.D. & Summerhayes C.P. *Upper continental Sedimentology*. Stuttgart, p. 151-175.
- Milliman J.D. & Syvitski J.P.M. 1992. Geomorphic/ tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*, 100:525-544.
- Oliveira E.N., Knoppers B.A., Lorenzetti J.A., Medeiros P.R.P., Carneiro M.E., Souza W.F.L. 2012. A satellite view of riverine turbidity plumes on the NE-E Brazilian coastal zone. *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(3):283-298.
- Randall G.W. & Mulla D.J. 2001. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *Journal of Environmental Quality*, 30:337-344.
- Restrepo J.D. & Kjervfe B. 2000. Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *Journal of Geology*, 108:17-33.
- Silva A.E.P., Angelis C.F., Machado L.A.T., Waichaman A.V. 2008. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, 38(4):733-742.
- Souza W.L.F & Knoppers B. 2003. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochemica Brasiliensis*, 17(1):057-074.
- Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Bulletin 167. 2. ed. Ottawa, Fisheries Research Board of Canada, 167 p.
- Vasco A.N., Ribeiro D.O., Santos A.C.A.S., Mello Júnior A.V., Tavares E.D., Nogueira L.C. 2010. Qualidade da água que entra no estuário do rio Vaza Barris pelo principal fluxo de contribuição de água doce. *Scientia Plena*, 6(9):1-10.
- Wetzel R. G. *Limnology*. 2001. 3. ed. Philadelphia, W.B. Sandres, 743 p.