



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTAO AMBIENTAL**

**SOLANGE CAVALCANTI DE MELO**

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO TRECHO  
BAIXO DO RIO SÃO FRANCISCO: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

**Recife, 2019**

**SOLANGE CAVALCANTI DE MELO**

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO TRECHO  
BAIXO DO RIO SÃO FRANCISCO: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho  
Orientador

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Renata Maria Caminha M. de O. Carvalho  
Coorientadora

**Recife, 2019**

**SOLANGE CAVALCANTI DE MELO**

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO TRECHO  
BAIXO DO RIO SÃO FRANCISCO: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO AMBIENTAL**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da Aprovação: 06 / 02 / 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>o</sup> Dr. José Coelho de Araújo Filho  
Orientador – IFPE

---

Prof.<sup>a</sup> Dra Renata Maria Caminha M. de O. Carvalho  
Coorientadora – IFPE

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra  
Examinador Interno – MPGA

---

Prof.<sup>o</sup> Dr. Ronaldo Faustino da Silva  
Examinador Interno – MPGA

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Manuella Vieira Barbosa Neto  
Examinador Externo – IFPE

---

MSc. Geol. José Liberato de Oliveira  
Examinador Externo – APAC

Dedico este trabalho, aos meus pais  
Clóvis e Vilma e a todas as pessoas  
que amo, que sempre me ajudaram e  
apoiaram em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é mais uma realização estabelecida na minha vida profissional e diante deste fato, agradeço primeiramente a Deus o criador dos céus e da terra no qual me concedeu salvação através de seu filho Jesus Cristo. Sempre permaneceu ao meu lado, me guiando, ajudando a vencer os obstáculos e me confortando nos momentos difíceis. A ele toda honra e toda glória para sempre amém!.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, campus Recife, por meio do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental – MPGA pela oportunidade de realização.

À chefia da CPRM/SUREG-RE, ao gerente Robson de Carlos e o coordenador Fabio Araújo que me apoiaram e ajudaram quando precisei.

Aos meus queridos pais, Clóvis e Vilma que me incentivaram e apoiaram, no qual estiveram sempre presentes em todos os momentos alegres e tristes de minha vida.

Ao meu orientador José Coelho no qual o conheci por intermédio do mestrado que durante esse pouco tempo de convivência pude ter o respeito e a simpatia. Obrigada pela paciência, orientações e ensinamentos prestados, sempre muito educado e atencioso. Além disto, pela confiança depositada, mesmos diante das minhas dificuldades e dos percalços que a vida nos oferece, mas que superamos com êxito.

A minha coorientadora Renata Caminha pela orientação, apoio, ajuda e por acreditar em mim, na realização deste trabalho.

A toda a minha família em especial aos meus irmãos Jamesson, Clériston e Jefferson e a minha querida irmã Susana pelos companheirismos, amor e carinhos compartilhados. Aos meus lindos sobrinhos Clovis Allan, Arthur Henrique e William Rafael pelos momentos de descontração e carinhos recebidos.

Aos irmãos na fé em Cristo Jesus que me ajudaram em oração para superar os obstáculos em especial a Ir<sup>a</sup> Miriam sempre tão atenciosa aos meus problemas, pelos momentos de ânimo e força na caminhada.

Aos professores do mestrado: Sofia Suely, Hernande Pereira, Ronaldo Faustino e Marília Regina, pelos incentivos e sempre dispostos ajudar. Também aos demais professores que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento científico.

Aos amigos Cristiane Ribeiro, Daniel Oliveira e George Rodrigues, pela ajuda no trabalho e até mesmos em algumas orientações. Também não poderia esquecer os meus amigos Carlos Alberto Magalhães e Mercília Maria pelos momentos de descontração e apoio.

A todos os amigos da CPRM pelo apoio, companheirismo e momentos alegres, que de alguma forma me ajudaram. Também agradeço por fazer parte dessa família.

A todos os meus amigos que adquirir ao longo da minha caminhada que direta ou indiretamente me ajudaram.

“Confia no SENHOR de todo o teu coração  
e não te estribes no teu próprio entendimento.  
Reconhece-o em todos os teus caminhos,  
e ele endireitará as tuas veredas.”  
Provérbios. 3:5,6

## RESUMO

Os fluxos de sedimentos são processos naturais que ocorrem nos cursos de água, ocasionadas pelas erosões no meio ambiente. Entretanto, intervenções antrópicas podem acelerar ou aumentar os processos erosivos ou mesmo até reduzir as concentrações de sedimentos. Os barramentos instalados ao longo do rio São Francisco alteraram o regime das vazões naturais, nas regiões a jusante dos seus barramentos e apresentaram como principal consequência a regulação das vazões e a diminuição das concentrações de sedimentos. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi o de estimar quantitativamente os fluxos de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco após a barragem de Xingó. Para avaliação do comportamento sedimentológico, foram utilizados dados de vazão e concentração de sedimentos em suspensão, além dos dados de precipitação no intuito de entender melhor a dinâmica hidrológica na área de estudo. Os dados levantados foram obtidos do sistema Hidroweb no site da Agência Nacional da Água (ANA) no período de 1999 a 2018. Para estimativa da carga de sedimentos em suspensão foi utilizado o método da Curva-Chave de Sedimentos (CCS) nas estações fluviométricas instaladas no Baixo São Francisco. Os resultados mostram que as cargas estimadas de sedimentos em suspensão foram aumentando ao longo do rio, começando na estação de Piranhas com  $1,98 \times 10^6$  t/ano, na estação de Traipu com  $7,4 \times 10^6$  t/ano e na estação de Propriá, a mais próxima da foz do São Francisco, com  $8,0 \times 10^6$  t/ano para todo o período de estudo. O trecho considerado mais assoreado foi entre as estações de Piranhas e Traipu, onde o aumento do acumulado de sedimentos em suspensão chegou a 73,3% entre as estações. Para os dias atuais, compreendendo os anos de 2017/2018, a carga de sedimentos em suspensão estimada para o Baixo São Francisco foi de  $1,8 \times 10^4$  t/ano em Piranhas,  $8,5 \times 10^4$  t/ano em Traipu e de  $7 \times 10^4$  t/ano em Propriá, que são resultados considerados baixíssimos. A problemática se encontra nos últimos cinco anos aonde o Baixo São Francisco vem sofrendo com o período de estiagem. Desde 2013 houve redução gradativa das vazões disponibilizadas na barragem de Xingó. Consequentemente, houve também a redução gradativa das cargas de sedimentos em suspensão geradas nas estações de Piranhas, Traipu e Propriá. Nesse período foram encontrados os menores valores já registrados no Baixo São Francisco correspondendo as menores séries históricas tanto de vazão como de sedimentos em suspensão. Em referencia a disponibilidade hídrica essas séries de vazões ficaram abaixo da  $Q_{95}$  (vazão de permanência) para o período de estudo, indicando situações graves no que tange a vazões ecológicas na região. Essa diminuição das vazões e dos sedimentos nos últimos anos compromete seriamente o equilíbrio hidrodinâmico do curso do rio até a sua foz com a perda da energia devido à redução das velocidades dos fluxos. Consequentemente, os sedimentos vão se depositando ao longo do percurso do rio, além da invasão das águas do mar rio adentro com mais intensidade do que antes (período de estiagem), assim como a intrusão salina. Em virtude disto, a foz do Baixo São Francisco não está conseguindo renovar suas águas (águas novas) de modo a obter a mistura necessária para o equilíbrio ambiental na desembocadura do rio. Como resposta a essa crise hídrica, o estudo organizou um quadro síntese com as principais causas e efeitos negativos, bem como propostas de ações de controle para região em estudo.

**Palavras-chave:** Barragens; Curva-chave de sedimentos sem suspensão; vazões.

## ABSTRACT

Sediment flows are natural processes that occur in water courses, caused by erosions in the environment. However, anthropogenic interventions can accelerate or increase erosive processes or even reduce sediment concentrations. The dams installed along the São Francisco River altered the natural flow regime in the regions downstream of each dam and presented as a main consequence the flow regulation and the decrease of sediment concentrations. In this context, the objective of the research was to estimate quantitatively the suspended sediment flows in the Lower São Francisco after the Xingó dam. In order to evaluate the sedimentological behavior, flow data and sediment concentration in suspension were used, in addition to precipitation data in order to better understand the hydrological dynamics in the study area. The data collected were obtained from the Hidroweb system on the website of the National Water Agency (ANA) from 1999 to 2018. The Sediment Key Curve (CCS) method was used to estimate the suspended sediment load at the installed fluviometric stations in the Lower São Francisco. The results show that the estimated loads of suspended sediments were increasing along the river, starting at the Piranhas station with  $1.98 \times 10^6$  t / year, at Traipu station with  $7.4 \times 10^6$  t / year and at Propriá station, the closest to the mouth of the São Francisco, with  $8.0 \times 10^6$  t / year for the entire period of study. The section considered most silted was between the stations of Piranhas and Traipu, where the increase of the accumulated sediment in suspension reached 73.3% between the stations. For the present day, covering the years 2017/2018, the estimated sediment load for Lower São Francisco was  $1.8 \times 10^4$  t / yr in Piranhas,  $8.5 \times 10^4$  t / year in Traipu and  $7 \times 10^4$  t / year in Propriá, which are considered very low results. The problem has been in the last five years where the Lower São Francisco has been suffering from the dry season. Since 2013 there has been a gradual reduction of the flows available in the Xingó dam. Consequently, there was also the gradual reduction of suspended sediment loads generated at the Piranhas, Traipu and Propriá stations. In this period, the lowest values already recorded in Lower São Francisco were found, corresponding to the lower historical series of both discharge and suspended sediments. In reference to water availability, these flow series were below  $Q_{95}$  (permanence flow) for the study period, indicating serious situations regarding ecological flows in the region. This decrease in flow and sediment in recent years seriously compromises the hydrodynamic equilibrium of the course of the river to its mouth with the loss of energy due to the reduction of flow velocities. Consequently, sediments are deposited along the river's course, in addition to the invasion of the sea in the river with more intensity than before (drought), as well as saline intrusion. Because of this, the mouth of the Lower São Francisco is not managing to renew its waters (new waters) in order to obtain the necessary mixture for the environmental balance at the mouth of the river. In response to this water crisis, the study organized a summary table with the main causes and negative effects, as well as proposals for control actions for the region under study.

Keywords: Dams; Sediment key curve without suspension; flow rates.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Forma de canais do tipo meândricos nos cursos de água.....	22
Figura 02	Perfil transversal do rio, ilustrando as zonas de erosão e deposição de sedimentos.....	22
Figura 03	Regime de velocidade em função da forma do leito dos rios.....	23
Figura 04	Amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (IIL).....	30
Figura 05	Equipamento de medição de descarga sólida no rio São Francisco.....	31
Figura 06	Subdivisão da bacia do rio São Francisco.....	39
Figura 07	Perfil longitudinal do rio São Francisco.....	40
Figura 08	Tipos de solos na bacia hidrográfica do rio São Francisco.....	43
Figura 09	Localização dos reservatórios no curso do rio São Francisco.....	44
Figura 10	Região do Baixo São Francisco.....	51
Figura 11	Unidades geoambientais no baixo São Francisco.....	53
Figura 12	Diagrama unifilar no trecho baixo do São Francisco a partir da barragem de Xingó.....	58
Figura 13	Mapa com as posições reais das estações instaladas no baixo São Francisco.....	59
Figura 14	Reta acumulativa entre as estações de Piranhas - Pão de Açúcar.....	63
Figura 15	Distribuição mensal das chuvas em Piranhas no período de 1981 a 2018.....	68
Figura 16	Distribuição mensal das chuvas em Pão de Açúcar entre 1981 e 2018.....	69
Figura 17	Distribuição mensal das chuvas em Traipu entre 1981 e 2018.....	69
Figura 18	Distribuição mensal das chuvas em Propriá entre 1981 e 2018.....	69
Figura 19	Distribuição mensal das chuvas em Penedo entre 1981 e 2018.....	70
Figura 20	Distribuição mensal das chuvas em Piaçabuçu entre 1981 e 2018.....	70
Figura 21	Comportamento anual das precipitações em Piranhas entre 1981 e 2018.....	72
Figura 22	Comportamento anual das precipitações em Pão de Açúcar entre 1981 e 2018....	72
Figura 23	Comportamento anual das precipitações em Traipu entre 1981 e 2018.....	73
Figura 24	Comportamento anual das precipitações em Propriá entre 1981 e 2018.....	73
Figura 25	Comportamento anual das precipitações em Penedo entre 1981 e 2018.....	73
Figura 26	Comportamento anual das precipitações em Piaçabuçu entre 1981 e 2018.....	74
Figura 27	Vazões médias mensais das estações entre os anos de 1977 a 2018.....	75
Figura 28	Curva de permanência das estações Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu e Propriá no período de 1977 a 2018.....	77
Figura 29	Cotograma das médias mensais das estações no período de 1979 a 2018.....	79
Figura 30	Relação chuva-vazão nas estações de Piranhas no período de 1981 a 2018.....	80
Figura 31	Relação chuva-vazão nas estações de Pão de açúcar no período de 1981 a 2018.	81

Figura 32	Relação chuva-vazão nas estações de Traipu no período de 1981 a 2018.....	81
Figura 33	Relação chuva-vazão nas estações de Propriá no período de 1981 a 2018.....	81
Figura 34	Relação chuva-cota nas estações de Penedo entre os anos de 1981 a 2018.....	82
Figura 35	Relação chuva-vazão nas estações de Brejo Grande e Piaçabuçu no período de 1981 a 2018.....	83
Figura 36	Dados brutos das medições de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 2006 a 2016.....	84
Figura 37	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Piranhas.....	85
Figura 38	Dados brutos das medições de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 1999 a 2018.....	85
Figura 39	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Traipu para o ano de 1999.....	86
Figura 40	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Traipu para os anos de 2000 a 2001	87
Figura 41	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Traipu para os anos de 2005 a 2018.....	87
Figura 42	Dados brutos das medições de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 2000 a 2018.....	88
Figura 43	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Propriá para os anos de 2000 a 2005.....	89
Figura 44	Curva-chave de sedimento em suspensão na estação de Propriá para os anos de 2006 a 2018.....	90
Figura 45	Carga sólida em suspensão média mensal na estação Piranhas entre 2006 a 2018	91
Figura 46	Carga sólida em suspensão anual na estação de Piranhas entre 2006 e 2018.....	92
Figura 47	Carga sólida em suspensão média mensal na estação Traipu entre 1999 e 2018...	93
Figura 48	Carga sólida em suspensão anual na estação de Traipu entre 1999 e 2018.....	94
Figura 49	Carga sólida em suspensão média mensal na estação Propriá entre 2000 e 2018..	95
Figura 50	Carga sólida em suspensão anual na estação de Propriá entre 2000 e 2018.....	95
Figura 51	Série de sedimento em suspensão nas estações de Piranhas, Traipu e Propriá.....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Característica fitográfica para as divisões do rio São Francisco.....	40
Tabela 02	Dados de aportes de sedimento nos anos de 1975, 1993, 2003 e 2007 no baixo São Francisco.....	49
Tabela 03	Característica geral da barragem de Xingó.....	57
Tabela 04	Característica do reservatório de Xingó.....	57
Tabela 05	Estações fluviométricas no trecho Baixo do São Francisco.....	58
Tabela 06	Estações Pluviométricas no trecho Baixo do São Francisco.....	58
Tabela 07	Levantamento de dados das estações fluviométricas.....	60
Tabela 08	Levantamento de dados de chuva nas estações pluviométricas.....	60
Tabela 09	Valores das concentrações de sólidos suspensão específico (Q <sub>ss</sub> específico).....	67
Tabela 10	Médias anuais do acumulado no período de 1981 a 2018.....	71
Tabela 11	Resumo das vazões de permanência mensais para o período de 1977 a 2018.....	77
Tabela 12	Resumo das curvas elaboradas pelo método do traçado visual para cada estação em estudo.....	90
Tabela 13	Resumo dos resultados acumulados das estações a jusante da barragem de Xingó para o período de estudo compreendido para cada estação.....	97
Tabela 14	Resumo dos resultados acumulados das estações a jusante da barragem de Xingó para o ano de 2017.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional da Água
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CCS	Curva-chave de Sedimento
CE	Condutividade elétrica
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CODEVASF	Companhia do Desenvolvimento do Vale do São Francisco
FLOWTRACKER	Medidor de vazão ADV Sontek
GEF	Fundo Global para o Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OD	Oxigênio Dissolvido
OEA	Organização dos Estados Americanos
pH	Potencial hidrogênico
RIVERSURVEYOR M9	Medidor de vazão Sontek
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
t	tonelada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos.....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	GEOMORFOLOGIA FLUVIAL.....	21
2.2	ESTUDO DA SEDIMENTOLOGIA.....	23
2.2.1	Erosão Hídrica: transporte de sedimentos.....	25
2.3	REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL.....	28
2.3.1	Medições nas estações hidrométricas instaladas nas bacias hidrográficas.....	29
2.4	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO PELO MÉTODO DA CURVA-CHAVE (CCS).....	32
2.5	POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	34
2.6	IMPACTOS CAUSADOS POR BARRAMENTOS EM CURSOS DE ÁGUAS.....	36
2.7	BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	38
2.7.1	Caracterização geral da bacia.....	38
2.7.2	Uso e ocupação da terra.....	42
2.7.3	Influências antrópicas na bacia.....	46
2.7.4	Consequências das influencias antrópicas no Baixo São Francisco.....	48
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO: BAIXO SÃO FRANCISCO.....	51
3.2	USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ.....	56
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS ESTUDADAS.....	57
3.4	COLETA DOS DADOS PARA O ESTUDO.....	59
3.4.1	Análise de consistência de dados.....	61
3.4.1.1	Análise de precipitação (chuva).....	61
3.4.1.2	Análise de Vazão e Cota.....	63
3.4.1.3	Tratamento estatístico dos dados.....	64
3.4.1.4	Análise de sedimentos e tratamento estatístico.....	64
3.5	DETERMINAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS (CCS).....	65
3.5.1	Cálculos das cargas de sedimentos em suspensão para as estações estudadas.....	66
3.5.2	Cálculo da produção específica de sedimentos.....	66
3.5.3	Análise das causas e efeitos da estimativa de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco.....	67
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>68</b>
4.1	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE CHUVA, VAZÃO E COTA.....	68
4.1.1	Análise dos dados de precipitação (chuva).....	68
4.1.2	Análise dos dados de vazões.....	75
4.1.3	Análise dos cotagramas das estações fluviométricas de Penedo e Brejo Grande.....	78
4.1.4	Análise da relação chuva-vazão.....	80
4.1.5	Análise da relação chuva-cota.....	82
4.2	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA RELAÇÃO VAZÃO-SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO.....	83
4.2.1	Análise bruta da relação vazão-sedimento em suspensão e curva-chave na estação Piranhas.....	83
4.2.2	Análise bruta da relação vazão-sedimento em suspensão e curva-chave na estação	

	Traipu.....	85
4.2.3	Análise bruta da relação vazão-sedimento em suspensão e curva-chave na estação Propriá.....	88
4.3	ESTIMATIVA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E CARGA ESPECÍFICA DE SEDIMENTOS.....	91
4.4	CAUSAS E EFEITOS DA RELAÇÃO VAZÃO E DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO BAIXO SÃO FRANCISCO.....	101
5	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O rio São Francisco é um dos cursos de água mais importantes do Brasil, principalmente por atravessar a região semiárida brasileira situada em sua maior parte na região Nordeste.

O conhecimento da análise quantitativa das concentrações de sedimentos em suspensão transportados pelo rio São Francisco bem como sua relação com as vazões é de muita importância, pois pode auxiliar na identificação dos efeitos da intervenção humana e ou ocasionados pelas condições naturais da região. A intervenção antrópica pode iniciar ou acelerar os processos erosivos causados por atividades agrícolas, desmatamentos, mineração, entre outros.

Em seu percurso apresenta vários tipos de usos (irrigação, geração de energia, navegação, saneamento, pesca e aquicultura, atividades turísticas e de lazer) e possui algumas barragens com potencial hidrelétrico e de regularização de vazão como: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso e Xingó, cujo potencial hidrelétrico aproveitado é de 10.473 MW. Contudo a bacia precisa de um planejamento adequado para sua gestão (ANA, 2017). As mudanças hidrológicas na calha do rio começaram nos anos oitenta onde foram constituídos grandes projetos de usinas hidrelétricas (Sobradinho no médio, Apolônio Sales e Paulo Afonso no Submédio e Xingó no baixo São Francisco) e de irrigação (FONTES, 2016).

Segundo Carvalho et al. (2000) as taxas de erosão ocasionadas por intervenção antrópicas chegam a ser cem vezes maiores que as taxas realizadas por processos naturais. Os assoreamentos nos rios são bons exemplos de impactos negativos principalmente em grandes rios.

Nos últimos anos a bacia do rio São Francisco vem sofrendo vários problemas ambientais que causam impactos desastrosos, principalmente no Baixo São Francisco. Em 2013 houve a primeira redução de vazão de acordo com a Resolução nº 442/2013, reduzindo a vazão mínima para 1.100 m<sup>3</sup>/s. Com a continuação da estiagem no ano de 2015, tornou-se necessária a elaboração de um plano de contingência na bacia e a Agência Nacional da Água (ANA) decretou outra Resolução nº 206/2015, que manteve a prática dos 1.100m<sup>3</sup>/s, porém permitiu a redução para 1.000 m<sup>3</sup>/s. Contudo, ainda neste mesmo ano, a Resolução nº 713/2015 reduziu ainda mais a vazão mínima para 900 m<sup>3</sup>/s até dezembro de 2015. Em 2016, a redução continuou caindo, chegando a 800 m<sup>3</sup>/s segundo a Resolução nº 66/2016, adotada

até outubro de 2016 (ANA, 2018). Entretanto, em março de 2016, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) autorizou por decisão da justiça, o aumento da vazão mínima de 800 para 900 m<sup>3</sup>/s esforço conseguido pela ação civil pública (colônia de pescadores) que se sentiram prejudicados pela diminuição da vazão na barragem de Xingó (ANA, 2018).

Em abril de 2016 o IBAMA emitiu um documento apontando a decisão de sustentar a vazão mínima de 1.300 m<sup>3</sup>/s considerando o limite imposto pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no seu plano para a bacia. Porém, por questões do período de seca essa vazão encontrava-se em torno de 800 m<sup>3</sup>/s (GONÇALVES, 2016). Em relação à época de chuva, os anos 2016 e 2017 foram considerados os piores anos hidrológicos da bacia do rio São Francisco onde choveram em torno de 51% abaixo da média para a época (COSTA, 2017).

Em 2017, o patamar da vazão caiu para 700 m<sup>3</sup>/s, estabelecido pela Resolução nº 1.283/2016 até março de 2017. Segundo a CHESF (2017), foi autorizada pelo IBAMA e a ANA a redução de vazão nos reservatórios de Sobradinho e Xingó de 700 m<sup>3</sup>/s para 600 m<sup>3</sup>/s até novembro de 2017, com a finalidade de manter água disponível nos reservatório para abastecimento doméstico.

Porém, com o avanço da estiagem em julho de 2017 através da Resolução nº 1.291/2017, foi autorizada a prática da liberação de água acima de 523 m<sup>3</sup>/s, garantindo a média de 550 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2018). Essa foi a menor vazão de regularização no São Francisco, principalmente na região do Baixo São Francisco onde sofre com a problemática da invasão do mar nos trechos próximos a foz.

O estudo de Fontes (2016) no baixo São Francisco afirma que o regime hidrológico depois da construção das barragens sofreu mudanças significativas, principalmente com o controle da vazão liberada. Além do uso e ocupação irregular de suas margens, o mesmo também vem sofrendo com eventos erosivos ao longo do rio potencializados pelas ações antrópicas e combinados com os processos naturais.

A bacia do Rio São Francisco vem sendo degradada ao longo de décadas em função, principalmente, da intensiva atividade antrópica nas margens do rio que inclui a retirada ou queima da vegetação nativa e o uso inadequado do solo para agricultura e pecuária. Isso tem gerado um aporte considerável de sedimentos para os reservatórios, causando diversos impactos ambientais. Entre os vários aspectos podem ser destacados aqueles que afetam a geração de energia elétrica; a capacidade de armazenamento de reservatórios; a poluição física e química da água prejudicando a sua qualidade para o consumo humano, uso industrial e



agrícola; o aumento de custos para o tratamento da água; danos à vida aquática, entre outros.

Com a problemática das vazões baixas no Baixo São Francisco são necessários estudos que verifiquem os comportamentos diários e anuais do rio nessa região através de monitoramento das vazões e conseqüentemente os fluxos de sedimentos disponíveis. A presente pesquisa busca gerar informações para uma visão sistêmica dos fluxos de descargas líquidas e sólidos em suspensão na região do Baixo São Francisco com vistas ao uso racional dos recursos hídricos da região.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Identificar os efeitos nas séries de vazão e de carga sólida nos cursos de água podem mostrar interferências antrópicas ou naturais (climáticos) no rio. A produção de água e sedimentos é afetada pelas alterações nos usos e cobertura do solo na bacia. O desenvolvimento regional vem afetando o equilíbrio natural em vários aspectos como a atividade pesqueira (diminuição de peixes), aumento do assoreamento, alteração da paisagem (estradas, pontes etc.), redução de água (crescimento da agricultura de exportação, exigindo grandes áreas de irrigação), entre outros.

Silva, Medeiros e Viana (2010), afirmaram que as barragens do São Francisco alteraram a forma e capacidade de transporte no rio. Isso vem causando aumento no fornecimento de sedimentos para o reservatório, e conseqüente assoreamento, em virtude da mudança da água corrente para água parada. Futuramente esses reservatórios precisarão de limpezas de fundos (volume morto) na qual irão descarregar resíduos sólidos (sedimentos) rio abaixo. Conseqüentemente, será possível sentir a dezenas, e até centenas de quilômetros a jusante do rio, os grandes impactos ambientais causados.

Segundo a pesquisa realizada por Medeiros et al. (2007), no baixo Rio São Francisco a vazão sofreu grande redução da variabilidade interanual ao longo do tempo, apresentando também redução da variabilidade sazonal e diminuição da magnitude da vazão. Tal comportamento está associado a construções de barragens em cascata no médio-baixo rio São Francisco, pois foram também evidenciadas alterações no material particulado em suspensão.

Souza et al. (2011) também constataram que os impactos negativos no baixo São Francisco são extremamente relevantes, como o escoamento das águas e de materiais em suspensão para áreas costeiras na quantidade e qualidade desde: a intrusão salina, desestabilização da costa, perda da fertilidade nos estuários, até mudanças no ciclo biogeoquímico locais e globais.

A pesquisa contribuirá para caracterizar a situação atual das concentrações de sedimentos em suspensão ao longo do rio São Francisco no seu trecho baixo, visto que, após a construção das barragens houve uma diminuição significativa na produção de sedimento e agora sendo complementada pelas condições climáticas atuais como o período de seca na qual o rio São Francisco vem enfrentando. O estudo também relacionará os dados de vazões e precipitações de modo a conhecer melhor a dinâmica hidrológica no baixo São Francisco.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Estimar quantitativamente os fluxos de sedimentos em suspensão a jusante da barragem de Xingó e analisar as causas e efeitos ao longo do período de 1999 a 2018 no Baixo São Francisco.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a série histórica dos dados de precipitação para avaliar a distribuição de chuva no trecho estudado;
- Analisar a série histórica dos dados de vazão, assim como, caracterizar o comportamento hidrológico do rio, principalmente nas vazões baixas do período em estudo;
- Analisar cotogramas das estações fluviométricas, de modo a verificar o comportamento dos níveis de água, principalmente nas estações de Penedo e Brejo Grande, pois não possuem dados de vazão;
- Analisar as relações de chuva-vazão e de chuva-cota nas séries estudadas;
- Analisar os dados brutos das medições de cargas sólidas em suspensão e as descargas líquidas no período de estudo nas estações fluviométricas;
- Determinar as curvas-chave de sedimentos em suspensão (CCS) para as estações fluviométricas;
- Utilizar as curvas-chave de sedimentos em suspensão nas séries de vazões líquidas diárias para estimar as descargas sólidas em suspensão diárias no trecho do Baixo rio São Francisco, assim como, obter as cargas médias mensais (t/mês) e anuais (t/ano);
- Calcular as produções específicas de sedimento em suspensão ( $t/km^2.ano$ ) para cada estação fluviométrica;

- Analisar as causas e efeitos dos impactos dos fluxos de sedimentos no Baixo São Francisco.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico foi elaborado de modo a obter uma visão geral sobre o assunto, e de facilitar a compreensão a certos conceitos, experimentos ou metodologia, assim como, as consequências e ações realizadas, no âmbito da Gestão de Recursos Hídricos.

### 2.1 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

Nas bacias hidrográficas qualquer acontecimento que venha obter ocorrências, principalmente antrópicas interferem na sua dinâmica comprometendo os solos, os cursos de águas entre outros.

A geomorfologia é a ciência que estuda a forma da terra, ou seja, as formas superficiais do relevo terrestre, sua gênese e os processos que nela atuam. A geomorfologia fluvial constitui um dos campos da geomorfologia que estuda as relações dos processos de erosão e suas deposições (sedimentos), resultantes do escoamento dos cursos de águas dando origem a formas de relevo ou mudanças nas paisagens (FLORENZANO, 2008).

Na terminologia geomorfológica, o nome rio constitui qualquer fluxo que possa estar canalizado ou confinado. As chuvas e as águas subterrâneas interferem no aporte dos fluxos desses rios na qual desaguam em outros rios ou nos oceanos (FONTES, 2010).

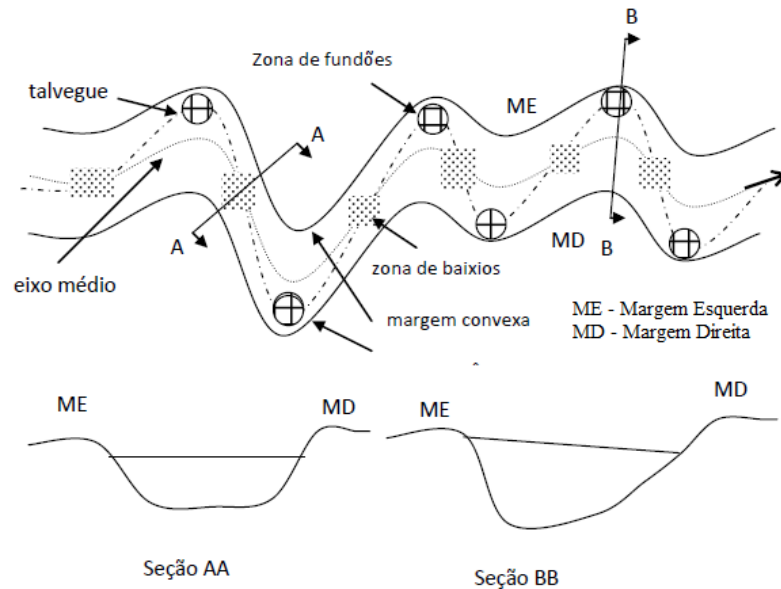
O fluxo de sedimento é um processo natural, que está atrelado à remoção, o transporte e a deposição desse material e conseqüentemente faz parte das mudanças das paisagens originando as formas geomorfológicas. Contudo, na bacia hidrográfica a formação desse material e o seu transporte é resultado da influencia de fatores hidrológicos, dentre elas, a precipitação na sua quantidade e distribuição, na geologia, assim como na pedologia, na topografia e na vegetação (SANTOS et al., 2001).

Conhecer essas principais características são importante para entender sua dinâmica nos processos morfológicos, inclusive o tipo de carga de sedimento a ser fornecida no rio. Contudo, outro ponto importante para se entender a dinâmica morfológica dos cursos de águas são as formas do leito ou as suas calhas ao longo dos rios, no intuito de entender o comportamento dos fluxos da água e dos transportes de sedimentos nela inseridos.

Dentre as formas existentes no rio, têm-se os chamados canais meândricos, considerados os mais problemáticos para os casos de erosão em rios. Os canais meandros

são aquelas curvas sinuosas e semelhantes entre si (ALMEIDA; LOPES, 2010). A Figura 01 ilustra um percurso de rio na forma de canais meândricos.

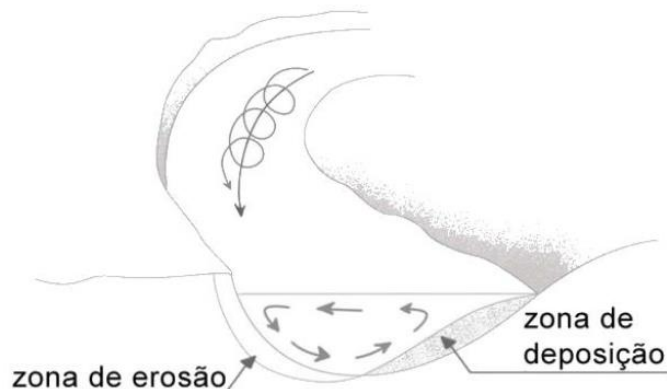
Figura 01 – Forma de canais do tipo meândricos nos cursos de água



Fonte: Almeida e Lopes (2010).

Nas margens côncavas é realizada ação contínua do fluxo de água, e é onde ocorrem as maiores velocidades no qual aceleram os processos de erosão nas suas margens. Em contrapartida na outra margem (convexa) ocorrem as menores velocidades, conseqüentemente, onde existe a ocorrência de deposição dos sedimentos (ALMEIDA; LOPES, 2010). A Figura 02 ilustra a zona de erosão e deposição de sedimento no leito dos rios.

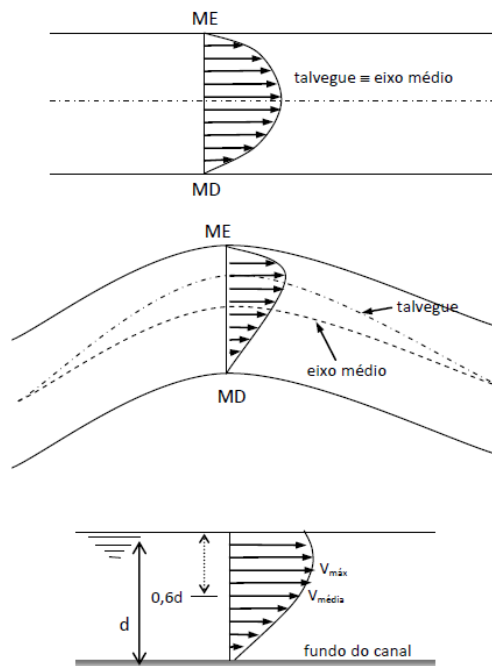
Figura 02 – Perfil transversal do rio, ilustrando as zonas de erosão e deposição de sedimentos



Fonte: Almeida e Lopes (2010).

Corriqueiramente, as calhas dos rios sofrem constantes alterações, seja por ações naturais ou por ações antrópicas. O próprio regime das vazões no curso de água, tanto em seu aumento como na sua diminuição, altera o comportamento do transporte de sedimentos. Os regimes de velocidades nesses trechos interferem em mais erosão ou deposição. A Figura 03 ilustra as diferentes velocidades nos cursos de água.

Figura 03 – Regime de velocidade em função da forma do leito dos rios



Fonte: Almeida e Lopes (2010).

Daí, a importância de estudos dos fluxos de sedimentos ao longo dos cursos de água numa bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica também chamada de área de drenagem constitui a área da superfície terrestre na qual é drenada por um rio principal e seus afluentes é delimitada pelos divisores de água compreendendo um ponto de saída (FLORENZANO, 2008). Vários fatores interferem na sua dinâmica, pois o regime hidrológico apresenta as alterações do volume de água que flui para o curso de água ao longo do tempo.

## 2.2 ESTUDO DA SEDIMENTOLOGIA

A formação das bacias hidrográficas depende dos processos de formação sedimentológica daí a importância do estudo da sedimentologia.

A sedimentologia estuda os sedimentos, seu processo de transformação desde a origem, as condições de transporte e sua acumulação sendo influenciada pelo clima e dos processos tectônicos global. Nesse estudo também é possível de nos apresentar a história interna e externa da terra (POMEROL et al., 2013).

Os sedimentos transportados e depositados em decorrência dos escoamentos das águas dos rios são denominados de sedimentos fluviais. A formulação de um projeto de controle de sedimentos inclui vários métodos para redução dos danos e um desses métodos é o controle de erosão das áreas de origem do sedimento (CARVALHO, 2008).

É extremamente importante o conhecimento da quantificação dos sedimentos para análise de degradação de uma bacia, no intuito de constatar a qualidade das águas para abastecimento humano, assoreamento de rios e reservatórios, além de posicionamento de obras fluviais e outros estudos nas áreas ambientais e de engenharia (REIS; FALCÃO, 2010)

Segundo Reis, Parker e Alencão (2010) os sedimentos presentes no ambiente fluvial são extremamente importantes, pois servem de nutrientes para os seres vivos, inclusive o tamanho dos grãos providenciam diferentes habitats para comunidades aquáticas, ou seja, são importantes para a biodiversidade fluvial.

Segundo Scapin (2005), as conduções dos sedimentos erodidos por carga sólida são de: arraste, saltante e em suspensão. A carga sólida de arraste são partículas de sedimentos que rolam e escorregam sobre os leitos dos rios. A carga sólida saltante são as partículas que pulam por causa da colisão uma nas outras. A carga sólida em suspensão são as partículas de sedimentos capazes de se manter em suspensão mesmo com fluxo turbulento.

O comportamento dos sedimentos é muito diferenciado ao longo na bacia hidrográfica desde a montante (parte mais alta) a jusante (parte mais baixa). Contudo, isso depende da composição das rochas, da cobertura vegetal, declividades, do regime de chuvas e de outros fatores. De uma maneira geral, nas partes altas dos rios existem maiores erosões e transporte de sedimentos devido à declividade do terreno. Nas áreas baixas da bacia são formados os colúvios, onde se encontra a maior parte dos sedimentos que foram erodidos. Portanto, a degradação dos solos ocorre nas áreas altas da bacia enquanto que a agradação ocorre nas áreas mais baixas da mesma (CARVALHO, 2008).

### 2.2.1 Erosão hídrica: transporte de sedimentos

As partículas sólidas presentes na água são provenientes da erosão do próprio leito e margens dos rios ocorridas nos eventos de chuvas ou enxurradas. Esses sedimentos são transportados para os corpos de água no qual se movem em suspensão, rolando, deslizando ou em saltos.

A precipitação é o parâmetro principal nos projetos hidrológicos, em relação a sua intensidade (grandes volumes) ou na sua ausência (período de estiagem). Em grandes intensidades causam danos a agricultura e a estrutura das barragens, sobretudo, podendo agravar a erosão em áreas de solos descobertos sem vegetação na região. Em pequenas quantidades ou ausência pode causar diminuição das vazões e diminuição do volume de água nos reservatórios (PAIVA et al., 2010).

Segundo Hernani et al. (2000) citado por Filizola et al. (2011), no Brasil a principal forma de degradação dos solos é a erosão, sendo que as perdas estimadas para as regiões de lavouras são da ordem de 750 milhões de toneladas e de 70 milhões de toneladas para as áreas de pastagens em todo o país.

Para Carvalho (2008), na construção de rodovias e estradas, são onde ocorrem processos de erosão mais severos, pois a cobertura vegetal é retirada, deixando o solo desprotegido além de ocorrer alterações na declividade do terreno. Essas obras são realizadas sem as devidas precauções ambientais. A lavagem desses sedimentos se faz sentir a dezenas e até centenas de quilômetros a jusante da origem do problema.

O transporte dos sedimentos por um fluido depende da concentração dessas partículas e da vazão correspondente. Existem dois tipos de fluxos nos cursos de água: o laminar e o turbulento que permitem colocar em suspensão temporária ou permanente as partículas (POMEROL et al., 2013).

Contudo, aproximadamente de 70 a 90% de todo sedimento transportado pelos fluxos dos rios ocorrem no período chuvoso (fortes precipitações) e as medições de sedimentos devem levar em consideração esse período. A granulometria dos sedimentos é variada, assim como, a velocidade no seu transporte sofrerão velocidades também variadas de acordo com as condições locais e do escoamento (CARVALHO, 2008).

A vazão sólida num curso de água é a quantidade do material que atravessa a seção durante o tempo, podem ser expresso por kg/s ou t/dia. A força do fluxo quando diminui as partículas em suspensão poderão sedimentar-se num ambiente mais brando (POMEROL et al., 2013).



A distribuição do acúmulo de sedimentos numa seção transversal é muito variável, e são mais bem representadas em termos de concentração. Em relação ao fluxo da água as velocidades são menores perto das margens. Existe um aumento da velocidade quando se aproxima do centro e depois a velocidade vai diminuindo novamente em direção à outra margem. A temperatura da água pode exercer diferenças de concentrações de sedimentos finos em suspensão. Nas águas onde existem temperaturas mais frias, a concentração de sedimento fino aumenta devido à viscosidade que diminui (CARVALHO, 2008).

Conforme Vanoni (1977) citado por Carvalho (2008), é visível após uma enxurrada à coloração barrenta dos rios evidenciando a erosão. A erosão é, pois, um acontecimento muito comum no meio ambiente: As barrancas das margens dos rios que caem, os taludes de morros que desabam, as enxurradas que desgastam os solos desprotegidos por vegetação, são alguns exemplos de erosão.

O transporte de areias, lamas em regime torrencial pelos rios são trazidos ao mar, além disto, existe a diferença de densidade entre as águas doces e salinas cria uma carga iônica que provoca a floculação das partículas mais finas em suspensão coloidal (POMEROL et al., 2013).

Segundo Carvalho (2008), as calhas dos rios são formadas pela ação do escoamento das águas, e os acúmulos de sedimentos (aluviais) chegam a criar grandes assoreamentos. Os famosos deltas formados na foz dos rios são exemplos de depósitos de sedimentos, que são extremamente ricos em nutrientes (férteis). Segundo o autor, como problemática da erosão tem-se:

- Prejuízos nas terras agrícolas pela perda de nutrientes (fertilidade) do solo
- Os sedimentos erodidos vão formar depósitos em outros locais rio abaixo
- Os sedimentos em suspensão causam danos severos na qualidade das águas para consumo humano, pois seu tratamento requer tempo e dinheiro
- Nas cabeceiras provoca a destruição das nascentes
- Aumenta os riscos de desertificação
- Nas áreas agrícolas provoca a infertilidade das terras (remoção de nutrientes)
- Alterações das calhas dos rios e depósitos no leito
- Trabalhos de mineração prejudicam também a calha do rio
- Enxurradas produzem sulcos em locais indesejáveis.

Os sedimentos erodidos são levados e depositados ao longo do rio, nas depressões e planícies, lagos e mares dando origem as rochas sedimentares. Conforme suas características

os sedimentos são conhecidos como seixos rolados, lodos ou outras formações. Ainda segundo Carvalho (2008) existe duas formas de erosão:

- A erosão geológica: forma natural onde ocorre a desagregação das rochas (solos, formações superficiais e pedras), como também o seu transporte sem a interferência do homem.
- A erosão acelerada: antrópica aquela onde ocorre a ação do homem. Outras causas de erosão como enchentes, terremotos e erupções vulcânicas, também estão contida neste grupo ainda que não sejam antrópicas.

A carga em suspensão é constituída por partículas de granulometria pequena (silte, argila, algumas partículas de areia) que são facilmente transportadas pelo fluxo das águas na forma de solução, ou seja, é a fração mais fina do material transportado (SANTOS et al., 2001).

Em relação aos agentes erosivos são aqueles elementos que se encontram no meio físico e que causam a erosão dos quais podem ser agentes ativos e passivos. Os agentes ativos são: a água, a temperatura, a insolação, o gelo, os microorganismos e a ação humana. Os agentes passivos são: a topografia, a gravidade, os tipos de solos, a cobertura vegetal, as formações superficiais e as práticas antrópicas. O mais importante agente é a água das chuvas, pois pode causar diversos efeitos, dependendo da intensidade, quantidade, duração e a frequência da ocorrência causando estragos pequenos, médios, grandes ou até mesmos catastróficos no solo. De acordo com Carvalho (2008) dentre outros, são apresentados os seguintes tipos de erosão:

- Eólica: ocasionada pelo vento;
- Fluvial: ocasionada pela ação dos fluxos dos rios e conseqüentemente responsável pelo aprofundamento e ou alargamento dos leitos dos rios. O material acumulado e chamado como aluvião;
- Pluvial: ocasionada pelo processo da chuva (pluvial).

Os sedimentos em suspensão possuem uma distribuição ao longo do tempo e espaço e estão sujeitos a velocidade do fluxo (vazão), assim como sua turbulência. Conseqüentemente, nas maiores vazões é onde ocorrem as maiores velocidades e turbulências como também as maiores cargas de concentrações de sedimentos.

A diminuição de velocidade do fluxo de água provoca a sedimentação ao longo do rio, processo denominado de deposição de sedimentos. Um dos problemas mais sérios causados

pelo acúmulo de sedimento nas calhas de rios e das barragens é o assoreamento, ou seja, a obstrução de rios e lagos. Em alguns casos essas obstruções são aproveitadas para agricultura e pelas populações ribeirinhas (REIS; FALCÃO, 2010).

Para a análise do comportamento, quanto maior a vazão líquida menor a vazão sólida, caracterizando ocorrências de processos erosivos. Quanto menor a vazão líquida, maior é a vazão sólida, caracterizando ocorrência de processos sedimentares.

O conhecimento do regime sedimentológico nos cursos de água para gestão dos recursos hídricos é de extrema importância e para isso são necessários dados que auxiliem para tomada de decisões no âmbito da bacia hidrográfica de interesse.

### 2.3 REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL

Para os estudos hidrológicos nas bacias hidrográficas do Brasil e sabendo da importância dos dados para decisões no gerenciamento dos recursos hídricos foi criada a Rede Hidrometeorológica Nacional coordenada pela ANA que abrange mais de quatro mil estações hidrométricas. Nestas estações, são realizados monitoramentos de vários parâmetros como: nível de rios (cota), vazão, quantidade de chuvas e de sedimentos, a evaporação, qualidade das águas, dentre outros (ANA, 2018). A rede possui o intuito de avaliar a disponibilidade hídrica, assim como conhecer o regime hidrológico das bacias hidrográficas brasileiras.

Cada estação hidrométrica possui uma codificação e um nome relativo, e é caracterizada com o nome do rio onde está situada. Possui uma localização geográfica, uma entidade responsável pela manutenção e operação, assim como, a área de drenagem correspondente, o período de observação, o monitoramento e os tipos de parâmetros medidos ou observados.

A quantidade de estações distribuída na bacia vai depender dos fins a que se destina, incluindo o tamanho da bacia e a grandeza ou importância do rio, clima, regime de chuvas, geologia, relevo, natureza do solo, uso do solo, cobertura vegetal e ocupação humana. (CARVALHO, 2008).

A Instalação, operação e manutenção da rede básica nacional da ANA são de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). As estações hidrométricas constituem as fluviométricas, pluviométricas e climatológicas, além das redes telemétricas existentes. Os dados coletados são enviados para o Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, o Hidroweb, para serem disponibilizados ao público (CPRM, 2017). O planejamento de monitoramento da rede atualmente corresponde a 04 visitas ao ano, porém alguns parâmetros

são aferidos 02 ou 03 vezes ao ano dependendo do planejamento da rede como é o caso das medições de sedimentos.

### 2.3.1 Medições nas estações hidrométricas instaladas nas bacias hidrográficas

A operação e a manutenção são realizadas por equipes hidrométricas que percorrem a rede. Segundo a ANA (2018), as principais medições e ou observações realizadas são:

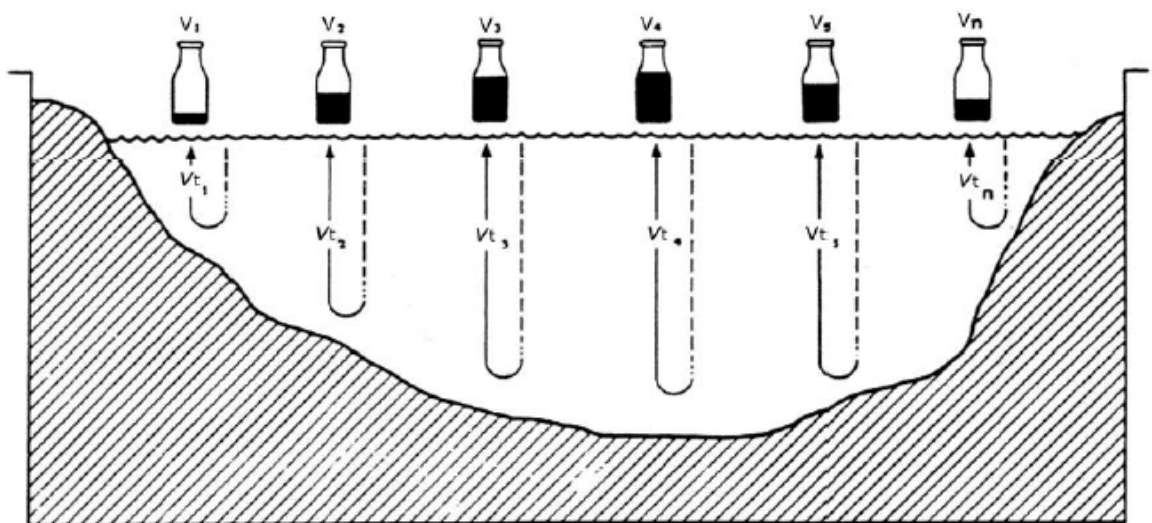
- **O Nível das águas nos rios (Cotas):** podem ser feitas de forma contínua por equipamentos instalados (registradores automáticos) ou por observações diárias por pessoas contratadas (observadores locais). As informações realizadas por registradores são armazenadas em banco de dados (datalog) e/ou também podem ser obtidas por telemetria (via satélites). No caso dos observadores locais as leituras dos níveis são realizadas duas vezes ao dia às 07:00 - 17:00h anotadas em boletins mensais e enviadas aos órgão responsáveis.
- **Medição de descarga líquida:** existem vários aparelhos que determinam a vazão líquida nos cursos de águas. O mais tradicional é o molinete hidrométrico, seguido de equipamentos mais modernos e de maior praticidades como o FlowTracker, os ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), um equipamento acústico que utiliza o efeito Doppler (mudança na frequência de uma onda sonora causada por um movimento relativo entre o aparelho transmissor do som e o material em suspensão na água) para medir a vazão. Outro equipamento utilizado é o RiverSurveyor M9 que também utiliza o efeito Doppler e podem ser utilizados em rios ou em canais abertos portáteis e fáceis de operar. Segundo Melo et al. (2010) a partir do ano de 2010 a rede nacional começou a operar com os medidores de vazão RiverSurveyor M9. Em grandes rios o ADCP e o RiverSurveyor M9 são os mais utilizados, principalmente no rio São Francisco.
- **Medição de qualidade de água:** é realizada por sondas multiparamétricas para os parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), Oxigênio Dissolvido (OD), temperatura e turbidez.
- **Dados de chuva:** estas estações possuem aparelhos que medem a quantidade de chuva. Os aparelhos podem ser os convencionais (pluviômetros) ou automatizados pluviógrafos (telemétricos) com sensores eletrônicos. Nas medições convencionais os observadores locais realizam a retirada da água acumulada por meio de uma torneira situada no fundo do aparelho no horário prefixado (sete horas) utilizando uma proveta

calibrada especialmente para o tipo de pluviômetro utilizado. As leituras diárias são anotadas em boletins mensais e enviadas aos órgãos responsáveis. Em relação aos automáticos os pluviógrafos registram o acúmulo da precipitação em gráficos. As telemétricas os dados medidos podem ser transmitidos por via satélite em tempo real e/ou também são armazenados em bancos (datalog).

- **Medição de descarga sólida:** diversos modelos de equipamentos são aplicados para medição (descarga sólida) e ou estimativa de produção de sedimentos. Na operação da Rede, são utilizados dois métodos de coleta de sedimento o Igual Incremento de Descarga (IID) e o Igual Incremento de Largura (IIL). O mais utilizado é o método de Igual Incremento de Largura (IIL) para a mistura água-sedimento, devido a sua facilidade. A seção transversal do rio é dividida em série com verticais espaçadas de modo igual. Para cada vertical se utiliza a amostragem por integração na vertical, numa mesma velocidade em todas as verticais.

Nesse caso, deve-se utilizar sempre o mesmo equipamento/amostrador com o mesmo bico para a coleta (escolhido de acordo com a velocidade). Como as velocidades médias em cada vertical são diferentes, diminuindo geralmente do talvegue para as margens, as quantidades de amostras por garrafa vão se reduzindo a partir do talvegue com quantidades proporcionais ao fluxo (CARVALHO, 2008). A Figura 04 ilustra a seção transversal do rio com as coletas de sedimentos pelo método (IIL).

Figura 04 – Amostragem pelo método de igual incremento de largura (IIL)



Fonte: Carvalho (2008).

Os principais tipos de equipamentos mais utilizados para amostragem são USBMH 60, USBM60, Rock Island e de Arraste. A Figura 05 ilustra uma medição de descarga sólida no rio São Francisco.

Figura 05 - Equipamento de medição de descarga sólida no rio São Francisco



Fonte: CPRM/ANA (2016).

As amostras coletadas são enviadas para laboratórios específicos na qual se determina as concentrações de sedimentos em ppm e mg/L nos cursos de água nas bacias hidrográficas.

Segundo Carvalho et al. (2000) entre 70 a 95% da descarga em suspensão pode corresponder à descarga sólida total, porém essa concentração é inferior ao valor verdadeiro, pois os equipamentos não conseguem alcançar toda a profundidade na amostragem e essa profundidade não alcançada representa uma maior concentração de sedimento. Contudo, em parte esse valor é corrigido, pois a descarga em suspensão é calculada em função da descarga líquida total.

Esse monitoramento e ou operação são de fundamental importância na utilização dos recursos hídricos. Estes dados colhidos servem para diversos estudos, e podem ser utilizado diversas vezes por várias entidades (públicas ou privadas), para: geração de energia, abastecimento d'água, irrigação, navegação, controle de cheias ou qualquer outro uso dos recursos hídricos (CARVALHO et al., 2000).

## 2.4 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO PELO MÉTODO DA CURVA-CHAVE (CCS)

A estimativa da produção de sedimento nos cursos de água, dentre outros, pode ser determinada pelo método da Curva-Chave de Sedimento (CSS) relacionando os dados de descargas líquidas e as descargas sólidas. Neste caso, os dados das vazões líquidas e as concentrações de sedimentos em suspensão são plotados em escala, posicionados na abscissa os valores de vazão ( $m^3/s$ ) e nas ordenadas os valores das concentrações de sedimentos (mg/L e ppm) ou t/dia mediante a aplicação da equação das descarga sólida em suspensão.

Segundo Carvalho (2008) a curva será mais expressiva, quanto maior for o número de medições e maior variação de vazão (amplitudes). Quando a dispersão dos pontos medidos é grande, pode também implicar numa grande variação de sedimento para uma mesma vazão.

Os métodos mais usados para determinar a curva-chave e conseqüentemente sua equação obtida são: o método do traçado visual, a média por agrupamento e a regressão linear (GLYSON, 1987 citado por CARVALHO, 2008).

Vários artigos internacionais aplicaram a metodologia da CCS para estimar a produção de sedimento em suspensão ao longo dos rios. Dentre eles, tem-se o estudo de Strom e Rouhnia (2013), onde apresentaram dados estimados medidos de transporte de sedimentos para seis estações de manobra USGS ao longo do rio Brazos entre Waco, TX e Rosharon. A pesquisa foi realizada no período entre out/2011 e jul/012, na qual determinaram a produção de sedimento por curvas-chaves para carga suspensa (medida) e carga de leito (calculada).

Vaughan et al. (2017) também utilizaram as curvas-chaves para classificar os sedimentos (SRCs). Foram gerados SRCs com total de sólidos suspensos recentes (TSSs), onde foram descarregados dados de 45 medidores em 36 rios em todo o estado de Minnesota, EUA. As bacias hidrográficas estudadas variavam de 32 a 14.600  $km^2$  e representam configurações distintas em termos de topografia, cobertura da terra e história geológica.

No Brasil as curvas-chave de sedimentos também são bastante utilizadas, Lima et al. (2001) realizaram diagnóstico do fluxo de sedimento em suspensão na bacia do rio São Francisco utilizando dados disponível no banco da ANEEL hidro1.0. Foi realizada a correlação das descargas sólidas e líquida na determinação da curva de potencia para toda a bacia do São Francisco no período de 1975 a 2001.

Garrido et al. (2018) também utilizaram a curva-chave para estimar a carga de sedimento na bacia hidrográfica do rio Piancó – Piranhas-Açu (PB). O período de estudo

ocorreu entre nov/2012 a mai/2013 totalizando 15 campanhas de medições mensais, com medições de vazão e amostras de água com sedimentos em suspensão no período seco e no período chuvoso.

Segundo Córdova e Gonzalez (1997) a utilização das curvas-chave de sedimentos é mais apropriada para bacias com área de drenagem maiores, pois a distinções entre as vazões médias, máximas e mínimas diárias não são muito expressivas. Contudo, esses procedimentos precisam de realizações de medição de descarga sólida em período reduzido para uma melhor representação real dos resultados.

No estudo de Lima et al. (2006) foi estimado fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro pelo método da curva-chave de sedimento.

Estudos mais aprofundados relatados sobre as curva-chaves podem ser vistos na pesquisa de Walling (1977), onde foi avaliado os erros na curva-chave tradicional de sedimentos. Foram determinadas várias curvas-chave por medições contínuas (diversas sazonalidades) tanto na sua ascensão e na sua recessão. Os erros anuais encontrados foram acima de 280% e os erros mensais entre +900% e -80%. E ainda salienta que os erros da curva-chave de sedimento estão sujeitos a vários fatores: intervalo de tempo, procedimento utilizado na derivação da curva e a aplicação da curva de calibração.

Segundo Vestena, Luvini e Kobayama (2008) a concentração de sedimento varia no tempo e no espaço, por isso, é importante a realização de medições de sedimentos em intervalos de tempo curtos, para que se possa melhor entender a dinâmica dos processos de sedimentos. Afirmando que medições com grandes intervalos de tempo entre elas podem esconder variações significativas de produção de sedimentos.

Por isso, na elaboração das curvas-chaves de sedimentos, o valor do  $R^2$  é de extrema importância para avaliação da correlação entre os dados de vazão e sedimento.

Dados que apresentam baixa correlação, podem estar sofrendo algum tipo de anomalia específica na área, casos como: ação antrópica com alguma atividade que cause uma ação excessiva de sedimento (desmatamento, agricultura, construção de pontes) ou mesmo até por estarem à jusante de represas (MORAIS, 2015).

Segundo Carvalho (2008) em ambiente natural dos cursos d'água para uma respectiva vazão existe um valor diferente para descarga sólida, por isso, que a curva-chave de sedimentos não pode substituir os valores reais. Além disto, o fato da curva-chave está relacionado somente com o dado de vazão é preciso ficar atento para outros fatores que podem interferir na oferta de sedimento como o uso do solo, intervenções hidráulicas, dentre outros.



Segundo Medeiros et al. (2011) essas dificuldades também podem existir devido as alterações hidrológicas oriundas do impacto das barragens. A ausência de medições mais distribuídas ao longo dos anos nas diferentes faixas de vazão possa interferir na estimativa de resultados, pois a vazão e o material em suspensão, aliado ao tempo de residência destes na calha do rio e nos reservatórios onde varia ao longo dos anos possa ser determinante na distinção das relações. Ainda segundo ele outros estudos chegaram a resultados semelhantes.

## 2.5 POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS

A lei nº 9.433/97 que corresponde a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) é também conhecida como “Lei das Águas” e tem sido um instrumento de garantia de gestão democrática das águas no Brasil. Para organizar as atividades a Constituição criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) com órgãos estaduais e federais, conselhos de recursos hídricos e os respectivos Comitês de bacias hidrográficas. A ANA possui a responsabilidade de regular e fiscalizar o uso e o acesso aos corpos de água também tem a função de implementar, ou seja, fazer cumprir os objetivos e diretrizes da PNRH em todo o Brasil (ANA, 2018).

Contudo, a PNRH deve proporcionar o uso múltiplo das águas para os vários setores produtivos, considerando a bacia hidrográfica, como unidade territorial para implementação das suas diretrizes no que se refere à outorga, plano de recurso hídrico, cobrança, enquadramento e o Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos (SNIRH) (ANA, 2018).

Os comitês de bacias hidrográficas atuam na elaboração de políticas para a gestão das bacias, assim como também possui poder de decisão, cujas principais são: aprovar e acompanhar a elaboração do plano de recursos hídricos na bacia, resolver conflitos pelo uso da água na 1ª instância administrativa, determinar mecanismo de outorga e recomendar os valores da cobrança pelo uso da água (ANA, 2018).

Os comitês de bacia hidrografia, cuidam para que todos aqueles que têm interesse pelo uso da água participem, sejam ouvidos, tenham representação e poder de decisão na gestão da bacia. Dessa forma, aplicando a gestão participativa e integrada da água.

Na questão das barragens, como as usinas hidrelétricas instaladas nos cursos de água, na qual vem se destacando na exploração dos recursos hídricos, causam vários impactos ao meio ambiente, porém, contribui de maneira significativa para desenvolvimento do País.

Entretanto, o Código das águas constituiu pontos institucionais para o setor elétrico, ou seja, trouxe mudanças essenciais na legislação sobre seu uso. O respectivo código regulamenta sobre a propriedade das águas, assim como, sua utilização, outorga (autorização e concessões) para as atividades de energia elétrica (LORENZO, 2002).

As normas de operação dos reservatórios do país e o monitoramento são definidos pela ANA, no acompanhamento do nível da água, das vazões diárias afluentes e os defluentes. No inciso IV, Art. 12 da Lei n.º 9.433/1997, o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos está sujeito à outorga de direitos de uso dos recursos hídricos. A referida outorga está submetida ao Plano Nacional de Recursos Hídricos (§ 2º, Art. 12 da Lei n.º 9.433/1997).

Porém, a regularização das vazões nos rios ocasionados por barragens provocam descontinuidade longitudinal produzindo a montantes fluxos lênticos e a jusante fluxos mais lóticos com alterações na sua variabilidade. Esse controle artificial afeta toda a dinâmica do sistema fluvial, tanto no leito quanto nas planícies de inundação e lagoas marginais (AMORIM, 2009).

Arelado a isto, estão também os problemas ligados aos sedimentos nos cursos de água que aumentam à medida que cresce o desenvolvimento do país, sejam em hidrelétricas ou no agronegócio. A problemática se agrava mais ainda com a consequência dos processos de sedimentos serem lentos (não imediata), as providências só ocorrem quando problemas estão mais sérios. Contudo, já existe uma Comissão de Engenharia de Sedimento que está ligada a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), que tem como finalidade definir diretrizes para controlar ou deter a problemática dos sedimentos. Entretanto, a comissão não possui força política ou mesmo institucional.

Informações sobre as fontes de sedimentos transportados por um determinado rio são dados importantes para as estratégias de controle efetivo do aporte de sedimentos nos corpos d'água e, portanto, para controlar ou diminuir o seu assoreamento (POLETO, 2008).

A problemática dos impactos dos assoreamentos também é sentida nas zonas estuarinas principalmente dos grandes rios e suas zonas costeiras. A Política Nacional de Recursos Hídricos na gestão das bacias hidrográficas possui algumas diretrizes que já mostram a preocupação com as áreas estuarinas e costeiras, onde propõem a articulação e integração nas ações realizadas com esses ambientes. Essas zonas possuem uso e ocupação dos solos e processos sociais envolvidos, além de possuir, um alto potencial pesqueiro. Os ecossistemas dessas zonas precisam estar em equilíbrio, contudo, são praticamente dependentes dos fluxos de águas dos rios, onde recebem os sedimentos, os nutrientes e os alimentos para manutenção da biodiversidade local.

A implementação das diretrizes da Política Nacional dos Recursos hídricos são de extrema importância para os cursos de água, pois a articulação e integração, principalmente com as políticas setoriais nas diversas realidades das bacias estabelecem uma melhor adequação nos planos de recursos hídricos. Entretanto, existe o desafio de sua aplicação e a relevância na gestão sistêmica como um todo.

## 2.6 IMPACTOS CAUSADOS POR BARRAMENTO EM CURSOS DE ÁGUAS

Para o desenvolvimento socioeconômico do país a energia elétrica é um bem de essencial utilidade para a sociedade. No Brasil 62% da capacidade instalada de energia provêm de hidrelétricas instaladas nos cursos dos rios, 28% seguidas das termoeletricas e o restantes 10% das usinas eólicas (ANEEL, 2018).

As barragens possuem diversas finalidades além da geração de energia: acumulação para abastecimento doméstico e industrial, agricultura irrigada, recreação, turismo dentre outras, ou seja, contribuindo para melhorar a qualidade de vida da população.

O homem é um dos principais agentes modificadores do ambiente natural e considerado um agente geomorfológico, pois consegue modificar a estrutura do canal fluvial, alterar o regime de vazões, seja urbanizando as áreas ribeirinhas, desmatando, construindo diques, pontes, barramentos, dentre outros. As consequências podem ser reversíveis ou até mesmo irreversíveis.

Segundo Carvalho (2008) os processos de sedimento em reservatórios podem ocorrer de diferentes maneiras, porém a jusante ocorrem processos erosivos no seu trecho, assim como mudanças morfológicas. Tais modificações são mudanças no fluxo de água e sólidos efluente da barragem. As principais causas devido a essas mudanças são: recuo da orla por causa da erosão, mudanças morfológicas no canal principal, rebaixamento do fundo do rio logo após a barragem (estirão), erosão local pela posição das descargas de vertedouro e da tomada de água na barragem.

Existem os efeitos positivos na redução de sedimento a jusantes das barragens, as águas tendem a ficarem mais limpas para recreação, para abastecimento doméstico e industrial diminuindo os custos com os tratamentos de água, além de melhorar a navegação. (CARVALHO, 2008).

Outros impactos causados por empreendimentos hidrelétricos, além de afetarem os ecossistemas, também surgem à problemática social, atrelado às questões econômicas da população, todos passam a depender do regime de águas estabelecido pelos barramentos. As

regiões a jusantes de barragens são as mais afetadas tanto em termos ambientais (regularização de vazão, diminuição de sedimento), como nos aspectos sociais e econômicos.

Na região a jusante se estabelece um novo regime hidrodinâmico, ou seja, um novo comportamento morfológico para o respectivo rio. Esse novo comportamento é considerado responsável primário do grande potencial a processos de erosões aceleradas das margens. A erosão das margens cresce, quando aumenta a quantidade da água nos cursos de água. (FONTES, 2016).

Segundo Santos et al. (2001), com a diminuição das vazões, os rios sofrem com a interferência da hidrodinâmica dos estuários com a penetração das marés a montante da desembocadura. Esse efeito pode provocar a intrusão salina no leito dos rios, mesmo a centena de quilômetros no rio acima. No que tange ao efeito físico, uns dos mais importantes controles de água nos estuários são: a quantidade de mistura entre a água doce e a salgada e o equilíbrio dessa taxa de mistura. Porém, as taxas são controladas por fatores como: vazão dos rios, precipitação, marés, topografia e grau de turbulência.

O efeito das descargas de águas dos rios é muito importante, pois o processo de deslocamento do rio em direção ao mar vai renovando as águas (águas novas) no estuário, porém isso depende da velocidade com que o rio flui. No caso das precipitações, além da evaporação e dos ventos ajudarem a equilibrar as taxas de misturas no estuário, no entanto, vai depender da intensidade e do tempo de exposição caso contrário, os comportamentos da distribuição das chuvas e da evaporação iram determinar a salinidade dos rios. Os ventos também contribuem nas taxas de misturas do estuário, ventos fortes e duradouros conseguem misturar a água até o fundo, contribuindo para o equilíbrio nos estuários (SANTOS et al., 2001).

Arelado a isso, a quantidade de água vem diminuindo global e localmente, com o passar dos anos. Vários são os motivos, porém os principais são: aumento da população (consumo), poluição por agrotóxico (contaminação), e por resíduos domésticos e industriais (efluentes contaminados) tudo atrelado ao desenvolvimento econômico sem a preocupação ambiental (PITTON, 2009).

Entretanto, a lógica do desenvolvimento sustentável é o equilíbrio entre o setor econômico e a conservação ambiental, na realização do aproveitamento dos recursos hídricos de modo integrado nos usos múltiplos da água (JUNIOR; FIGUEREDO; JUNIOR, 2004).

## 2.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

### 2.7.1 Caracterização geral da bacia

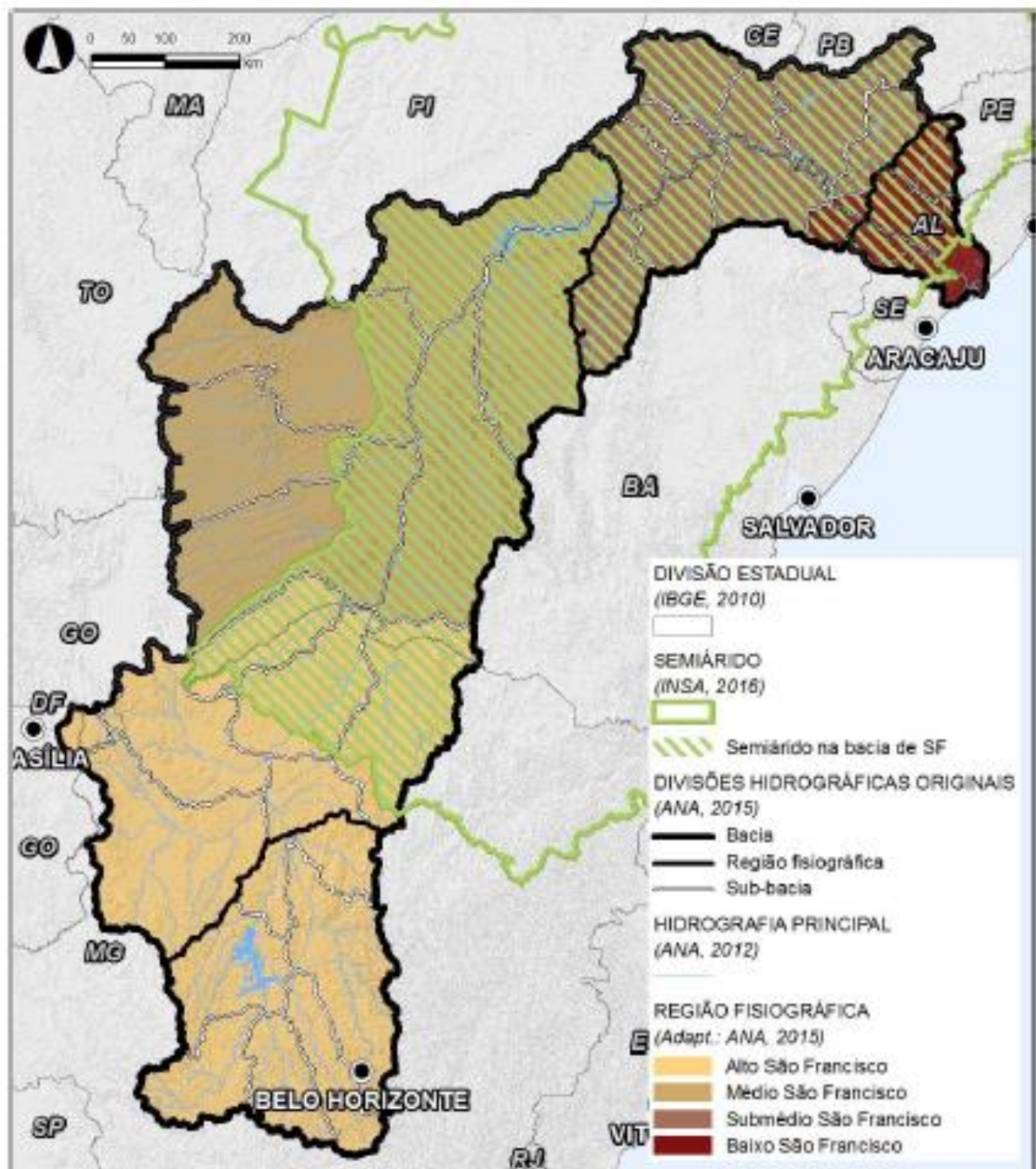
A bacia hidrográfica do rio São Francisco, compreende o Alto, Baixo, Médio e Submédio São Francisco, abrangendo diferentes biomas como: cerrado, caatinga, floresta atlântica, costeiros e insulares. Possui grande importância para o país não somente pelo grande volume de água transportado, mas também, pelo potencial hídrico de aproveitamento hidrelétrico e contribuição histórica e econômica para a região. A Bacia do rio São Francisco abrange 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem e vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s, mas ao longo do ano, pode variar entre 1.077 m<sup>3</sup>/s e 5.290 m<sup>3</sup>/s. Possui 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra no estado de Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para Sudeste, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa entre Alagoas e Sergipe (CBHSF, 2017).

Segundo Marengo et al. (2011) o rio São Francisco é o terceiro maior rio brasileiro em extensão territorial com diferentes regimes meteorológicos que se associam em diversos sistemas de precipitação. Apesar disto, a bacia tem sua maior extensão situada na região Nordeste, no contexto do semiárido.

A subdivisão da bacia do rio São Francisco com a respectiva área de influencia do semiárido no qual abrange cerca de 54% da bacia do São Francisco (PRH-SF, 2016) pode ser vista na Figura 06.

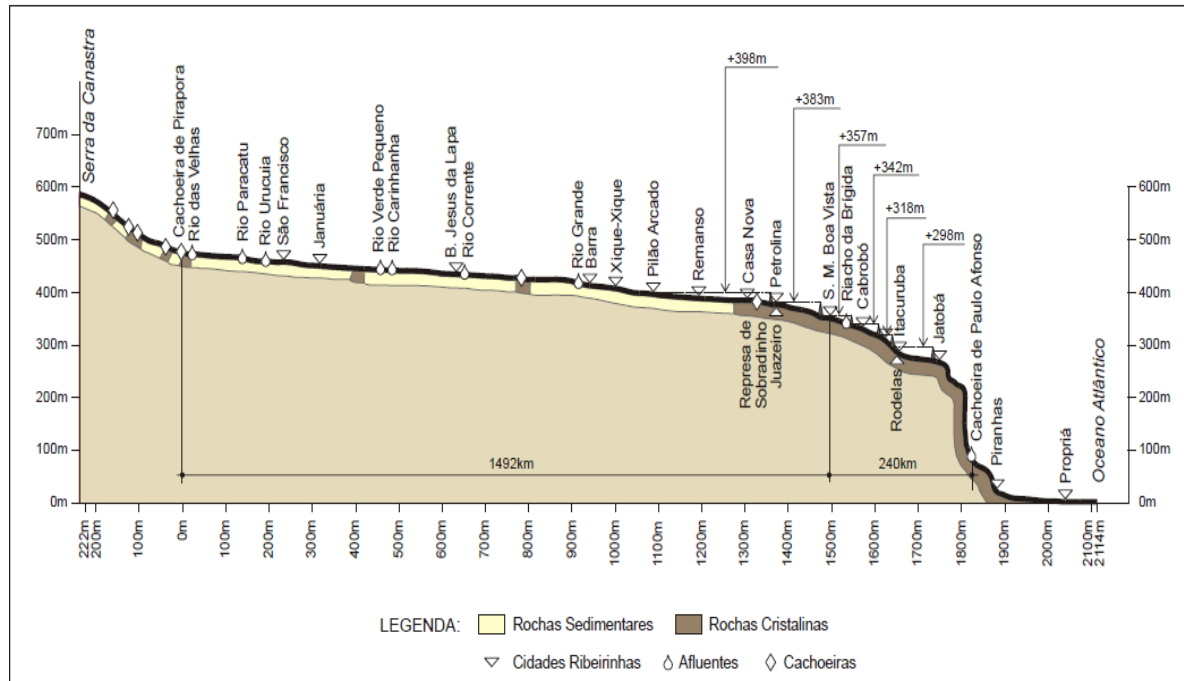
O Alto curso se apresenta com águas rápidas, frias e bastantes oxigenadas, o Médio com rios de planaltos possuem menores velocidades, porém proporcionando grandes possibilidades de cheias; o Submédio, o rio São Francisco está praticamente barrado; e o Baixo apresentando rio de planícies com fluxos bem mais lentos e por conta disto, sofre influencia marinha (LIMA, 2012). A Figura 07 ilustra o perfil longitudinal da bacia do rio São Francisco, desde o alto São Francisco (nascente) até o baixo São Francisco até a sua foz, apresentando sua declividade e a distancia até o Oceano Atlântico.

Figura 06 - Subdivisão da bacia do rio São Francisco



Fonte: CBHSF (2016).

Figura 07 - Perfil longitudinal do rio São Francisco



Fonte: Adaptado de Rocha (1983) citado por Sá et al. (2004).

A Tabela 01 ilustra as características fisiográficas para as divisões da bacia do rio São Francisco, apresentando o clima, a precipitação média anual, temperatura média, extensão de cada trecho e sua declividade, assim como a vazão média.

Tabela 01 – Características fitográficas para as divisões da bacia do rio São Francisco

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Clima predominante	Tropical úmido e Temperado de altitude	Tropical semiárido e Subúmido seco	Semiárido e Árido	Subúmido
Precipitação média anual (mm)	2000 a 1100 (1372)	1400 a 600 (1052)	800 a 350 (693)	350 a 1500 (957)
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Trecho principal (km)	702	1230	550	214
Declividade do rio principal (m/km)	0,70 a 0,20	0,10	0,10 a 3,10	0,10
Contribuição da vazão natural média (%)	42,0	53,0	4,0	1,0

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

O rio São Francisco possui uma enorme importância econômica, cultural e social, para milhares de pessoas que dependem de suas águas e da energia elétrica dela produzida. Uma

das atividades econômicas mais importantes na bacia é a agricultura e, por conta disto, a região exige a necessidade de recuperação ambiental das áreas degradadas.

Devido ao crescimento da agricultura na região, aumento da demanda energética e agora com a retirada da água pela transposição surgem conflitos pelo uso entre os usuários. Por condições naturais, o rio frequentemente passa por períodos extremos de seca e cheia. No percurso pelo semiárido, o rio é sujeito a períodos prolongados de seca, por outro lado, o rio também atravessa trechos com grandes problemas de enchentes (ANA, 2017).

O rio possui 168 afluentes, destes somente 99 são perenes. A distribuição dos afluentes apresentam 90 na margem direita e 78 na margem esquerda. Na área do cerrado central e no estado de Minas Gerais são onde se encontram a maior produção de águas na bacia, como também, a maior variação do porte dos seus afluentes que desaguam em suas águas. Nessa região se apresentam diferentes condições climáticas entre as áreas drenadas (BRASIL, 2017).

Segundo o projeto da Integração Nacional (2017), desde o período colonial, o rio São Francisco apresenta-se com degradação contínua e intenso processo de assoreamento nas suas margens, com perdas de solos e ocupações irregulares, má gestão de preservação e conservação na bacia. A falta de gestão leva a perda das matas ciliares, secamento das nascentes, além de lançamentos de esgotos domésticos e industriais, assim como o lixo.

As barragens construídas tiveram como objetivo principal a geração de energia hidrelétrica, no rio São Francisco, contudo as consequências principais são as alterações dos níveis das águas em função da demanda energética e a retenção de sedimentos. A jusante da barragem de Sobradinho, existem mais quatro barramentos que vão retendo sedimento ao longo do rio até a barragem de Xingó. O planejamento ambiental na bacia hidrográfica é de extrema importância para reverter quadros de impactos ambientais. O planejamento e políticas públicas que visem os interesses de todos são desafios para uma gestão ambiental adequada na bacia hidrográfica.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) possui a função de realizar a gestão descentralizada e participativa no intuito de proteger os seus mananciais e contribuir para o seu desenvolvimento sustentável (CBHSF, 2018).

Segundo CBHSF (2018) o desafio está na sua dimensão e conseqüentemente na sua complexidade, pois a degradação na bacia vem desde a sua nascente até a sua foz. O aumento da demanda hídrica gera conflitos de usos, abrangendo diversos interesses de agricultores, industriais, empresas de abastecimento de água e o próprio sistema hidroelétrico. Contudo, o objetivo da CBHSF é implementar a política de Recursos Hídricos em toda a região da bacia



aplicando regras e condutas de modo a gerenciar melhor os conflitos e interesses individuais e coletivos.

Uma das competências do Comitê da bacia é a elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. O plano atual em vigor corresponde aos anos entre 2016 a 2025. Contudo, para a elaboração do Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio São Francisco devido a toda a sua complexidade foi elaborado o Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. O plano teve o apoio e a participação da ANA, no intuito de facilitar ao CBHSF a tomada de decisões de sua responsabilidade legal, inclusive em aprovar o próprio Plano de Recursos Hídricos. Cabe salientar que o Plano Decenal da referida bacia foi constituído no planejamento participativo do próprio Comitê e de diversos órgãos governamentais (ANA, 2004).

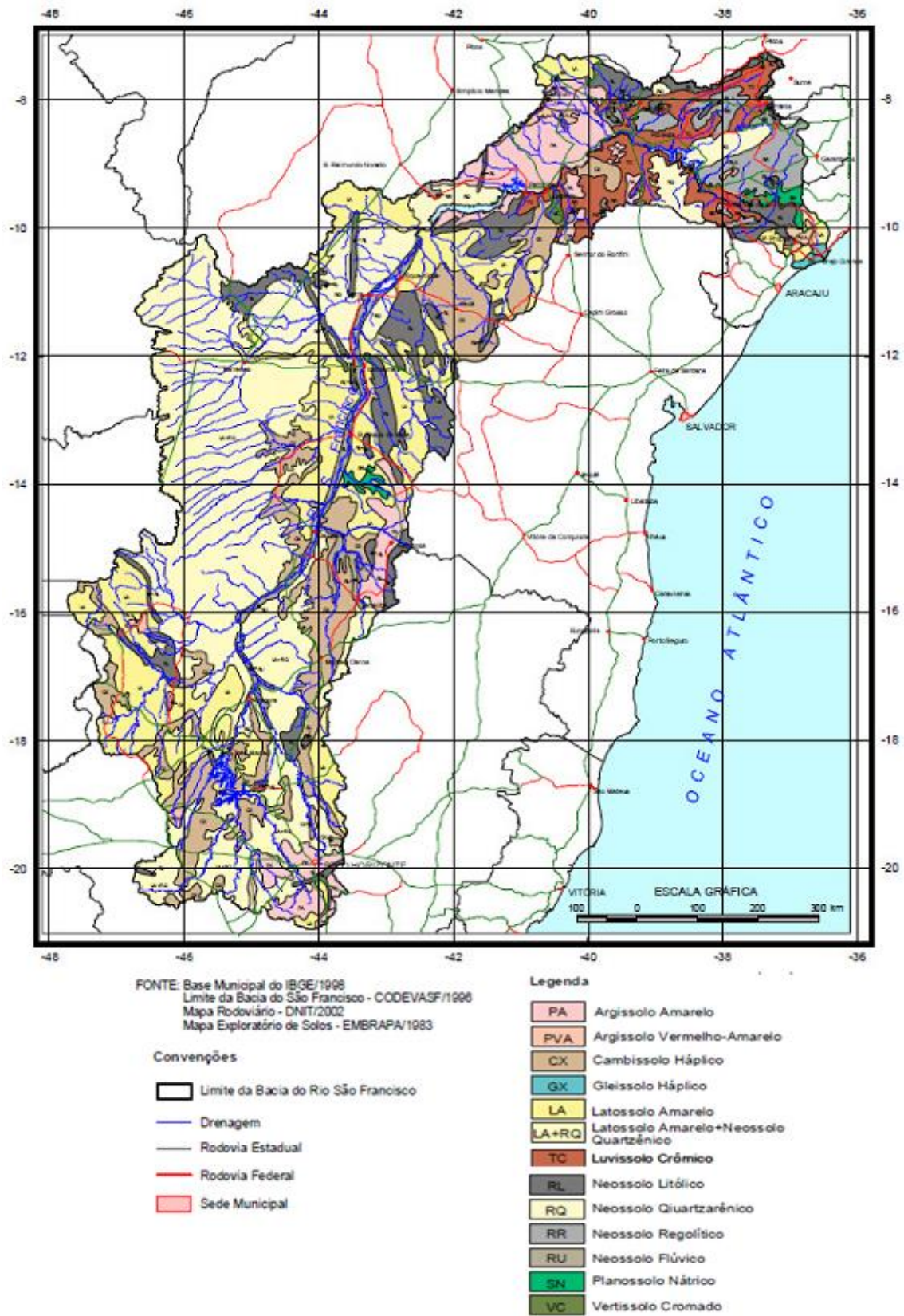
### **2.7.2 Uso e ocupação da terra**

Na bacia do São Francisco os solos apresentam-se com grandes diferenças nas suas múltiplas origens geológicas. Constituem-se entre solos arenosos e argilosos, rasos e profundos, apresentando concentrações entre baixa a média em relação à fertilidade natural na área do cerrado. Grandes trechos da área da bacia são próprios para pastagens e áreas de reflorestamentos, porém na região do semiárido os usos agrícolas são mais limitados devido à escassez da água no trecho que vai do médio ao baixo curso do rio (FERNANDES, 2015).

A Figura 08 ilustra a distribuição dos tipos de solos na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

São no total de 342.712 ha de área irrigada na bacia do São Francisco, apresentando 30% só de projetos públicos. Na ordem, vem o Alto com 13%, o médio com 50% o Submédio com 27% e o baixo com 10% da área irrigada, porém a região mais degradada é o Alto São Francisco com aproximadamente 90% da área urbanizada. Além disto, na região do alto São Francisco se encontra o quadrilátero ferrífero, a maior região metropolitana e um maior centro industrial. Por outro lado, o menos urbanizado é o Baixo São Francisco com aproximadamente 49%, o Submédio com 56% e por fim o médio com 55% urbanizado (BRASIL, 2004 citado por LOPES, 2014).

Figura: 08 – Tipos de solos na bacia hidrográfica do rio São Francisco



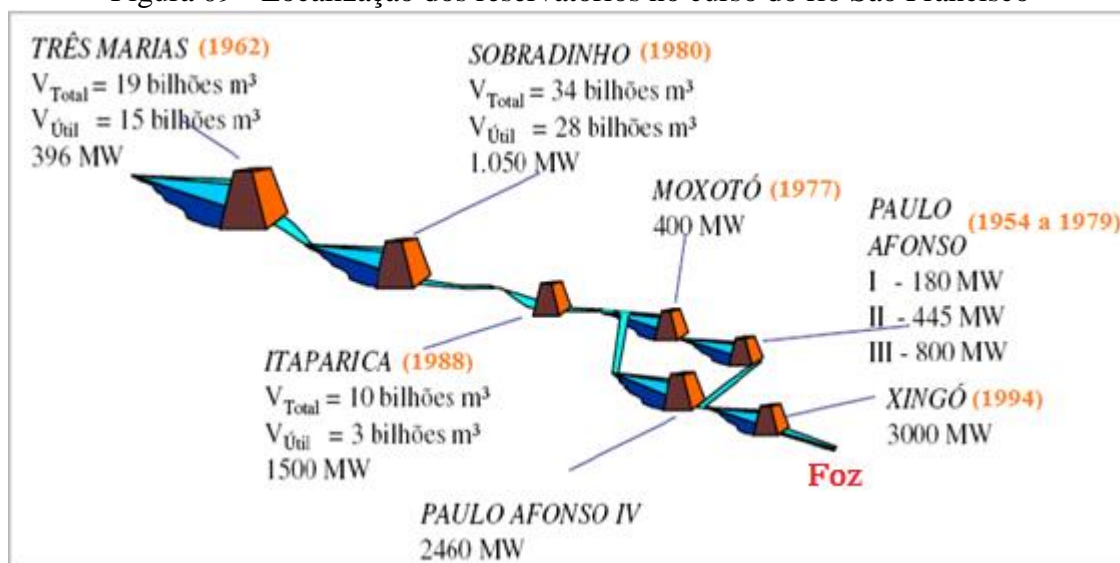
Fonte: Fernandes (2015).

Nos anos oitenta do século passado foram constituídos grandes projetos de irrigação e

de usinas hidrelétricas: Sobradinho no médio, Apolônio Sales e Paulo Afonso no Submédio e Xingó e Pão de Açúcar no baixo São Francisco (FONTES, 2016).

As principais barragens no curso do rio São Francisco são na ordem desde o alto curso até o baixo São Francisco: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, complexo de Paulo Afonso e Xingó. A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) é responsável pela operação das barragens. A Figura 09 ilustra as barragens no rio São Francisco.

Figura 09 - Localização dos reservatórios no curso do rio São Francisco



Fonte: Adaptado de Silva, Medeiros e Viana (2010).

Entre as Barragens Três Maria e Sobradinho possuem uma extensão de 1.100 km apresentando tributários de grande porte, assim como lagoas marginais. Entre Sobradinho e Itaparica possui extensão de 280 km. De Itaparica em diante segue em uma cascata de barramentos destinados principalmente para geração de energia da CHESF (ZILHUBER; SIQUEIRA, 2007).

Souza et al. (2011) afirma que o sistema das sete barragens em cascata no rio São Francisco gerou um dos maiores exemplos de impactos de fluxos de água e sedimentos na bacia. Para Zilhuber e Siqueira (2007), além dos impactos negativos os barramentos também vêm alterando as cheias e as vazantes e a reprodução das espécies que dependiam do sistema natural de percurso do rio.

Souza et al. (2013) na avaliação de pontos assoreados ao longo do São Francisco, informa que foi percebido um forte aumento da degradação no rio. Dentre eles está a erosão fluvial e pluvial. No período de chuva ocorre o deslocamento do rególito para o leito do rio,

formando bancos de areia aumentando a largura e tornando-o mais raso.

Contudo, Fernandes (2015) afirma que o principal rio da região Nordeste é o rio São Francisco, porém este rio vem padecendo com alterações severas no seu regime hidrossedimentológico, com construções, operações e manutenções das hidroelétricas, assim como, nas hidrovias causando impactos ambientais bastante pertinentes.

Outra problemática encontrada no rio São Francisco segundo Zelhuber e Siqueira (2007), é a situação da mata ciliar em todo seu percurso, aproximadamente 96% da mata já foi desmatada. Como se sabe, a mata ciliar é de fundamental importância no controle da erosão além do controle de enchentes no rio. Ainda complementa que a problemática do processo de assoreamento do rio São Francisco pode ser percebido pela condição atual de navegação no rio. Atualmente existem para navegação comercial os trechos entre os portos de Muquém (Ibotirama)-BA e Petrolina/Juazeiro na divisa dos estados de Pernambuco e Bahia, além disto, nesses trechos o rio vem sofrendo com o calado na entrada do lago do Sobradinho, onde ocorre intenso assoreamento multiplicando os bancos de areia (ANA/OEA/GEF/PNUMA et al., 2004 citado por ZILHUBER; SIQUEIRA, 2007).

Na bacia do rio São Francisco, em algumas áreas também existem a superexploração dos recursos, com conflitos pertinentes entre o abastecimento, geração de energia e a agricultura ocasionadas, por exemplo, nos rios Paraopeba, Velas, Alto Preto, Alto Grande, Verde Grande, Salitre e no Baixo São Francisco. Dando ênfase nos rios Verde Grande e Alto Grande onde existem grandes expansões da irrigação desordenada no uso do solo e da água.

A carvoaria é outro grande problema na bacia do São Francisco em relação ao desmatamento. Em 2004, no Brasil foram produzidas sete milhões de toneladas de carvão desses, 60% foram de florestas plantadas e o restante da vegetação da Caatinga e do Cerrado (ZELHUBER; SIQUEIRA, 2007).

O sistema fundiário na bacia do São Francisco, também causa grandes problemas de degradação da bacia. A grande concentração constitui no uso abusivo das terras e dos recursos naturais, levando a superexploração das terras dos pequenos agricultores ocasionando ao desmatamento total de suas áreas (BRANNSTROM; FILIPPI, 2006 citado por ZELHUBER; SIQUEIRA, 2007).

A atividade mineral na bacia do São Francisco corresponde cerca de 20% da produção do país. Aproximadamente 2.320 títulos minerários estão na bacia, desses 1.600 correspondem a projetos que realmente exploram os minerais se apresentando como um dos grandes consumidores da água. Aproximadamente 40% do setor mineral trabalham de forma clandestina. O setor mineral utilizado de forma irregular apresenta fortes impactos ambientais

como: grandes gastos de águas, rebaixamento do lençol freático, assoreamento, contaminação das águas, do solo e do ar. As atividades agropecuárias, a mineração e a poluição de esgotos domésticos são os principais fatores de poluição na bacia do São Francisco (ZELHUBER; ZIQUEIRA, 2007).

Souza et al (2013), analisa que o rio São Francisco se encontra em precárias condições de degradação, pois as suas margens fluviais estão sendo erodidas pela ausência da mata ciliar. Por isso a importância dos estudos da quantificação dos sedimentos carregados nas margens ou encostas.

### **2.7.3 Influências antrópicas na bacia**

Para Zellhuber e Siqueira (2007), as alterações extremamente visíveis e íngremes na bacia do São Francisco são as hidrelétricas instaladas ao longo do rio, ao todo são sete, na qual modificaram a paisagem do rio e a vivência de milhares de pessoas atingidas, assim como o ecossistema.

Na bacia do rio São Francisco segundo Lima et al. (2001), ao acumular água durante a estação chuvosa, as represas alteram, expressivamente, a vazão normal do rio e de seus tributários. Como consequência, ocorre a liberação em grande escala da água represada, que lavará a calha do rio e transportará o material já depositado. Silva, Medeiros e Viana (2010), afirmam que o aumento da vazão associado à retirada da mata ciliar e atividades agrícolas na bacia, levará a modificação da descarga sólida, ou seja, atividades ligadas ao uso da terra, práticas agrícolas indevidas e urbanização colaboram com o assoreamento e a erosão marginal.

No estudo realizado por Melo et al. (2015), sobre o monitoramento hidrológico do rio São Francisco em relação a mudanças de vazões antes e após os barramentos construídos, observou-se que houve mudanças significativas na descarga líquida do curso principal. Os resultados consideram o regime de vazão do período antes da operação das usinas hidrelétricas (1931 a 1976) como a representação da vazão natural do rio, com uma maior variabilidade do fluxo. Entretanto, no período após a operação das usinas (1977 a 2014), identifica-se uma maior regularização da vazão com menor ocorrência de cheias.

Estudos fora do país como os de Zhao et al. (2017) realizaram estudos sobre o efeito de barragens em cascatas sobre fontes de sedimentos (orgânicos) e constataram que os reservatórios de Manwan e Dachaoshan, em cascata ao longo do rio Lancang-Mekong, mudaram de modo permanente o ambiente aquático e cujos fluxos de carbono foram

modificados mostrando outras diversificações de fontes de matéria orgânica encontrada. A principal fonte de matéria orgânica sedimentar antes era a terrestre, além de plantas, dos solos e da matéria orgânica.

Segundo a pesquisa realizada por Medeiros et al. (2007), no baixo Rio São Francisco a vazão sofreu grande redução da variabilidade interanual ao longo do tempo, apresentando também redução da variabilidade sazonal e diminuição da magnitude da vazão. Tal comportamento está associado a construções de barragens em cascata no médio-baixo Rio São Francisco, pois foram também evidenciadas alterações no material particulado em suspensão.

Segundo Sá et al. (2004) os sedimentos podem provocar assoreamento por obras realizadas, ocasionando inundações nas regiões mais altas e conseqüentemente desestabilizando o percurso do rio. Também afirmam que no Vale do São Francisco a demanda de atividade agrícola tem sido bastante crescente e estão degradando o meio ambiente sem acatar a legislação ambiental vigente, exercitando o desmatamento nas margens do rio São Francisco.

O Estudo realizado por Lima et al. (2001) com dados hidrossedimentométricos entre 1986 a 1999, ao longo do rio São Francisco, mostrou que os principais contribuintes para o fluxo dos sedimentos em suspensão são os afluentes dos rios das Velhas, Paracatu e Urucuia, carreando uma descarga sólida em suspensão de 40.000 t/dia em Sobradinho. No mesmo observa-se que o rio São Francisco transporta grande quantidade de sedimento em suspensão até o reservatório de Sobradinho e, a jusante do mesmo a concentração de sedimentos é bastante reduzida.

Concluíram que a barragem de Sobradinho diminuiu a carga de fluxo de sedimentos de  $13,39 \times 10^6$  t/ano para  $3,14 \times 10^6$  t/ano. Outro ponto encontrado foi que a quantidade de sedimento que chegou à foz do rio São Francisco foi muito pequeno,  $1,83 \times 10^6$  t/ano. Acredita-se que esta água limpa que vai para o oceano pode causar problemas relacionados com o equilíbrio para o estuário do rio.

A integração do gerenciamento do sistema do solo e da água deve ser enfatizado principalmente no Brasil, em que a produção da energia elétrica são proveniente de hidroelétricas, por isso é importante planejar a problemática em parceria com os demais usuários da bacia (CARVALHO et al., 2000).

#### **2.7.4 Consequências das influências antrópicas no Baixo São Francisco**

Segundo Fontes (2016), no Baixo São Francisco depois da construção das barragens de Sobradinho e Xingó o trecho vem sofrendo por mudanças influenciadas pela atividade antrópica no uso e ocupação irregular das suas margens bem como a retirada da mata ciliar, além do controle do fluxo do rio pelos barramentos. Essas alterações têm ocasionado eventos erosivos nas margens no talude fluvial do rio São Francisco.

As principais áreas que ocorrem conflitos pelo uso da água de bastante relevância estão nas sub-bacias: rios das Velhas, Paraopeba, Alto Preto, Alto Grande, Verde Grande, Salitre e o Baixo São Francisco. Os conflitos são ocasionados por diversas atividades como na agricultura irrigada, na geração de energia, no abastecimento humano, nos efluentes, na mineração e na manutenção dos ecossistemas (ANA, 2004).

No estudo realizado por Oliveira et al. (2003) foi observado o acúmulo de sedimentos nos reservatórios interligada com a perda do transporte ocasionada pela redução de vazão e a inexistência de cheias no baixo São Francisco e na foz. Os mesmos constataram que no estudo de Milliman (1970), o aporte de sedimento em suspensão encontrada na foz foi de  $6,9 \times 10^6$  toneladas e no estudo de Oliveira (2003) no ano de 2001, foi encontrado apenas  $0,4 \times 10^6$  toneladas, ocorrendo uma redução de mais de 90%. Consequentemente conclui que houve uma diminuição na alimentação da foz (delta) no rio, a carga de sedimento não esta sendo suficiente para manter a foz, favorecendo a erosão da margem direita do rio São Francisco.

O estudo de Medeiros et al. (2007), aponta que o aporte atual de material particulado (MPS) encontrado neste e nos estudos passados na região do Baixo São Francisco foram: no estudo atual (2000-2001) encontraram  $2,28 \times 10^5$  (t/ano), nos estudos passados no período de 1984-1995 encontraram  $21 \times 10^5$  (t/ano) de Santos (1993) e em 1970 com  $69 \times 10^5$  (t/ano) Milliman (1975). E concluíram afirmando que o rio São Francisco sofreu alterações de águas de alta turbidez para águas transparentes, ocasionado pela retenção de material sólido nas barragens em cascatas no curso do rio.

Segundo Silva, Medeiros e Viana (2010), o aporte de sedimento anual encontrado entre Ago/07 a Jul/08 foi de  $2,6 \times 10^5$  (t/ano), confirmando o decaimento da produção de sedimento na região do Baixo São Francisco.

Outra problemática encontrada por Cunha (1995) citado por Silva, Medeiros e Viana (2010) foi à linha de costa na foz com a redução do aporte de sedimento ocasionada pela barragem a montante na qual mudou o perfil longitudinal do rio, como também, a de seus afluentes. E complementa que se essa alteração for significativa devido à redução de vazão e de sedimentos poderá ocasionar mudanças na dinâmica do litoral com processos de erosão praial ao longo dos anos. O estudo ainda apresenta comparações com estudos anteriores



apresentando os níveis de concentração de sedimento aos longos dos anos mostrados na Tabela 02.

Tabela 02 – Dados de aporte de sedimento nos anos 1975, 1993, 2003 e 2007 no baixo São Francisco

Fonte	Presente estudo (2007) T/ano	Medeiros (2003) T/ano	Santos (1993) T/ano	Milliman (1975) T/ano
Fluxo de MS	$2,62 \times 10^5$	$2,28 \times 10^5$	$21 \times 10^5$	$69 \times 10^5$

Fonte: Medeiros (2003) citado por Silva, Medeiros e Viana (2010).

No estudo de Ferreira, Silva e Albuquerque (2011), constata-se que a diminuição da vazão após o barramento de Xingó, reduziu a resistência do fluxo contra a maré, o que ocasionou impactos na fauna e possível estreitamento da foz do rio São Francisco. Tais autores afirmam que a largura da foz do rio reduziu (37,66%) de 1.195,0 metros em 1984 para cerca de 745,0 metros em 2006 segundo as imagens de satélites Landsat5. Contudo, a redução da vazão no rio possui uma relação com o acúmulo de sedimento na área, ou seja, com a redução da vazão o banco de areia na costa cresce.

Souza et al. (2011) também constataram que os impactos negativos no baixo São Francisco são extremamente relevantes, com relação à dinâmica do escoamento das águas e dos materiais em suspensão que chegam às áreas costeiras, problemas como: a intrusão salina, desestabilização da costa, perda da fertilidade nos estuários, até mudanças no ciclo biogeoquímico locais e globais.

Conseqüentemente, as principais conseqüências na foz do rio São Francisco ocasionada pela retenção de sedimento nas barragens construídas no curso do rio foram: Redução de 90% da população de peixes, por causa da diminuição dos sedimentos finos que carregam nutrientes e matéria orgânica fundamental a fauna aquática e a erosão da foz do São Francisco ocorrida depois da construção da Hidrelétrica de Paulo Afonso (1950) com o passar dos anos começaram a ocorrer as ondas e correntes costeiras com certa capacidade de transporte de sedimentos, porém não tendo a mesma preenchida começaram a erodir a costa (BANDEIRA et al., 2013).

Para Fontes (2016), na região do baixo São Francisco no monitoramento realizado ficou constado que houve a erosão do lado direito com perda de solo significativo num processo ativo de erosão.

O recuo das margens é resultado de certa complexidade, envolvendo processos relacionados à dinâmica do percurso do rio e a dinâmica geotécnica da margem fluvial. A



erosão da margem direita é uma das causas mais visíveis das alterações na dinâmica do sistema fluvial e se destaca pela sua amplitude, ampla distribuição e consequências socioeconômicas (HOLANDA et al., 2008, citado por FONTES, 2016).

A utilização de técnicas no controle da erosão é muito variável devido as diversas feições dos taludes para serem estabilizados, além da dinâmica do rio. A técnica da bioengenharia aplicada na região do baixo São Francisco mostrou-se que, em várias situações somente essa técnica revelou-se eficiente no controle da erosão, porém se apresentou com alto custo na aplicação (HOLANDA et al., 2009).

Os principais impactos encontrados no baixo São Francisco apresentadas segundo Silva, Medeiros e Viana (2010) foram: diminuição do aporte de sedimento e das vazões; salinização e acréscimo de temperatura; mudanças nas taxas de infiltração e uma redução da água no subsolo; assoreamento; processos de erosão das margens e desbarrancamento; modificação na foz; redução da biodiversidade; comprometimento da navegabilidade abaixo da cidade de Pão de Açúcar-AL; diminuição dos alimentos para fauna aquática devido à redução de sedimento. E concluem que houve diminuição nas concentrações de sedimentos depois da barragem de Xingó e que é preciso haver um monitoramento das variáveis descritas e aumentar sazonalmente as vazões para lavar a calha do rio e aumentar a produtividade biológica.

Em períodos críticos é evidenciada a problemática entre o setor elétrico e os usuários de irrigação, ou seja, quando a vazão liberada pela barragem é insuficiente, contudo existe um padrão de priorização de uso para setor hidrelétrico (BRASIL, 2006).

Em outras bacias, como a bacia do rio Yangtze, localizado na China e considerado o maior rio da Ásia foi analisado a variação espaço-temporal do escoamento e obtiveram que o barramento afetou significativamente o sedimento fluvial, como também o processo sedimentar de toda a bacia. Obteve-se como consequência também a recessão do delta do Yangtze (LIN et al. 2016).

O conhecimento da análise da bacia hidrográfica é de extrema importância para entender sua dinâmica, pois a água é essencial a todos, porém limitada. Os usos múltiplos da água é um dos desafios do gerenciamento e planejamento das bacias que precisa conciliar, preservar os recursos hídricos.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia empregada teve o intuito de atingir os objetivos proposto pela pesquisa para avaliação das alterações hidrológicas decorrentes do comportamento dos fluxos de sedimentos no Baixo São Francisco, imposto pelo regime de vazão da barragem de Xingó.

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO DO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO

O presente estudo abrange a região do baixo São Francisco que corresponde uma área de 30.377 km<sup>2</sup>, começando em Paulo Afonso seguindo até a sua foz no Oceano Atlântico, passando pelos estados da Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. A região do baixo São Francisco representa apenas 6% da região da bacia, correspondendo a menor porção dentre as quatro subdivisões do rio São Francisco: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (ANA, 2002). A Figura 10 ilustra a região do baixo São Francisco.

Figura 10 - Região do Baixo São Francisco



Fonte: ANA ( 2002).

Compreende as unidade de federação nos estados de Alagoas onde se concentra a sua maior parte com 43,9 %, seguido por Sergipe com 23, 8%, Pernambuco com 22,8% e Bahia com a menor porção de 9,5 % (CBHSF, 2016).

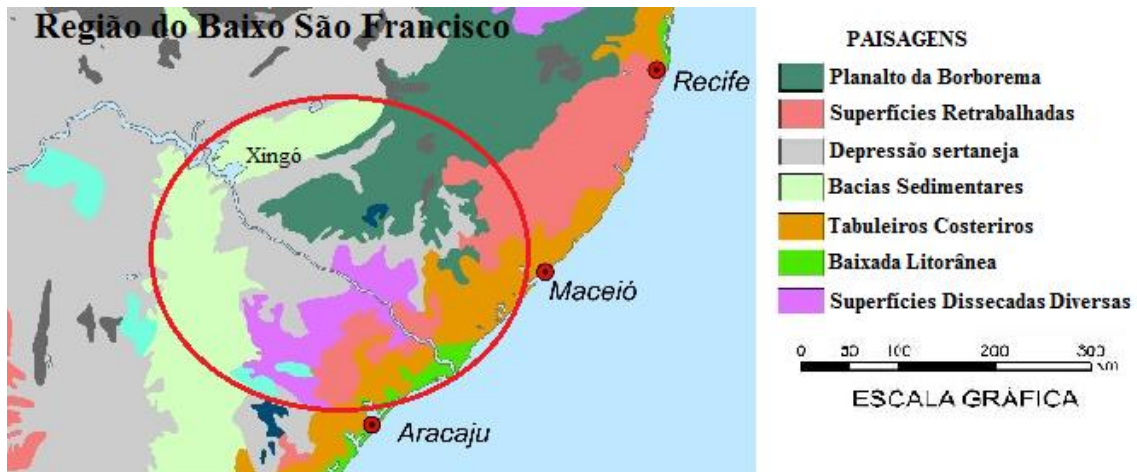
Segundo Tavares (2013), a região do baixo São Francisco possui diferentes finalidades econômicas e sociais: abastecimento de água, irrigação (culturas de ciclo curto), aquicultura

(camarão), ecoturismo, navegação e hidroelétricas na qual, ilustram a importância do baixo curso do rio São Francisco.

Segundo Santos (2007), para realizar um melhor planejamento de uma dada região, a mesma precisa ser estudada por diversos temas que estejam relacionados aos seus aspectos físicos como: climatologia, geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia, como também, os aspectos biológicos (vegetação e flora) levando em consideração as pressões antrópicas locais.

Para isso, o estudo das chamadas “unidades geoambientais” abrange diversas realidades em função da instalação da paisagem e a classe de solos que praticamente forma a “espinha-dorsal” dessas unidades. Os efeitos do clima no semiárido com as características do solo são essenciais na disponibilidade de água. A retenção e a resposta ao tipo de chuva e a capacidade de suporte do solo, identificam o sistema radicular local e podem proporcionar melhores intervenções tecnológicas ou mesmo podendo alterar os processos de produção (SILVA et al., 1993).

O Baixo São Francisco possui uma variedade de unidades geoambientais paisagísticas, fruto da inter-relação das diferentes características físicas na região além da intervenção do homem no meio. São sete unidades geoambientais encontradas no Mapa das Unidades Geoambientais do Nordeste segundo Silva et al. (1993), ilustradas na Figura 11 tem-se: a Bacia Sedimentar, Planalto da Borborema, Depressão Sertaneja, Superfícies Dissecadas Diversas, Superfícies retrabalhadas (mar de Morros), Tabuleiros Costeiros e Baixada Litorânea.



Fonte: adaptado de Silva et al. (1993).

De modo a caracterizar o ambiente para uma compreensão melhor da região em estudo tem-se as seguintes características:

### Geologia e geomorfologia

- **Geologia:** o baixo São Francisco está compreendida na província da Borborema de acordo com a segmentação tectônica da plataforma sul-americana em províncias estruturais. A província da Borborema é caracterizada por rochas metamórficas obtidas de choque de placas tectônicas durante o ciclo brasileiro. No período jurássico e cretáceo os sedimentos foram acrescidos, como também na ocorrência de intrusos salinas. A formação da estrutura da área foi finalizada com sedimentos recentes que se acumularam nos períodos terciários e quaternários. A região forma uma litosfera continental heterogênea (ANA, 2002).
- **Relevo:** apresenta variação de 200m até o nível do mar, em algumas áreas podem chegar a 500 m. Na planície Costeira a altitude é inferior a 100 m e nos Tabuleiros do Grupo Barreiras entre 200 m a 100 m. Entre Paulo Afonso e Canindé do São Francisco ressalta-se que grande parte do trecho do rio se apresenta encaixado em fraturas e falhas com profundas gargantas chamadas de Cânions do São Francisco, principalmente onde está localizada a represa de Xingó (BRASIL, 2011).

### Pedologia e cobertura vegetal

- **Solos:** A região pode ser identificada em duas áreas distintas no sentido de Oeste para Leste. Uma localizada entre as cidades de Paulo Afonso/BA e Propriá/SE onde se sobressai, três tipos de solos: Neossolos Litólicos, Planossolos e Luvisolos. A outra área situada à jusante da cidade de Propriá-SE prosseguindo até a foz no Oceanos Atlântico, ocorre uma maior variedade de tipos de solos como: Neossolos Quartzarêncos, solos indiscriminados de mangue, Espodossolos, Argissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos (ANA, 2002).
- **Vegetação:** Nessa região se apresenta de dois tipos: num trecho mais acima a Caatinga e nas áreas mais costeiras a Mata Atlântica (BRASIL, 2011). A Caatinga é uma vegetação Xerófila, por causa da pouca precipitação na região do semiárido. No Litoral além da Mata Atlântica (resquício) encontra-se na floresta de restinga e os mangues (TAVARES, 2013). Devido à grande importância econômica dos manguezais, estes ambientes vem sendo degradados diariamente pela ação e ocupação do homem (BRASIL, 2011).

## Hidrologia

- **Recursos Hídricos:** Seus afluentes compreendem os rios Capiá, Ipanema e Traipu pela margem esquerda e rios Riachos Santo Antônio e Aterro pelo lado direito (ANA, 2002). Com a construção da hidrelétrica de Xingó, no final da década de 1980, a região mais próxima à foz sofreu novas modificações, havendo mais redução das vazões, já diminuídas pelos barramentos anteriores. As vazões de permanência mensais para um  $Q_{95\%}$  nas estações fluviométricas de Propriá e Traipu de são de:  $1.262 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1.288 \text{ m}^3/\text{s}$ , contudo, já em 2015 o IBAMA, junto com a ANA reduziram para  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  a vazão liberada pela barragem de Xingó (Melo et al. 2015). Devido à seca prolongada a ANA vem reduzindo a vazão regularizada pelos barramentos, desde julho de 2017, a vazão do Rio São Francisco a partir do Reservatório de Sobradinho foi reduzida para  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (CHESF, 2017).

## Clima e precipitação

- **Clima:** Nessa região ocorre uma mudança clara na distribuição anual das chuvas em relação aos trechos, pois nas áreas costeiras ocorrem em maior volume e em grande parte do ano, diferente das áreas onde está situado o semiárido. A temperatura média anual é de 25°C, a precipitação média anual varia de 800 mm a 1.300 mm com uma evapotranspiração de 2.300 mm anuais. A distribuição das chuvas acontece de março a setembro e os outros meses no verão. Contudo, o clima é considerado tropical semiúmido (BRASIL, 2011).

### **Caracterização socioeconômica**

As principais cidades o trecho baixo do rio São Francisco estão: Jeremoabo, na Bahia; Pesqueira e Bom Conselho, em Pernambuco; Propriá, Canindé e Nossa Senhora da Glória, em Sergipe; e Arapiraca, Piranhas, Delmiro Gouveia, Penedo, em Alagoas (BRASIL, 2011).

Os municípios da região do baixo São Francisco apresentaram um quadro com desigualdades sociais vividos pela população no trecho entre os estados de Sergipe e Alagoas pelo baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) por Município de acordo o (censo 2010), publicado no Atlas de Desenvolvimento Humano (2013) intermediado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (NASCIMENTO, 2013).

A pesquisa de Resende e Oliveira (2015), realizada em 22 municípios de ribeirinhos nos estados de Alagoas e Sergipe nos anos de 2010 e 2011, afirmaram que 83% dos seus pescadores possuem na pesca sua principal renda, daí se observa a importância socioeconômica da atividade pesqueira para a maioria das regiões ribeirinhas.

Nascimento (2013) afirma que a seca entre os anos de 2012 e 2013 foi considerada a maior dos últimos 30 anos e já previa a dinâmica da mudança de comportamento dos pescadores, visto que naquele mesmo ano a redução da vazão nos rios de 1.100 m<sup>3</sup>/s ou entre 1.100 e 1300 m<sup>3</sup>/s era considerado bastante crítico e incompatível com a garantia de usos múltiplos da água. Contudo, a seca já dura 5 anos e os níveis de vazão vem sendo reduzidos, chegando a 550 m<sup>3</sup>/s em julho de 2018.

### **Ambiente estuarino**

A região do delta do São Francisco está localizada na divisa dos estados de Sergipe - SE e Alagoas-AL, praticamente na cidade de Piaçabuçu, correspondendo a 130 km no sentido sul de Maceió. Apresenta-se com longas faixas de areia, na qual forma dunas móveis, e diversas ilhas formando vários corredores ao longo do leito do rio (CBHSF, 2018).

O comprometimento da erosão das praias de Sergipe esta sendo um processo contínuo e praticamente recente, ocasionado pela falta de sedimentos. O acúmulo de sedimentos (bancos de areia) formados, no percurso do rio são devido à regularização de vazões pelos barramentos rio acima. Hoje a erosão se dar pela ação dos barrancos nas margens, contudo os fluxos não estão tendo forças para transportar até a foz. No baixo curso os sedimentos são transportados de forma helicoidal nas respectivas curvas dos meandros característico da calha do rio que ficam próximos aos barrancos e depositados na calha, intensificando os meandros existentes no canal principal (BRASIL, 2006).

### 3.2 USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

A usina Hidrelétrica de Xingó está instalada no rio São Francisco em seu trecho baixo aproximadamente 65 km a jusante do complexo de Paulo Afonso. Vale frisar que a mesma esta localizada entre os canyons, local de turismo entre os trechos de Paulo Afonso e Xingó. Possui uma área de drenagem de 609.386 km<sup>2</sup>. Seu aproveitamento hidrelétrico está localizado entre os estados de Alagoas e Sergipe, posicionado a 12 km da cidade de Piranhas/AL e a 6 km da cidade de Canindé do São Francisco/SE (CHESF, 2018).

A capacidade de descarga de 33.000 m<sup>3</sup>/s na qual a geradora é compreendida em seis unidades com aproximadamente 527.000 kW de potência nominal cada, num total de 3.162.000 kW de potência instalada, e ainda existe um planejamento para mais quatro unidades similares para uma segunda etapa (CHESF, 2018).

A usina além de ser uma grande produtora de energia, coopera com a irrigação local, e também com o turismo da região (canyons), onde são observadas rochas de granito avermelhado e cinza aliadas a águas claras e verdes. Sua usina abastece grande parte do Nordeste, e contribui também ao adiantamento de projetos de abastecimento de água e irrigação para o município de Canindé/SE (CBHSF, 2018). As Tabelas 03 e 04 ilustram as características da barragem de Xingó e as características do reservatório.

Tabela 03 - Característica da barragem de Xingó

Barragem de Xingó	
Proprietário	CHESF
Início das Obras	03/1978
Início da operação	12/1994
rio	São Francisco
Longitude	37° 47' Oeste
Latitude	9° 37' Sul
Distancia da Foz	179 km
Município/ Estado	Canindé do São Francisco-SE
Tipo de Construção	Externa
Potencia Instalada	3.162.000 kw (6UGs)

Fonte: CHESF (2018).

Tabela 04 – Característica do reservatório de Xingó

Reservatório	
Área	60 km <sup>2</sup>
Volume total	3.800 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume útil	41 Hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada	Fio d' água
Nível máximo maximorum	139,00 m
Nível máximo operativo	138,00 m
Nível mínimo operativo normal	137,20 m
Comprimento	60 km

Fonte: CHESF (2018).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS ESTUDADAS

Para a realização da estimativa do transporte de sedimentos do rio São Francisco, especificamente realizada no Baixo São Francisco após a barragem de Xingó até sua foz, o estudo foi baseado nos dados de vazão e concentração de sedimentos em suspensão. Entretanto, além desses dados foi realizada também uma análise dos dados de precipitação (chuva) no intuito de entender melhor a dinâmica hidrológica na área de estudo.

Os dados foram obtidos nas 06 (seis) estações fluviométricas e 06 (seis) estações pluviométricas instaladas na região e operadas pelo CPRM/SGB. Das 06 estações fluviométricas, somente 03 possuem informações sedimentológicas, 04 com informações de vazão e 02 com dados somente de cota (nível do rio). As descrições e localizações das estações fluviométricas e pluviométricas estudadas no baixo São Francisco após a barragem de Xingó são ilustradas nas Tabelas 05 e 06.

Tabela 05 - Estações fluviométricas no trecho baixo São Francisco

Código	Estação	Dados	Latitude	Longitude	Altitude	Área de
--------	---------	-------	----------	-----------	----------	---------



					(m)	drenagem (km <sup>2</sup> )
49330000	Piranhas	Vazão/sedimento/cota	-09°37'34''	-037°45'22''	10,85	610000
49370000	Pão de Açúcar	Vazão/cota	-09°45'05''	-037°26'47''	8,1	615000
49660000	Traipu	Vazão/sedimento/cota	-09°58'17''	-037°00'10''	2,29	630000
49705000	Propriá	Vazão/sedimento/cota	-10°12'50''	-036°49'26''	1,57	631000
49740000	Penedo	Cota	-10°17'24''	-036°35'10''	28	633000
49775000	Brejo Grande	Cota	-10° 24'35''	-036°28'07''	8	635000

Fonte: A autora a partir da ANA (2018).

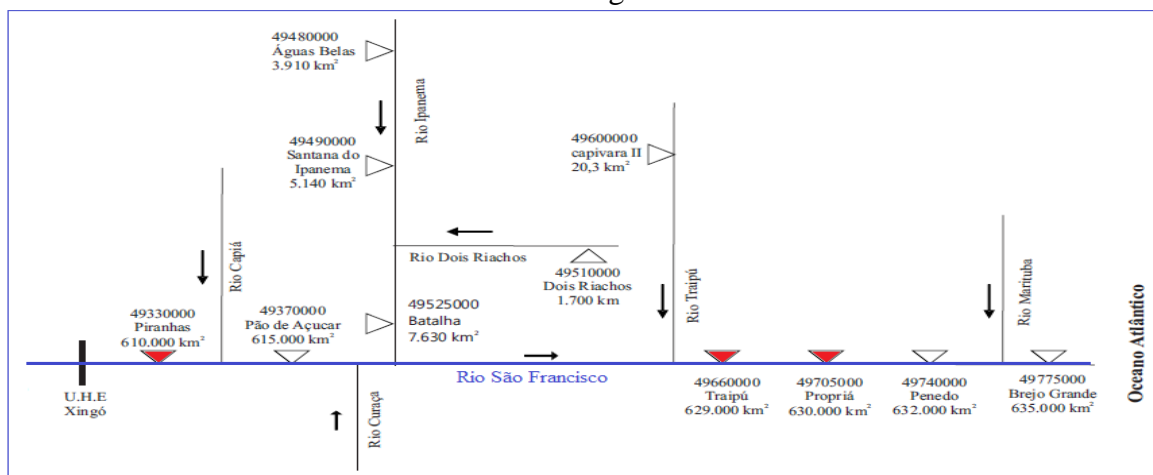
Tabela 06 – Estações pluviométricas no trecho do baixo São Francisco

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
00937023	Piranhas	-09°37'34''	-037°45'22''	110
00937018	Pão de Açúcar	-09°45'09''	-037°26'48''	45
00936076	Traipu	-09°58'22''	-037°00'12''	
01036048	Propriá	-10°12'55''	-036°49'26''	17
01036005	Penedo	-10°17'06''	-036°33'23''	28
01036007	Piaçabuçu	-10°24'23''	-036°25'34''	10

Fonte: A autora a partir da ANA (2018).

As estações fluviométricas e pluviométricas possuem um posicionamento no curso do rio. As estações pluviométricas ficam instaladas próximas às estações fluviométricas com mesmo nome. A estação de Piaçabuçu fica próxima da estação fluviométrica de Brejo Grande. A Figura 12 ilustra o diagrama unifilar no trecho baixo do rio São Francisco com as ordens de posicionamentos das estações fluviométricas ao longo do rio, assim como seus principais afluentes até sua foz no Oceano Atlântico.

Figura 12 – Diagrama Unifilar no trecho Baixo do rio São Francisco a partir da barragem de Xingó



Fonte: Adaptado da CPRM (2009) não publicado.

Na Figura 13 é possível visualizar no mapa com as posições reais das estações fluviométricas no rio São Francisco no seu baixo curso.

Figura 13 – Mapa com as posições reais das estações instaladas no Baixo rio São Francisco



Fonte: Adaptado do Google Earth (2018).

A distância total da Barragem de Xingó a foz do São Francisco é de aproximadamente 175 km em linha reta. As distâncias entre a barragem, as estações estudadas e a foz são aproximadamente: Barragem Xingó – Piranhas = 4 km; Piranhas – Pão de Açúcar = 35,8 km; Pão de Açúcar – Traipú = 54 km; Traipú – Propriá = 23 km; Propriá – Penedo = 27 km; Penedo – Brejo Grande = 19,3 km e Brejo Grande – a foz = 12 km. Essas distâncias foram medidas em linha reta utilizando a ferramenta disponibilizada pelo Google Earth pro. Cabe salientar que as distâncias são maiores considerando a sinuosidade (meandros) do rio até a foz.

### 3.4 COLETA DOS DADOS PARA O ESTUDO

Os dados utilizados foram obtidos no Hidroweb (Sistema de Informações Hidrológicas), disponibilizado no site da ANA. Foram examinados os dados de precipitação (chuva), descarga líquida (vazão), sedimentos (concentração de sólidos em suspensão), cotas

(nível do rio). Contudo, outros dados também precisaram ser adquiridos como resumos de descarga líquida e curvas-chave. As Tabelas 07 e 08 ilustram os levantamentos dos dados das estações em análise baixados do Hidroweb e que foram utilizados no estudo.

Tabela 07 – Levantamento dos dados das estações fluviométricas no Baixo São Francisco

Código	Estação	Dados	Intervalo de dados	
			Consistidos	Brutos
49330000	Piranhas	Cotas	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Vazões	1977 a 12/2007	2008 a 06/2018
		Sedimentos	-	2006 a 2016
49370000	Pão de Açúcar	Cotas	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Vazões	1977 a 2007	2008 a 06/2018
49660000	Traipu	Cotas	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Vazões	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Sedimentos	-	1999 a 2018
49705000	Propriá	Cotas	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Vazões	1977 a 2007	2008 a 06/2018
		Sedimentos	-	2000 a 2017
49770000	Penedo	Cotas	1977 a 2005	2006 a 06/2018
49775000	Brejo Grande	Cotas	1977 a 2005	2006 a 06/2018

Fonte: A autora a partir da ANA (2018).

Tabela 08 – Levantamento de dados de chuva das estações pluviométricas no Baixo São Francisco

Código	Estação	Intervalo de dados	
		Consistidos	Brutos
00937023	Piranhas	1981 a 2006	2007 a 06/2018
00937018	Pão de Açúcar	1981 a 2006	2007 a 06/2018
00936076	Traipu	1981 a 2006	2007 a 06/2018
01036048	Propriá	1981 a 2006	2007 a 06/2018
01036005	Penedo	1981 a 2006	2007 a 06/2018
01036007	Piaçabuçu	1981 a 2006	2007 a 06/2018

Fonte: A autora a partir da ANA (2018)

A escolha do período de estudo das estações para os dados de vazão, foi devido à disponibilização dos dados das estações de Traipu e Propriá, pois nestas estações somente existem informações a partir de 1977. Para uma melhor análise dos dados, adotou-se para todas as estações inclusive para os dados de cota o ano de 1977 com o início do estudo no trecho baixo São Francisco após a barragem de Xingó.

Para a os dados de chuva, a escolha foi devido a algumas estações possuírem falhas anuais em sequência no final da década de 70 até 1980, não podendo iniciar o estudo a partir de 1977, para facilitar a análise adotou-se o ano de 1981 para iniciar a pesquisa em todas as estações.

Para a análise de cotas (nível do rio) nas estações de Penedo e Brejo Grande, foi utilizado o período de 1979 a 2018, pois a estação de Brejo Grande, somente possui dados a partir de 1979. Por isso foi adotado o ano de 1979 para avaliação da série de cotas das estações no baixo São Francisco. A estação Brejo Grande o ano de 1984 apresentou muitas falhas e inconsistências não sendo possível utilizar a interpolação dos dados.

Cabe salientar que, as estações de Penedo e Brejo Grande são as estações mais próximas da foz do São do Francisco e elas não possuem medição de descarga líquida, conseqüentemente, não possuem dados de vazão para o estudo. Por isso, adotou-se a análise do cotograma nas respectivas estações no intuito de verificar se ainda existe a interferência (regularização) do barramento de Xingó.

Na análise de sedimento, na estação de Piranhas, os dados estudados abrangeram o período entre 2006 a 2016, porém sem medições de descarga sólida nos anos entre 2010 a 2013, ou seja, 04 anos seguidos em sequencia sem realização de medição de descarga sólida. O período total correspondeu a 7anos apresentando 10 medições de descarga sólida na estação.

### **3.4.1 Análise de consistência dos dados**

Foram utilizados os dados consistidos das estações e completado com a série bruta até junho de 2018. O tratamento dos dados foi realizado nos dados brutos, contudo, em alguns casos foi realizado na série do consistido alguns preenchimentos de falhas para completar a série. Foi realizada correção (erros de digitação), preenchimentos de falhas dos dados disponibilizados diários, quando não possível foi realizada na série mensal, tanto nos dados de cota, vazão e precipitação. Essa verificação da consistência dos dados foi realizada conforme as normas técnicas “Diretrizes para Análise de Dados Hidrométricos” e “Normas para Identificação de Correções e Preenchimentos” (CPRM, 2005) – Dados não publicados.

#### **3.4.1.1 Análise de Precipitações (Chuvas)**

Antes de analisar as relações de vazão e sedimento foi avaliado o comportamento da distribuição de chuva no trecho baixo do rio após a barragem de Xingó. Conseqüentemente, os dados podem interferir sobre as vazões na qual podem influenciar na produção de sedimentos na bacia, assim como o seu suprimento no estuário.

O estudo das séries de chuvas nas estações pluviométricas foi realizado no período de 1981 a 2018. Foram obtidas médias mensais e anuais acumuladas, a fim de verificar o comportamento na região do baixo São Francisco.

Para análise das precipitações, foi realizado primeiro o preenchimento de falhas das séries mensais, ocasionada pela falta de boletins nas estações. Foi utilizado o método estatístico de regressão linear associado com as estações de apoio utilizando o programa Excel. Para as falhas de alguns dias foram preenchidas também com apoio de outras estações de acordo com o recomendado por Santos et al. (2001), utilizando a equação (1)

$$P_x = \frac{1}{6} \left( \frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C + \frac{N_x}{N_D} P_D + \frac{N_x}{N_E} P_E + \frac{N_x}{N_F} P_F \right) \quad (1)$$

Em que:

$P_x$  = dado de chuva que se deseja descobrir;

$N_x$  = precipitação média anual do posto  $x$  de apoio;

$N_A, N_B, N_C, N_D, N_E, N_F$  = são as precipitações médias anuais dos postos vizinhos de apoio e

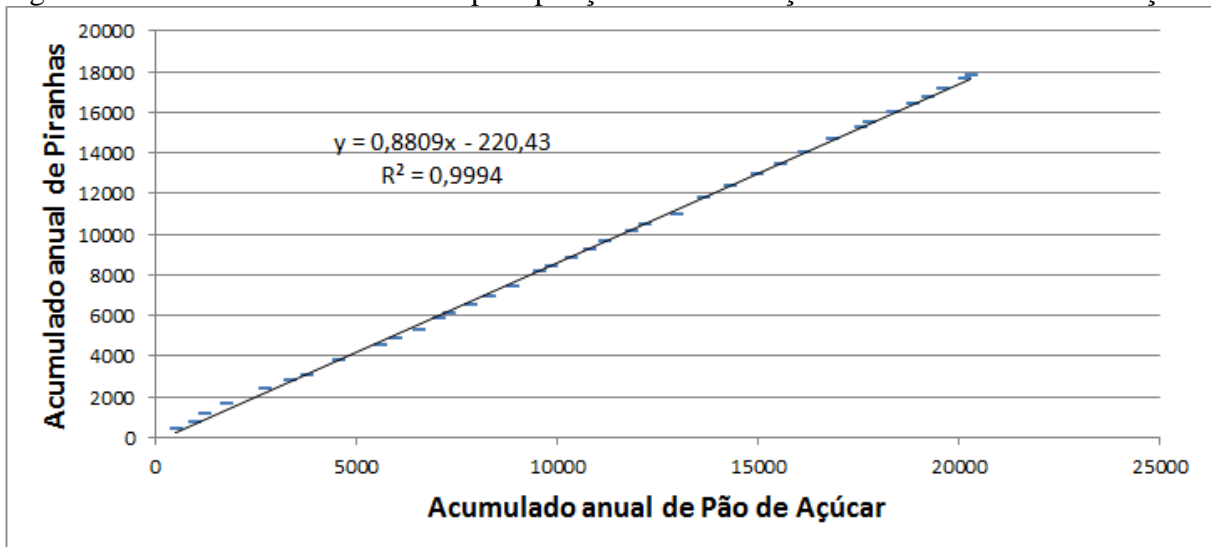
$P_A, P_B, P_C, P_D, P_E$  e  $P_F$  = são as precipitações observadas no mesmo dia que o posto  $x$  não possui.

Depois de preenchida a série histórica de todas as estações foram analisadas possíveis erros ou inconsistências nas estações utilizando o método de dupla massa. O método desenvolvido pelo Geological Survey (USA) consiste em verificar mudanças de comportamento das precipitações, ou até mesmo no próprio local da observação. Como se sabe, regiões homogêneas apresentam respectivamente mesmo comportamento hidrológico (TUCCI, 2009).

Foram gerados gráficos com curvas duplo-acumulativas para cada estação utilizando a estação de apoio. Como as estações pluviométricas se encontram numa certa ordem ao longo do rio, foi realizada uma sincronização entre as estações de apoio tipo: Piranhas e Pão de Açúcar, Pão de Açúcar e Traipu, Traipu e Propriá, Propriá e Penedo, Penedo e Piaçabuçu.

Nos eixos das abscissas foi colocado o total de chuva média acumulada da estação de apoio e no eixo das ordenadas o total de chuva acumulada da estação em análise. Os resultados foram bastante satisfatórios apresentando valores de  $R^2$  igual a 0,9994; 0,9993; 0,9981; 0,9991 e 0,9987, respectivamente nas estações. Contudo, os resultados indicaram que as séries históricas das estações não apresentaram erros significativos. A Figura 14 ilustra um exemplo dos gráficos acumulativos que foram gerados.

Figura 14 - Valores acumulativos da precipitação com as estações de Piranhas e Pão de Açúcar



Fonte: A autora (2018).

### 3.4.1.2 Análise de Vazão e Cota

A consistência desses dados foi realizada segundo as “Diretrizes para Análise de Dados Hidrométricos e Normas para Identificação de Correções e Preenchimentos” elaborada pela CPRM (versão de julho/2005) para o preenchimento de falhas através de correlações e correções existentes de digitações a partir dos documentos originais.

Como visto, a série de vazão é proveniente das cotas observadas, ou seja, quando havia falha na série de vazão também existia a falha na série de cota. Para isto, foi realizado primeiro o preenchimento de falha nas séries de cota, utilizando a estatística por regressão linear utilizando a estação de apoio e posteriormente gerada vazão novamente com a curva de descarga. Porém, quando os preenchimentos na serie de cotas não era possível foi utilizada regressão linear na série de vazões mensais utilizando as estações de apoio para conferência.

Somente na estação de Pão de Açúcar o preenchimento das falhas foi realizado utilizando o programa Hidro 1.3 obtidas com as estações de apoio a montante (Piranhas) e a jusante (Traipu).

Com todos os dados preenchidos foi realizada a verificação com as estações de montante e jusante, avaliando conjuntamente as estações.

As curvas de descargas líquidas (para geração de vazão) foram obtidas da Hidroweb, porém, algumas tiveram que ser determinadas. Para isto, foram utilizadas as respectivas estações de apoio, localizadas a montante e a jusante, avaliando conjuntamente os cotogramas de estações. A curva-chave da descarga líquida foi determinada com o programa Excel

ajustando os pares de valores cota (h) x vazão (Q) a uma equação do tipo potencial. A equação potencial é dada pela seguinte equação:

$$Q = a.(h-h_0)^n \quad (2)$$

Em que:

Q é vazão em m<sup>3</sup>/s; h é o nível d'água (cota) ou mesmo leitura na régua em metros; a, n e h<sub>0</sub> são constantes para o posto, a serem determinados; h<sub>0</sub> corresponde ao valor de h para vazão Q = 0. Para que uma curva seja considerada de boa qualidade, os desvios das medições utilizadas devem ser próximos de zero.

#### **3.4.1.3 Tratamento Estatístico dos dados**

De posse dos dados tratados, todos com a série completa de chuva, cota (nível do rio) e vazão foram realizados tratamento estatístico com o auxílio do software HIDRO 1.3 desenvolvido pela ANA. Foram calculados os dados médios, diários e mensais de chuvas, cotas e vazões. Também foram obtidas as curvas de permanências para as vazões a 50, 75 e 95% em cada estação fluviométrica. Os dados calculados foram enviados para o programa Excel e foram criadas planilhas para obtenção de tabelas e gráficos.

#### **3.4.1.4. Análise de Sedimentos e tratamento estatístico**

Para análise dos dados de sedimento foi preciso muita cautela. Segundo Carvalho (2008), os dados de concentração de sedimento passa por diversas fases para ser concluído: escolha de equipamento, processo de amostragem, análise do material e os cálculos, todos sujeitos a erros diversos. Contudo, os dados das concentrações de sedimentos das estações estudadas foram exibidos em planilhas do Excel onde foram realizadas: a estatística para verificação da correlação entre os dados de sedimento com os de vazão e após isso, determinar a curva-chave de sedimento em suspensão (CCS) para as estações.

Antes da determinação da CCS, para obtenção das concentrações de sedimentos em ppm ou mg/L obtidos das estações, foram realizados os cálculos para as descargas sólidas diárias em suspensão obtidas pela fórmula:

$$Q_{ss} = 0,0864.Q.C_{ss} \quad (03)$$

Em que:

$Q_{ss}$  = descarga sólida de sedimentos em suspensão (t/dia);

$Q$  = vazão líquida média ( $m^3/s$ );

$C_{ss}$  = concentração de sedimentos em suspensão (ppm)

0,0864 = constante (fator de transformação de unidades) (CARVALHO, 2008)

### 3.5 DETERMINAÇÃO DAS CURVAS-CHAVES DE SEDIMENTOS (CCS)

Após a determinação dos valores da descarga sólida em suspensão  $Q_{ss}$  para cada medição, foram traçadas as curvas-chave de sedimentos para as estações, utilizando a metodologia proposta por Carvalho (2008). É realizada por meio de ajuste matemático seguindo modelo potencial, como apresentado na Equação 4.

$$Q_{ss} = a \cdot Q^n \quad (4)$$

Em que:

“a” e “n” = constantes de ajuste.

No Excel para determinar a curva-chave são plotados os valores de vazão sólida em suspensão no eixo das ordenadas e os valores de vazão líquida no eixo das abscissas. Através da regressão linear ou determinação visual foram obtidas as equações correspondentes às curvas, assim como o  $R^2$ .

Nos gráficos foram analisados as dispersões e os pontos que ficaram desgarrados. O R quadrado ( $R^2$ ) foi utilizado para aceitar a correlação dos dados, metodologia utilizado por Lima et al. (2006) onde o  $R^2$  precisa estar acima de 60%. Essa metodologia também mostra se existe a necessidade de mais uma curva para o período estudado. Valores muito divergentes da curva foram descartados para melhorar o  $R^2$  o que foi realizado em todas as estações fluviométricas.

O uso da CCS é necessário quando os dados diários de vazão são disponíveis e os de sedimentos não o são. A existência da curva permite, assim, um cálculo aproximado (estimados) de dados de sedimentos e da descarga sólida média anual.

Para cada vazão pode existir valores diferentes de descarga sólida, indicando que a curva-chave de sedimentos não pode substituir os valores reais encontrados in locos. O fenômeno é muito aleatório, sendo que a CCS permite obter valores médios (CARVALHO, 2008).



### 3.5.1 Cálculos das cargas de sedimentos em suspensão para as estações estudadas

Com as curvas chaves de sedimento em suspensão determinadas nas estações, foram calculadas as cargas de sedimentos em suspensão para todo o período de estudo a partir das vazões diárias disponibilizadas. Com os valores diários de sedimento em suspensão, foi calculada a média diária da carga suspensa em (t/dia) e multiplicada pela quantidade de dias no mês obtendo-se o acumulado mensal (t/mês). A carga anual foi obtida pelo somatório das cargas mensais (t/ano). A série do fluxo de sedimento em suspensão foi aplicada também além do período correspondido pela CCS estendido para Piranhas e Traipu até 06/2018.

Na estação Traipu no período compreendido entre 2002 a 2004 não foi possível obter uma correlação entre os dados para obter uma curva-chave. O  $R^2$  ficou muito abaixo do permitido com valor de 0,0741. Neste caso, foi utilizado o método de regressão linear nas médias mensais de sedimentos com a estação de apoio (Propriá). Essa alternativa também foi proposta por (LIMA et al., 2006).

Contudo, é necessário que fique anotado, que os resultados encontrados em estudos sedimentológicos, muitas vezes depende do conhecimento e também da sensibilidade de quem analisa, podendo esta sujeita a críticas (CARVALHO, 2008).

### 3.5.2 Cálculo da produção específica de sedimentos

A partir dos valores da descarga sólida em suspensão anual (t/ano), calculou-se o valor da descarga sólida em suspensão específica ( $Q_{ss\ esp}$ ).

O cálculo da produção específica de sedimentos foi realizado de acordo com (CARVALHO et al., 2000). A produção específica de sedimentos é a relação entre o deflúvio sólido anual e a área de drenagem da bacia contribuinte, sendo expressa em t/km<sup>2</sup>.ano:

$$P_s = D_s / A \quad (5)$$

Em que:

$P_s$  – Produção Específica de Sedimentos (t/km<sup>2</sup>.ano);

$D_s$  – Deflúvio Sólido Anual (t/ano);

$A$  – Área da bacia contribuinte (km<sup>2</sup>) ou estação fluviométrica (km<sup>2</sup>).

A Tabela 09 ilustra a classificação das concentrações de sedimentos por tonelada por quilômetros quadrados em anos (CARVALHO, 2008).

Tabela 09 – Valores das concentrações de sólido em suspensão específico (Qss específico)

Classificação	Qss esp. (t/km <sup>2</sup> .ano)
Baixa	< 70
Moderada	70 a 175
Alta	175 a 300
Muito Alta	>300

Fonte: adaptado de Carvalho (2008).

### **3.5.3 Análise das causas e efeitos da estimativa de sedimentos em suspensão no Baixo Francisco**

A análise foi realizada pela obtenção dos resultados das precipitações, vazões e as estimativas de sedimentos em suspensão, assim como, pela análise da revisão bibliográfica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão foram realizados em sequência das precipitações, vazões e sedimentos para melhor interpretação dos resultados. Os dados permitem avaliar o comportamento hidrossedimentológico no rio São Francisco em seu trecho baixo.

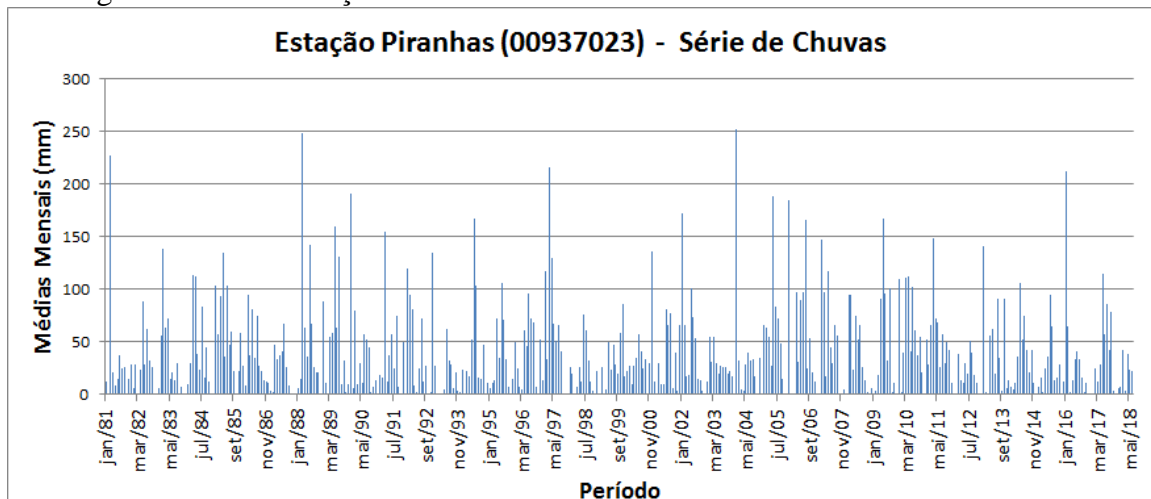
### 4.1 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PRECIPITAÇÃO, VAZÃO E COTA

#### 4.1.1 Análise dos dados de precipitação (chuva)

O Baixo São Francisco é considerado uma região de clima tropical semiúmido, contudo, boa parte da região se encontra dentro dos limites do semiárido da bacia hidrográfica do São Francisco. Conforme ilustração da Figura 06, o semiárido se encontra provavelmente até a cidade de Traipu. Uma das características naturais desse tipo de clima é a ocorrência de chuvas escassas, irregulares e mal distribuídas geograficamente (MOURA et al., 2007).

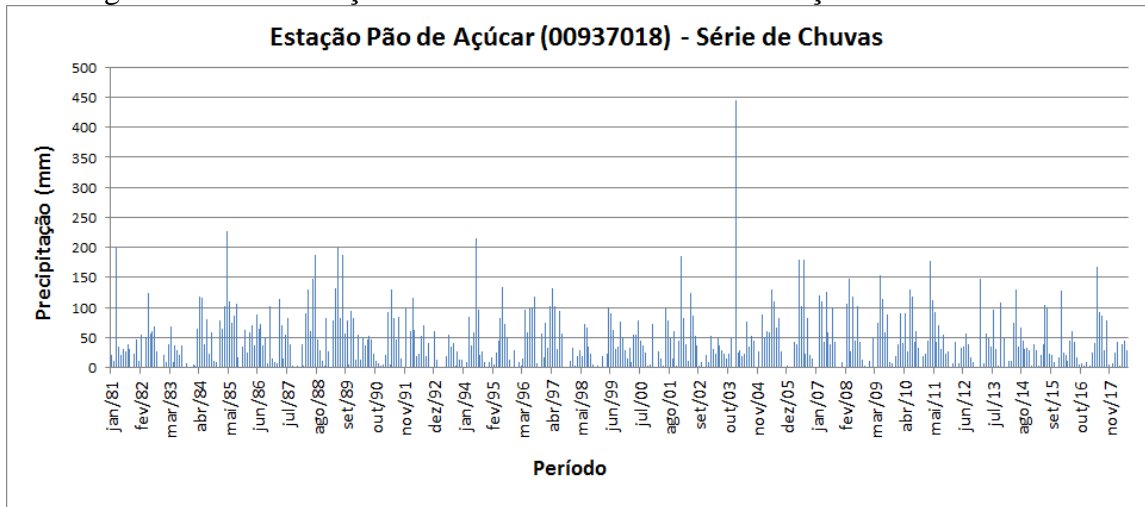
Na análise das estações pluviométricas a distribuição mensal das chuvas no período de estudo pode ser visualizada nas Figuras 15 a 20. As disponibilizações dos gráficos estão em sequência de posição ao longo do rio São Francisco começando com a estação Piranhas (00937023) próximo a barragem de Xingó até a última a estação a de Piaçabuçu (01036007) próxima à foz.

Figura 15 – Distribuição mensal das chuvas em Piranhas entre 1981 e 2018



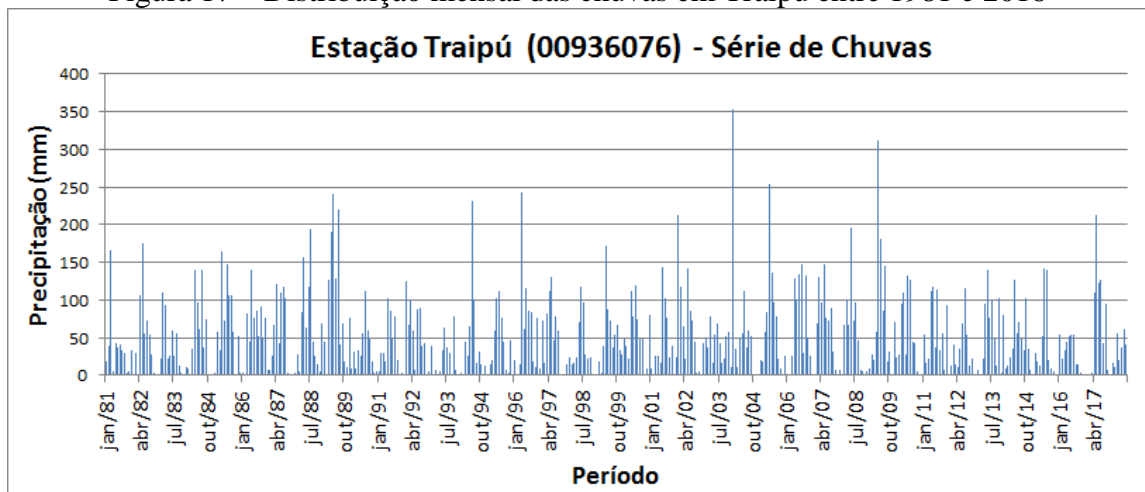
Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Figura 16 – Distribuição mensal das chuvas em Pão de Açúcar entre 1981 e 2018



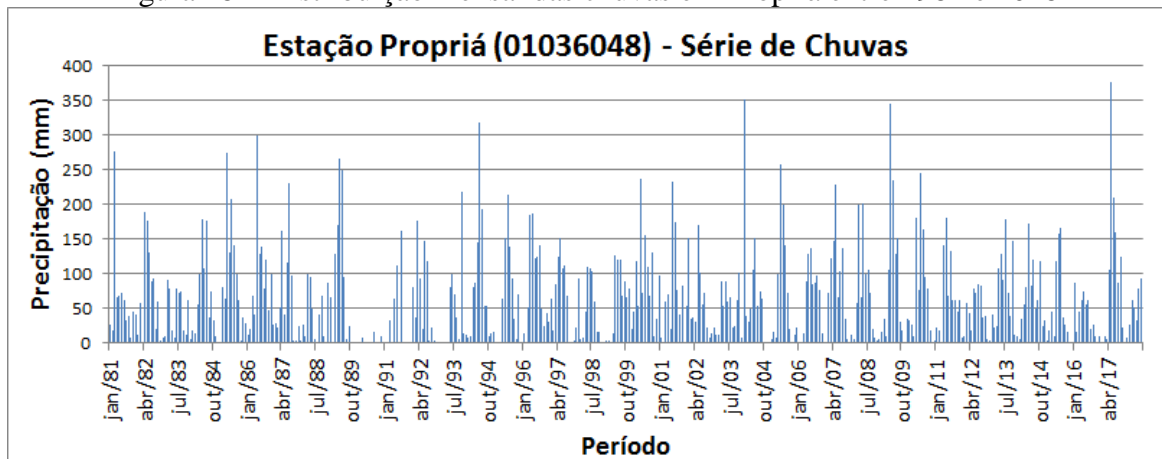
Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Figura 17 – Distribuição mensal das chuvas em Traipu entre 1981 e 2018



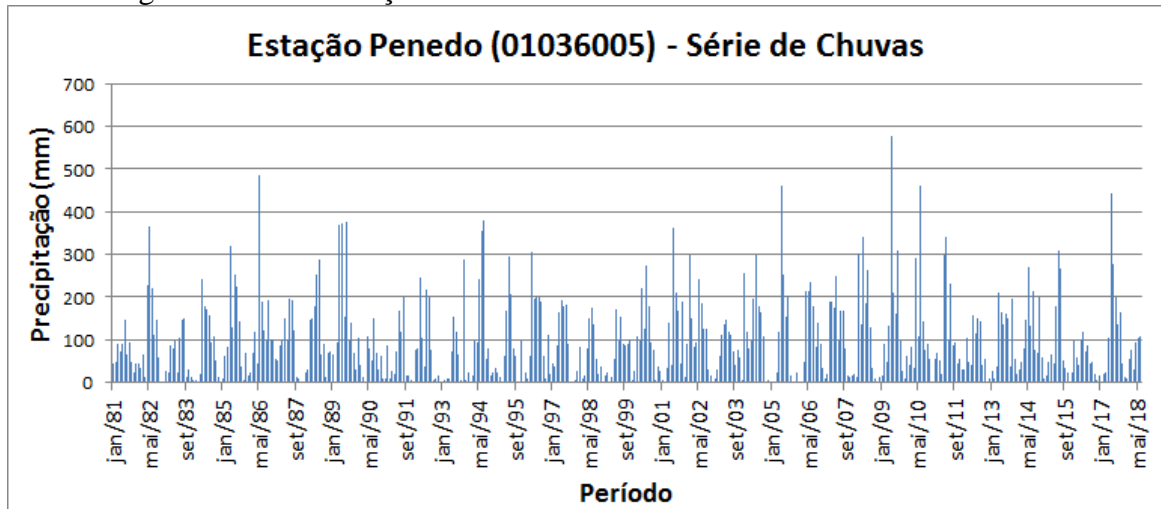
Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Figura 18 – Distribuição mensal das chuvas em Propriá entre 1981 e 2018



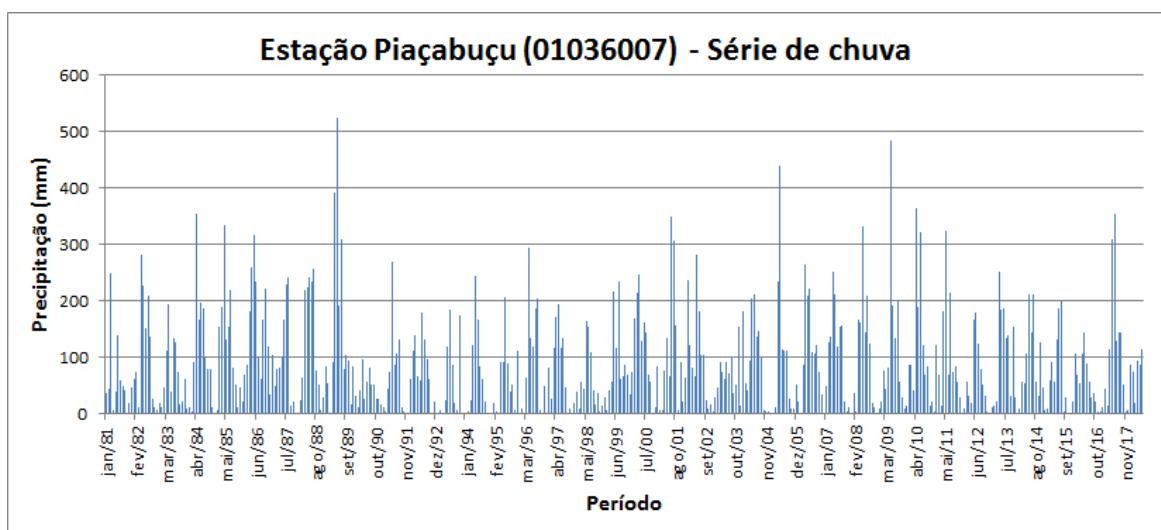
Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Figura 19 – Distribuição mensal das chuvas em Penedo entre 1981 e 2018



Fonte: Adaptado da ANA (2018).

Figura 20 – Distribuição mensal das chuvas em Piaçabuçu entre 1981 e 2018



Fonte: Adaptado da ANA (2018).

De uma maneira geral os resultados de precipitação nas estações estudadas não sofreram mudanças significativas na distribuição da chuva ao longo desses 37 anos. É possível perceber variações na distribuição das chuvas (concentrações altas e baixas), sobretudo por grande parte da região se encontrar no semiárido com vegetação de caatinga.

Na estação de Propriá para todo o ano letivo de 1990 houve algum tipo de inconsistência, pois houve uma redução significativa dos dados comparada a outras estações.

Na análise dos dados de chuvas anuais acumulados foram considerados os três anos mais secos e os três anos mais chuvosos. Começando na estação de Piranhas os anos mais

secos foram 1993 (188 mm), 2012 (234,7 mm) e 1998 (270,9 mm) e os anos mais chuvosos foram 2005 (802,4 mm), 1997 (747 mm) e 1985 (735 mm). A média anual para o período estudado foi de 468 mm, onde foi considerada mais baixa em relação às outras estações estudadas.

Para a estação de Pão de Açúcar os três anos mais secos foram os anos de 1989, 2012 e 1983 onde apresentaram as precipitações acumuladas de 222,3 mm, 249,0 mm e 257,4 mm respectivamente. No período chuvoso os anos foram 1989, 1985 e 1988 com 1022,8 mm, 962,4 mm e 1988 830 mm de chuvas acumuladas.

Para a respectiva estação de Traipu os anos mais secos foram 1993 correspondendo a 263,8 mm, 2016 com 347,1 mm e 2012 com 387,2 mm de chuva. No período chuvoso foram os anos de 1989 com 1166,9 mm, 2009 com acumulado de 957,8 e 1988 com 808,1 mm respectivamente. A média anual encontrada correspondeu a 608,2 mm de chuva.

Seguindo a sequencia, tem-se Propriá, onde os três anos mais secos foram 1991 (369,2 mm), 2016 (72,8 mm) e 1988 (490,3 mm) e anos mais chuvosos foram 2000 (1130,6 mm), 1985 (1124,5 mm) e os anos de 2009 e 2017 praticamente empatados com 1109,9 mm e 1108,2 mm de chuva acumulados. Apresentou uma média anual de 762,2 mm para o período estudado.

Para as estações mais próximas da foz, Penedo e Piaçabuçu, os três anos mais áridos foram 1990 (632,4 mm), 2016 (710,8 mm), 1991 (744,2 mm) e 1990 (518,6 mm), 1993 (622,5 mm), 1995 (711,3mm). Os anos chuvosos foram os anos de 1989 (1879,5 mm), 2009 (1745,4 mm), 1986 (1599,2 mm) e 1989 (1938,2 mm), 1986 (1849,9 mm), 1988 (1510,6 mm). As médias anuais corresponderam a 1168,5 mm e 1074,4 mm para o período de estudo. Estas estações apresentaram as maiores médias anuais em relação às outras estações.

A Tabela 10 ilustra o resumo das médias anuais nas estações estudadas. Foi possível perceber que as médias anuais são maiores perto da foz e decrescem no sentido da barragem de Xingó.

Tabela 10 – Médias anuais do acumulado no período de 1981 a 2018

Estações	Piranhas (mm)	Pão de Açúcar (mm)	Traipu (mm)	Propriá (mm)	Penedo (mm)	Piaçabuçu (mm)
Média Anual	468	534,3	608,1	762,1	1168,5	1074,4

Fonte: médias obtidas a partir de dados primários da ANA (2018).

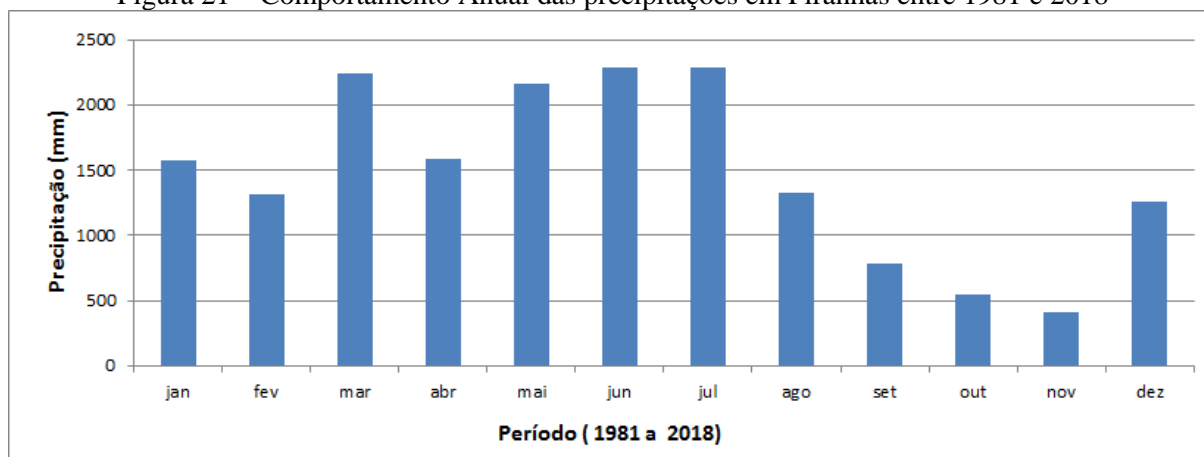
Na análise das médias anuais da Tabela 09 se confirma as características do semiárido na região até Traipu, pois o índice pluviométrico anual para o semiárido em alguns casos

consegue chegar aos 700 mm. A partir de Propriá os índices pluviométricos começam a aumentar para o litoral.

Para análise do comportamento do trecho Baixo em relação ao período seco e o período chuvoso para todo o período de estudo, pode ser visto nas Figuras de 21 a 26 onde ilustram os trimestres mais expressivos de período de seca e chuvoso.

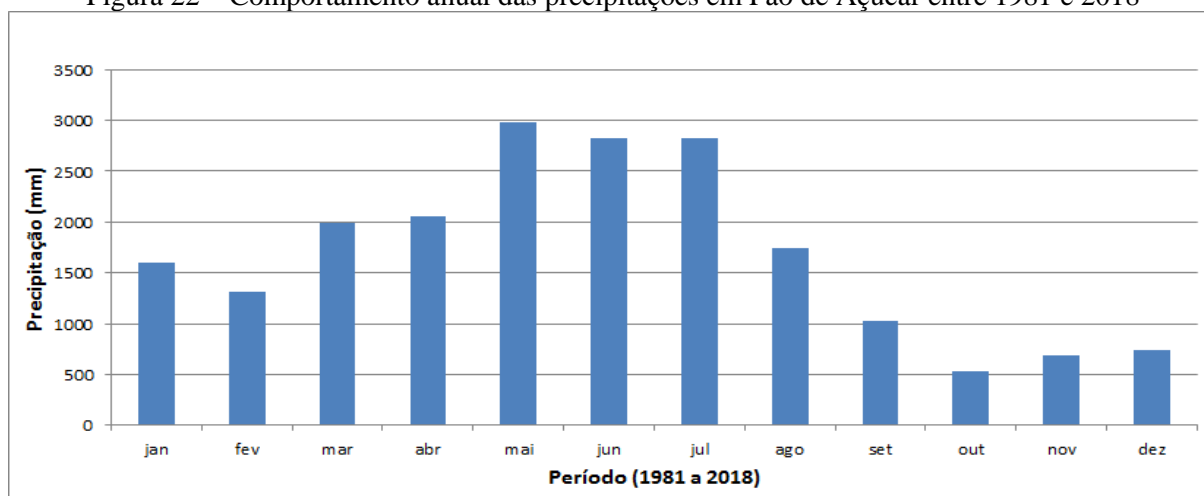
As estações pluviométricas apresentaram o mesmo período de estiagem, para todas as estações correspondendo aos meses de outubro, novembro e dezembro, exceto a estação de Piranhas onde o período começou em setembro, outubro e novembro. Em relação ao trimestre mais chuvoso no período, todas as estações começaram nos meses de maio, junho e julho, exceto Piaçabuçu que o período começou em abril, maio e junho.

Figura 21 – Comportamento Anual das precipitações em Piranhas entre 1981 e 2018



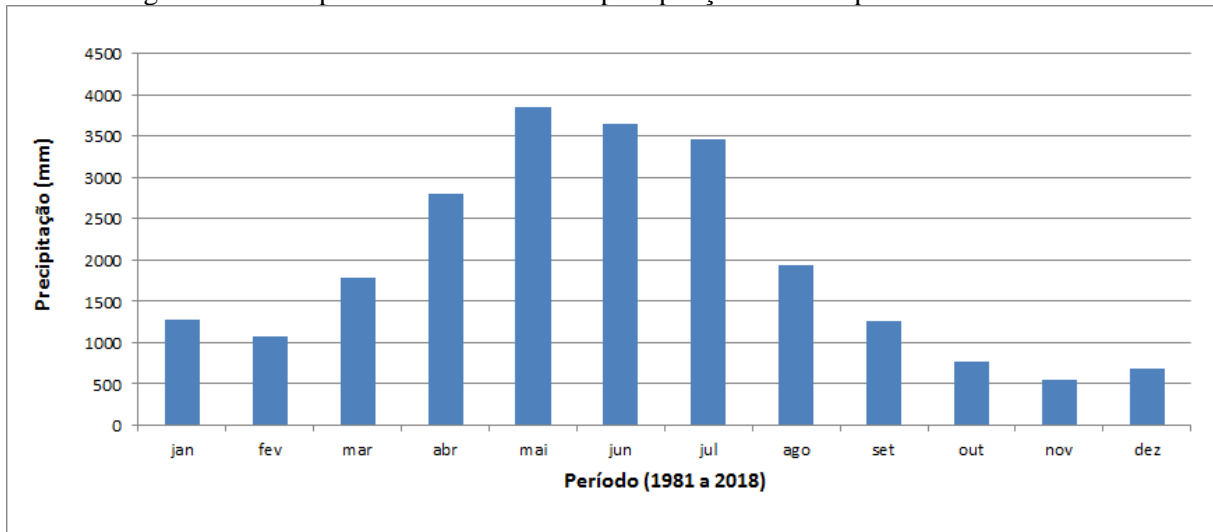
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 22 – Comportamento anual das precipitações em Pão de Açúcar entre 1981 e 2018



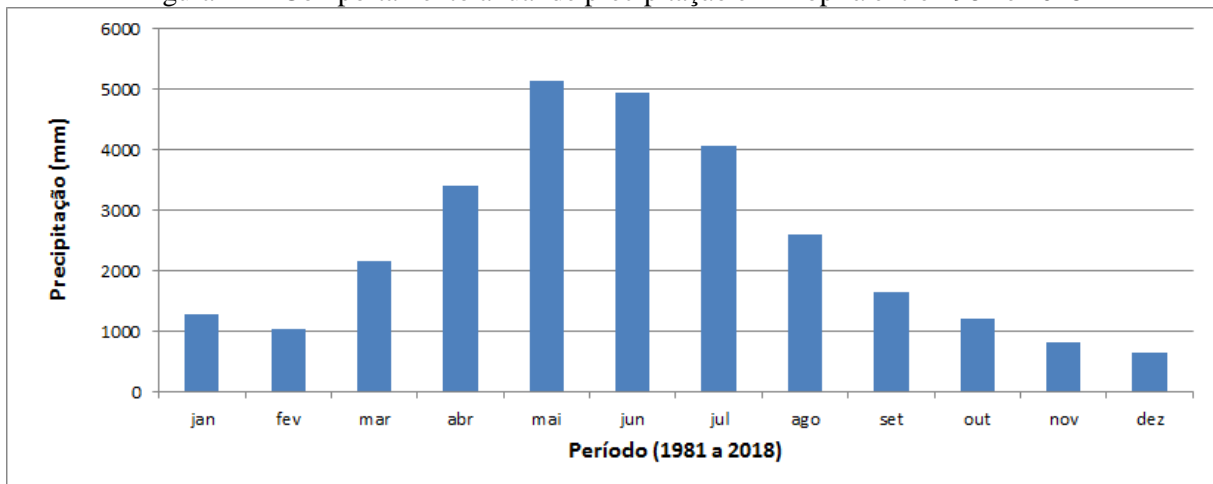
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 23 – Comportamento Mensal das precipitações em Traipu entre 1981 e 2018



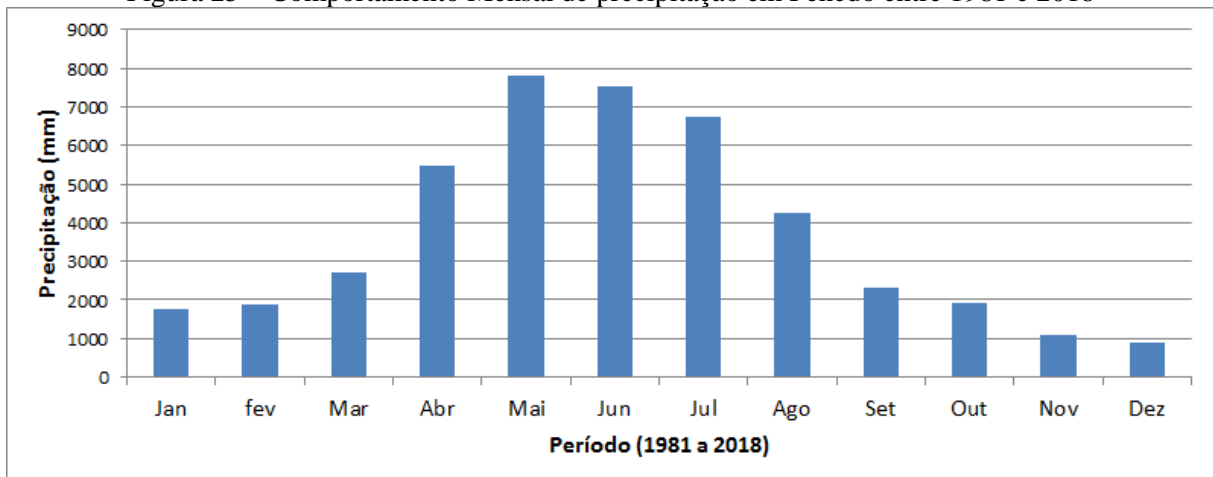
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 24 – Comportamento anual de precipitação em Propriá entre 1981 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

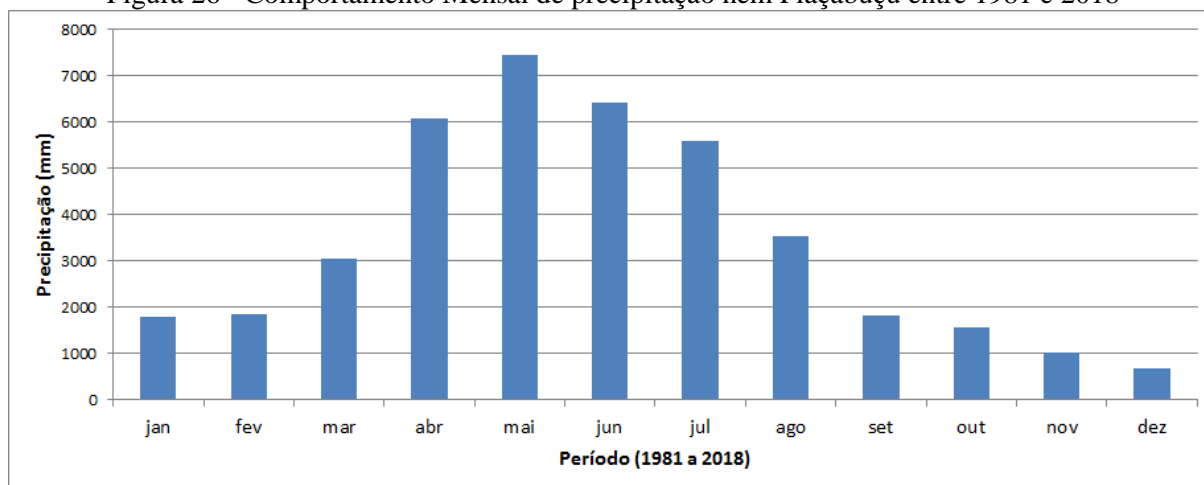
Figura 25 – Comportamento Mensal de precipitação em Penedo entre 1981 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).



Figura 26 - Comportamento Mensal de precipitação nem Piaçabuçu entre 1981 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

O comportamento das chuvas ao longo do rio São Francisco em seu trecho baixo mostra que as estações estão em concordância com dados de precipitação para as características correspondentes. Observou-se que a precipitação média anual decresce da foz para o sentido da barragem de Xingó, ou seja, a região vai se tornando mais seca no sentido da barragem, onde, sobretudo as precipitações acima da barragem tendem a diminuir mais ainda.

Contudo, sabe-se que a barragem de Xingó está em função das barragens rio acima em seu curso no Submédio onde o clima é mais seco (semiárido). A região é muito vulnerável e apresenta períodos com prolongadas estiagens, além de possuir várias zonas geográficas e apresentar índices de aridez distintos. Na análise de chuva no período de 1931 a 2001, realizado a montante de Xingó (no Alto, Médio e Submédio), observaram que o trimestre mais chuvoso foi de novembro a janeiro, onde forneceu com 53% da precipitação anual, já o período mais seco foi de junho a agosto. O estudo ainda afirma que existe uma diferença acentuada no período chuvoso no Baixo São Francisco, que se estende de maio/junho a agosto/setembro com estudado (CBHSF, 2004).

Cavalcante (2011), identificou nessa mesma região, num período de 76 anos até 2011 também não encontrou anormalidades nas precipitações estudadas. Ainda concluiu que os dados de chuvas podem não ter uma relação com os impactos antrópicos dos empreendimentos hidrelétricos, bem como correlação com os processos erosivos das margens na região do baixo São Francisco.

Contudo, os dados das médias anuais das precipitações foram diminuindo no sentido da barragem de Xingó, indicando zonas mais áridas. A região semiárida do nordeste é

extremamente vulnerável as mudanças climáticas, nas últimas décadas o aquecimento global causou alterações no ciclo hidrológico causando mudanças nos padrões de chuva (SILVEIRA et al., 2013). No relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) no ano de 2013 as mudanças climáticas vêm produzindo grandes impactos nos recursos hídricos locais e globais.

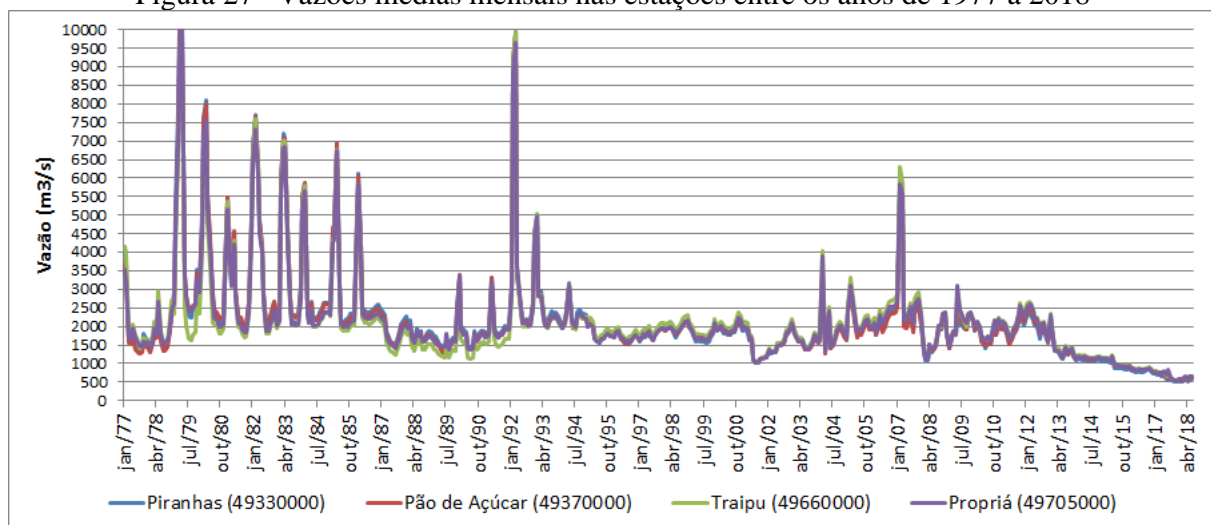
Os dados de chuva analisados apresentaram dentro das expectativas para a região em estudo não apresentando anormalidades, porém é possível perceber que a região acima da barragem apresentam climas mais secos e que podem interferir no seu regime hidrológico, podendo afetar a região do Baixo São Francisco.

Segundo Menezes (2016) num estudo realizado pela Fiocruz no estado da Bahia, afirmam que quase a metade das cidades da caatinga no entorno do Rio São Francisco têm alto risco de sofrer danos provocados pelas mudanças climáticas nos próximos 25 anos.

#### 4.1.2 Análise dos dados de vazões

O comportamento sazonal das vazões médias mensais nas estações fluviométricas de Piranhas (49330000), Pão de Açúcar (49370000), Traipu (49660000), e Propriá (49705000) correspondem a 41 anos de dados entre os anos de 1977 a 2018. A Figura 27 ilustra os dados de vazões para as 04 estações fluviométricas instaladas no trecho baixo do rio São Francisco.

Figura 27– Vazões médias mensais nas estações entre os anos de 1977 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Antes da operação de Xingó em 1994 as vazões eram mais altas e havia uma maior variabilidade entre as vazões altas e baixas (amplitudes), com alguns picos de cheia nesse período. Contudo, com a entrada do barramento de Xingó, as vazões foram reduzidas, além da diminuição considerada das amplitudes das vazões, e o trecho passou ser totalmente regulado pela barragem. A barragem de Xingó tornou-se praticamente a nascente do rio São Francisco no seu trecho baixo.

Percebe-se que no ano de 2001 houve uma depressão anormal das vazões, segundo Medeiros et al. (2011) as precipitações foram bem abaixo dos padrões climatológicos, onde os níveis dos reservatórios das hidroelétricas do rio acima estavam críticos. Por isso, esse período ficou conhecido como a “crise energética”. Em contrapartida, os anos de 2004 e 2007 tiveram dados de precipitações elevados que induziram a abertura das comportas em Xingó, obtendo vazões mais elevadas. Essas precipitações elevadas ocorrem nas áreas acima da barragem de Xingó, não correspondendo às precipitações que ocorreram no Baixo São Francisco.

A análise pode concluir que as precipitações do Baixo São Francisco não interferem diretamente no aumento ou diminuição das vazões na região em estudo, pois as vazões são provenientes da disponibilidade hídrica da região acima da barragem de Xingó. Todas as enchentes são controladas pelos barramentos de Três Marias e Sobradinho para a região do médio, parte do Submédio e conseqüentemente no baixo São Francisco (ANA, 2004).

As menores vazões ocorreram entre os meses de setembro/2017 a abril/2018. Por outro lado as maiores vazões ocorreram em abril/1985, fevereiro/1986, março/1992 e fevereiro/2007, todas antes da operação de Xingó, exceto fevereiro de 2007.

Outro ponto analisado são as reduções das vazões no final do ano de 2012 para 2013 aproximadamente. Praticamente o ano de 2012 começou o período de estiagem na região do semiárido. Porém, de acordo com a análise do gráfico das vazões a seca vem se prolongando e diminuindo ainda mais as vazões até junho de 2018, devido à estiagem severa na região.

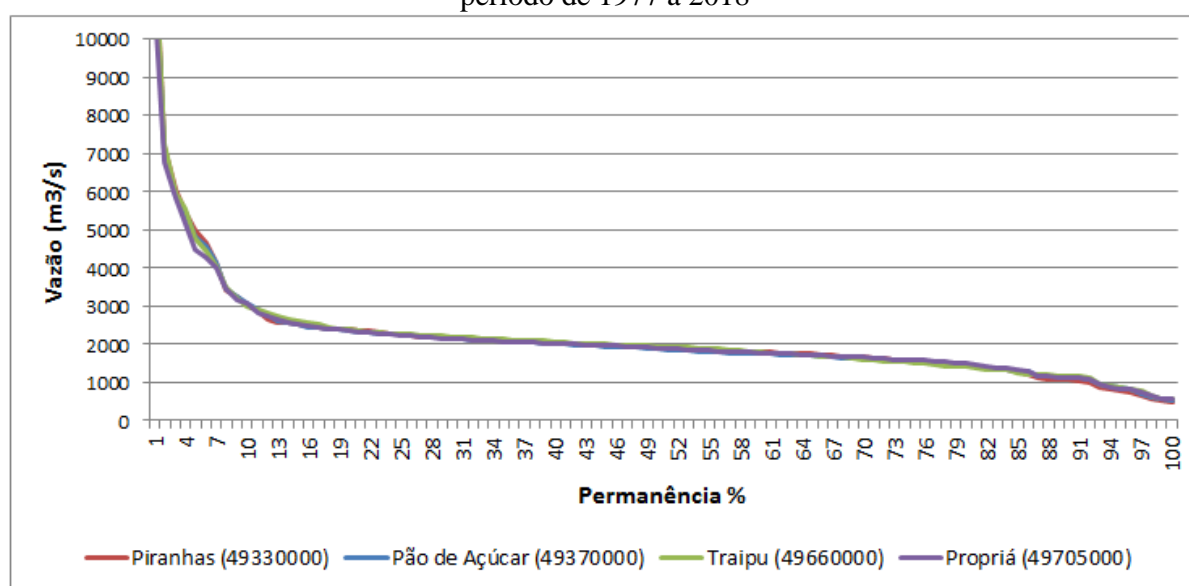
Segundo a ANA (2019), entre os anos de 2013 a 2016, a região Nordeste registrou aproximadamente 83% dos 5.154 eventos de secas que foram registrados no Brasil, na qual prejudicaram a oferta de água para abastecimento, atividades econômicas, geração de energia, irrigação, área industrial e o setor de navegação.

No período de 1979 a 2008 observou-se que as vazões máximas, mínimas e as médias mensais e anuais sofreram atenuação. As cheias também sofreram diminuição depois dos anos 80 com a entrada de Sobradinho (1979), porém com a entrada de Xingó (1994) as cheias praticamente foram extintas na qual houve regularização das vazões. Em 1979 a vazão máxima

era 12.708 m<sup>3</sup>/s, 1985 era 12.225 m<sup>3</sup>/s, 1992 era 10.004 m<sup>3</sup>/s, 2004 era 8.820 m<sup>3</sup>/s e no ano de 2008 a vazão foi de 2.840 m<sup>3</sup>/s no estudo apresentado (CAVALCANTE, 2011). Hoje, a vazão em junho de 2018 em Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu e Propriá estavam na média de 550 m<sup>3</sup>/s.

Na análise de disponibilidade hídrica no Baixo São Francisco foi avaliado pelas vazões de permanência Q<sub>95</sub> obtidas nas curvas de permanência das estações. Na curva é possível verificar se uma determinada vazão é frequentemente igualada ou excedida durante certo período de tempo, onde é possível de ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Curva de permanência das estações Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu e Propriá no período de 1977 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

A curva também é muito utilizada para definir vazões ecológicas, ou seja, vazões mínimas que o ambiente aquático precisa para se desenvolver. A Tabela 11 ilustra o resumo das vazões de permanência mensais Q<sub>95</sub> para o período de estudo além de outras permanências a 50 e 75% do tempo.

A Tabela 11 - Resumo das vazões de permanência mensais para o período de 1977 a 2018

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Piranhas	Pão de Açúcar	Traipu	Propriá
Q <sub>50</sub>	1896	1884	1954	1911
Q <sub>75</sub>	1579	1548	1511	1595
Q <sub>95</sub>	787	851	863	840

Fonte: vazões obtidas a partir de dados primários da ANA (2018).

Na avaliação dos resultados as vazões do período de 2017 a junho de 2018 estão mais baixas que as vazões de permanências Q<sub>95</sub> para o período estudado. Conclui que o período se apresenta com as menores vazões já registradas “mínimas históricas” no baixo São Francisco.

O Plano de Recursos Hídricos do rio São Francisco (PRH-SF) 2016 – 2025 o balanço hídrico superficial apresentou com vazão demanda versus curva de permanência  $Q_{95}$  regularizada em situação muito crítica e preocupante, principalmente para a agropecuária, porém bastante confortável nas águas subterrâneas (PRH-SF, 2016).

Outro agravante nas reduções de vazões no baixo São Francisco é a ocupação da população ribeirinha dentro dos limites de cota antes ocupado pelo rio, conseqüentemente, com o fim do período de seca o rio irá voltar às condições de vazões normais, mais altas anteriormente estabelecidas para o trecho Baixo do curso. Em agosto de 2018 no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) campus Propriá, uma ação liderada pelo Comitê de bacia do São Francisco alertou a população sobre os riscos da ocupação irregular do solo e os danos que podem ser causados nas margens do rio São Francisco (CBHSF, 2018).

Ferreira, Silva e Albuquerque (2011), afirmam que a diminuição da vazão após o barramento de Xingó reduziu a resistência do fluxo contra a maré o que ocasionou impactos na fauna e possível estreitamento da foz do rio São Francisco. Os autores ainda afirmam que a largura da foz do Rio São Francisco reduziu (37,66%) de 1.195,0 metros em 1984 para cerca de 745,0 metros em 2006. E que a redução da vazão no rio possui uma relação com o acúmulo de sedimento na área, ou seja, com a redução da vazão o banco de areia na costa cresce.

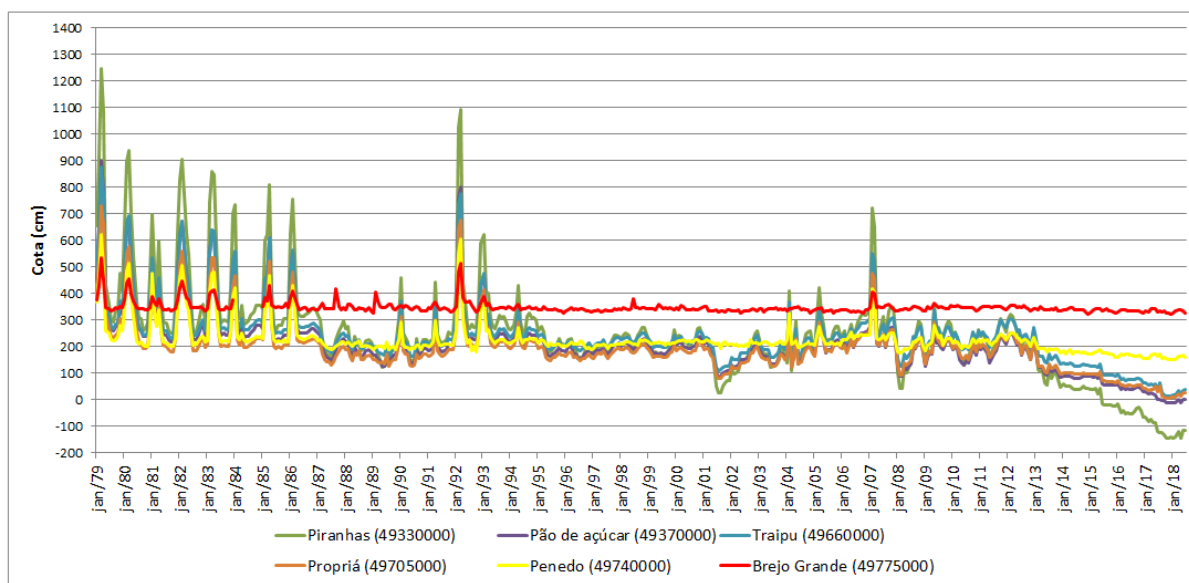
Contudo, com a redução das vazões a partir de 2012 potencializou-se ainda mais o fluxo da maré rio adentro, assim como o estreitamento da foz.

#### **4.1.3 Análise dos cotagramas das estações fluviométricas Penedo e Brejo Grande**

A análise dos cotagramas foi realizada em todas as estações fluviométricas e estão ilustradas na Figura 29, abrangendo um período de estudo de 39 anos, entre 1979 a junho de 2018.

De igual modo ao comportamento da vazão é possível aplicar a interpretação para os dados do cotagrama para as estações de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu e Propriá, pois as vazões destas estações são em função da cota disponibilizada. Existe uma variabilidade entre as cotas altas e baixas (maiores amplitudes) antes do barramento de Xingó e uma regularização dos níveis do rio e diminuição da amplitude de cotas após o barramento. Similar também as vazões, têm-se a diminuição dos níveis da água a partir de 2013.

Figura 29 – Cotagramas das médias mensais das estações no período de 1979 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Contudo, nas estações de Penedo e Brejo Grande existem algumas diferenças na interpretação dos resultados. A estação de Penedo possui bastante semelhança na variação das cotas com as outras estações acima do rio, no antes e após o barramento, porém, somente no período da crise energética no ano de 2001 foi que, os níveis do rio não sofreram redução. Os níveis permaneceram constantes durante o período. Além disto, foi à estação que apresentou menores reduções dos níveis da água no período de estiagem a partir de 2013.

A explicação de Penedo na crise energética em 2001 sobre o nível do rio não ter sofrido decaimento, pois com vazões muito baixas disponibilizadas pela barragem as águas não conseguiram vencer a força da maré deixando o nível da água constante. A partir de 2013 essas águas salobras avançaram ainda mais na região num período de tempo muito maior.

A estação Brejo Grande, situada bem próxima à foz, foi à estação que mais se destacou no na análise da Figura 29. É possível perceber que a estação sofreu mais influencia do barramento antes da estrada da operação de Xingó, quando os níveis de água eram mais altos. Após a instalação de Xingó em 1994, com a regularização e diminuição das cotas a estação Brejo Grande passou a não mais sofrer interferência do barramento. Exceto, com as cotas sobem, e conseqüentemente as vazões também, que Brejo Grande sofre interferência da barragem, como pode ser percebido na elevação da cota e vazão no ano de 2007.

Contudo, conclui-se que a estação de Brejo Grande somente sofre interferência da barragem de Xingó, quando a mesma libera vazões muito altas, ou seja, quando as águas conseguem vencer a entrada do mar em Brejo Grande. A permanência praticamente constante dos

níveis da água desde a operação de Xingó em 1994 pode ser interpretada que a região da foz está sendo alimentada pelas águas do mar que adentra até onde conseguir a resistência das águas da barragem. Na região da foz não existem afluentes significativos que possam interferir diretamente nessas vazões de modo a deixar os níveis sempre constantes.

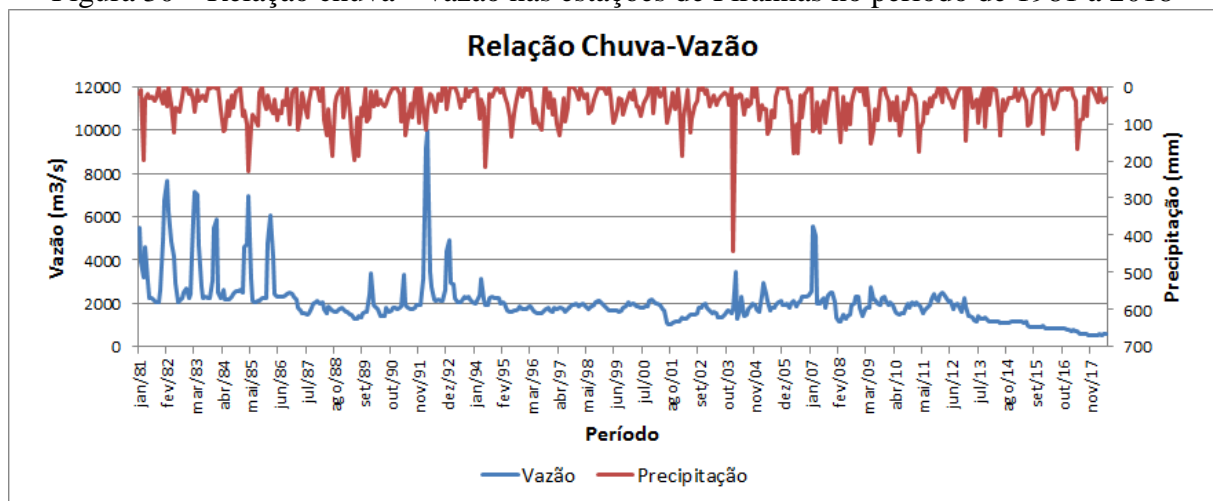
Gonçalves (2016) na estação de Penedo também encontrou resultados parecidos nos dados de cotas máximas e mínimas para o período de 1927 a 2015 onde as cotas mínimas vêm aumentando e as cotas máximas (redução de cheias) vêm diminuindo e que o problema da salinização está vinculada a diminuição das cotas máximas. Como as cheias não estão acontecendo, a cunha salina vem se estabelecendo na calha do rio São Francisco causando transtornos às populações ribeirinhas.

Uma expressão curiosa para redução de vazões após os barramentos foi relatado no estudo de Kondolf (1997) onde a redução foi chamada de “água faminta”, ou seja, o fluxo torna-se sedento de fome e conseqüentemente podendo erodir o leito do canal e os bancos, produzindo incisão no canal (redução).

#### 4.1.4 Análise da relação chuva – vazão

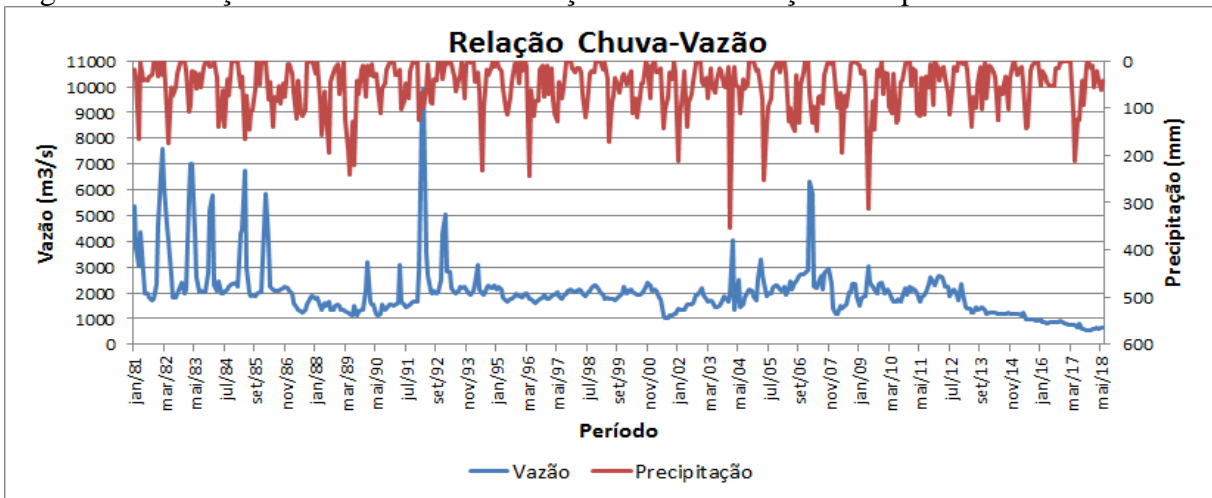
Para análise do comportamento da série de chuva com as séries de vazões as Figuras de 30 a 33 ilustram as relações entre as duas variáveis nas estações fluviométricas e pluviométricas dentro da área de estudo.

Figura 30 – Relação chuva – vazão nas estações de Piranhas no período de 1981 a 2018



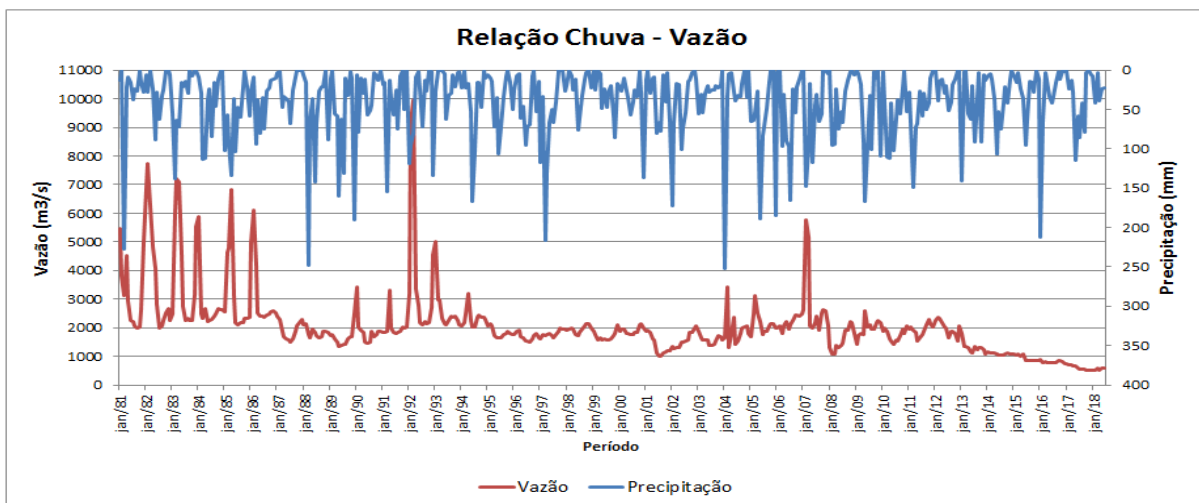
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 31– Relação chuva – vazão nas estações de Pão de Açúcar no período de 1981 a 2018



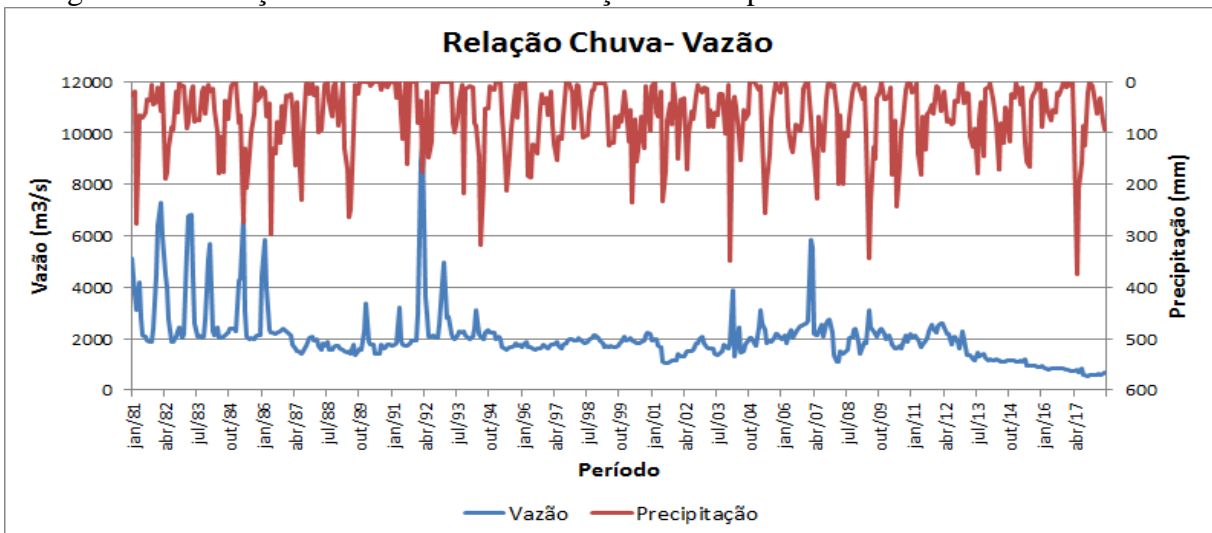
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 32 – Relação chuva - vazão nas estações de Traipu nos anos de 1981 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 33 – Relação chuva – vazão nas estações de Própria entre os anos de 1981 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).



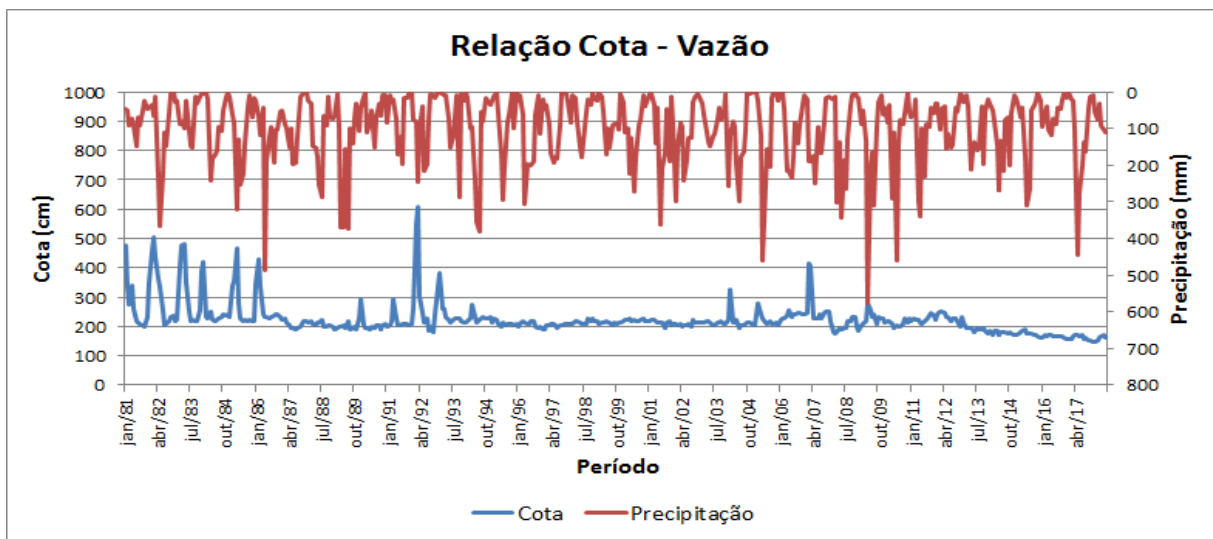
Na análise dos gráficos é possível perceber que os principais picos de vazão e de chuva não estão correlacionados, ou seja, em igual intensidade, principalmente após a instalação de Xingó. O comportamento indica que os dados da chuva, não estão interferindo diretamente no aumento de vazão para todas as estações no Baixo São Francisco no período estudado.

Devido grande parte do Baixo São Francisco apresentar-se na região semiárida, as precipitações não estão sendo suficientes para interferir no aumento das vazões do rio de modo a melhorar as condições hidrológicas nesse trecho da bacia.

#### 4.1.5 Análise da relação chuva - cota

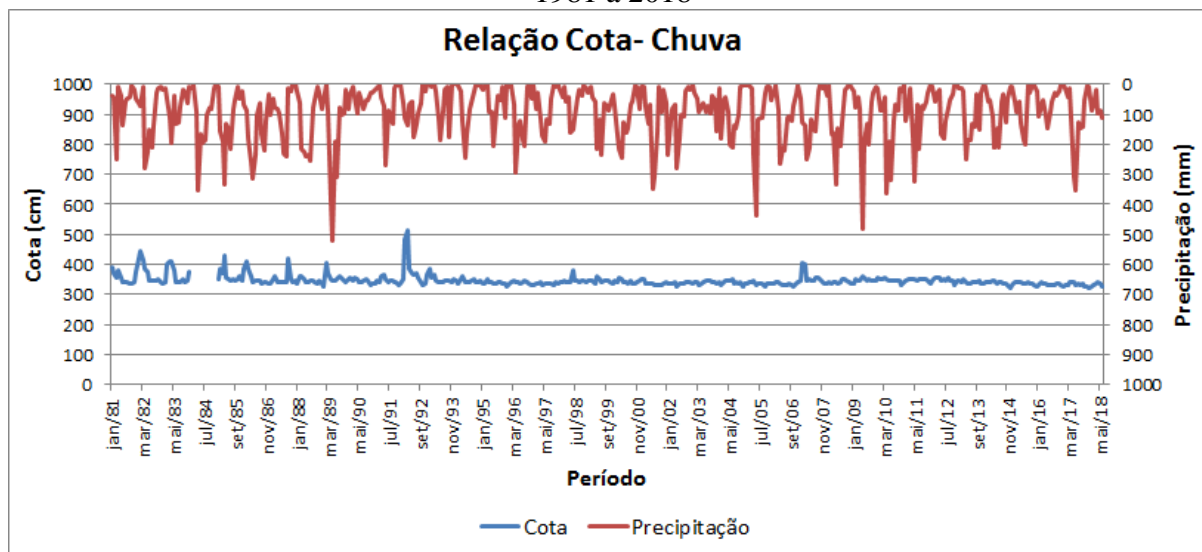
Para as estações de Penedo e Brejo Grande foram analisados os dados de chuva com os dados de cota para avaliar o comportamento no trecho próximo à foz. As Figuras 34 e 35 ilustram a distribuição desses parâmetros.

Figura 34 – Relação chuva - cota nas estações de Penedo entre os anos de 1981 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 35 – Relação chuva - cota nas estações de Brejo Grande e Piaçabuçu entre os anos de 1981 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

É possível verificar que nas estações Penedo e Brejo Grande os dados de cota também não apresentam correlações significativas com os dados de chuva. Contudo, é possível concluir que as séries de chuva não estão interferindo diretamente na produção de vazão e consequentemente, aumento do nível do rio na região do baixo São Francisco.

Conclui-se também que toda a água disponibilizada pela barragem de Xingó, é responsável pelo mantimento de toda a cadeia ecológica aquática, pelo consumo de água (irrigação, agricultura, indústria, população), praticamente em toda região do baixo São Francisco.

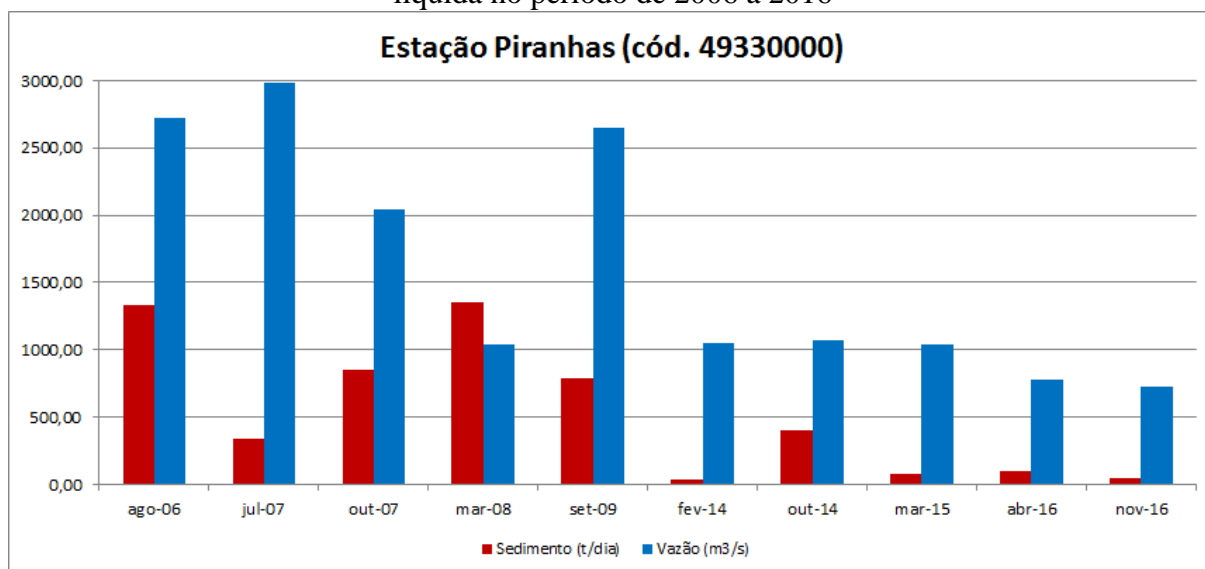
Os planos de gestão dos recursos da bacia hidrográfica do São Francisco precisam incluir na sua gestão os fatores climáticos, principalmente na região das barragens que se encontram no semiárido. Os ciclos de secas no semiárido são uma realidade e que precisam ser levados em conta nos processos de gestão (planejamento). O atual período de seca está afetando toda a estrutura hidrológica da região do baixo São Francisco com os níveis de vazão abaixo do  $Q_{95}$  nos últimos anos.

## 4.2 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA RELAÇÃO VAZÃO - SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

### 4.2.1 Análise bruta da relação vazão – sedimentos em suspensão e curva-chave na estação de Piranhas

Para o estudo do comportamento dos dados de sedimento em suspensão no baixo São Francisco foi realizado em ordem de posição das estações ao longo do rio começando com a estação de Piranhas. As medições de descarga sólida e líquida realizadas na estação Piranhas para o período de estudo constam na Figura 36.

Figura 36 – Dados brutos das concentrações de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 2006 a 2016



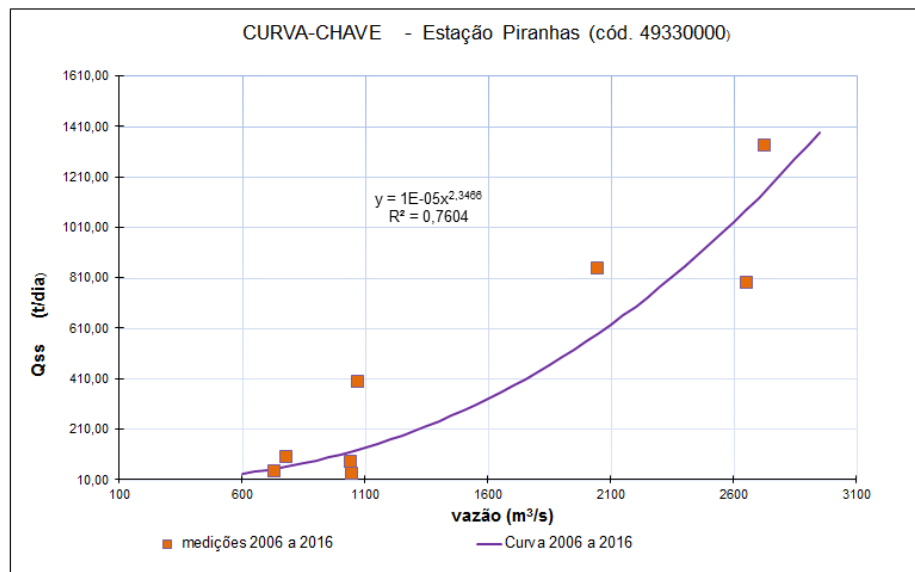
Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

Na análise dos dados brutos, verifica-se que, nos anos de 2006 a 2009 a maioria dos dados tanto das vazões como sedimentos apresentaram com dados em valores mais altos, em relação ao período de entre 2014 e 2018. No período de 2006 a 2009 existiu uma alternância de processos erosivos e sedimentares na referida estação em contrapartida no período de 2014 a 2016 somente houve processos erosivos.

#### *Determinação da Curva-chave de sedimentos em suspensão*

A determinação da curva-chave de sedimento em suspensão foi realizada para todo o período de estudo, apesar do espaço sem dados entre os anos de 2010 e 2013 foi possível determinar a equação da curva-chave de sedimento (CSS). Contudo, foi preciso retirar dois pontos para melhor representar a curva. Os pontos foram às medições de julho/2007 e março/2008 que causaram a diminuição do  $R^2$  para 0,4. A Figura 37 ilustra a curva-chave de sedimento para a estação Piranhas sem os dois pontos discrepantes. Os dois pontos retirados é possível visualizar nos dados brutos da Figura 36. As causas desses aportes de sedimentos são desconhecidas. Desprezando-se esses registros, o coeficiente de determinação passa para 0,7604.

Figura 37 – Curva- chave de sedimento em suspensão na estação Piranhas no período de 2006 a 2016

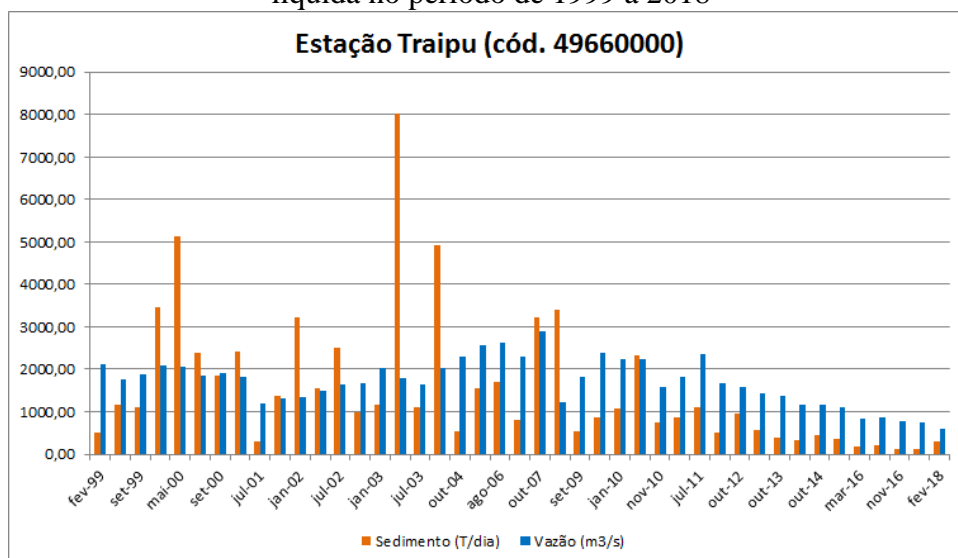


Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).

#### 4.2.2 Análise bruta da relação vazão- sedimentos em suspensão e curva - chave na estação de Traipu

Na análise da estação de Traipu (49660000) situada após a estação de Piranhas, distante a 108 km da foz, os dados obtidos corresponde a um período de 19 anos entre 1999 a 2018. A Figura 38 ilustra a dispersão dos dados brutos concentração de sólidos em suspensão e descarga líquida para o período de estudo na referida estação.

Figura 38– Dados brutos das concentrações de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 1999 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

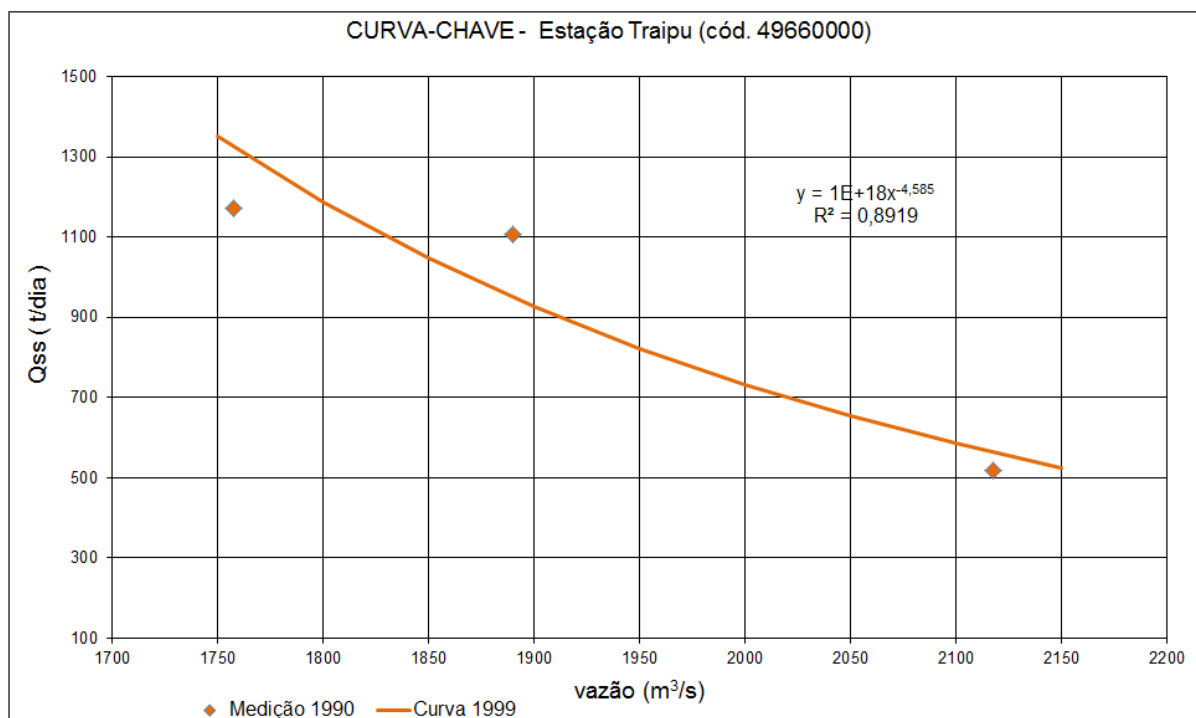
Na análise dos dados brutos, os resultados mostram um acerta oscilação das vazões regidas pela barragem, assim como, os dados de sedimentos em suspensão no período entre 1999 a 2011. Contudo, mostram que existem alguns picos de sedimentos, porém houve uma alternância entre os processos erosivos e sedimentares na estação. Porém a partir de 2011, houve somente processos erosivos, assim como diminuição da vazão e sedimento em suspensão.

#### *Determinação da Curva-chave de sedimentos em suspensão*

Na análise estatística dos dados para determinação da CCS, foi possível elaborar três curvas-chaves para o período de estudo. A primeira curva foi elaborada para o ano de 1999, a segunda no período entre 2000 e 2001 e a terceira entre os anos de 2005 e 2018. O período entre 2002 e 2004 estatisticamente, não apresentou correlação entre os dados de sedimentos e de vazão, o  $R^2$  apresentou 0,002, na qual não foi possível obter a curva chave de sedimento para esse período.

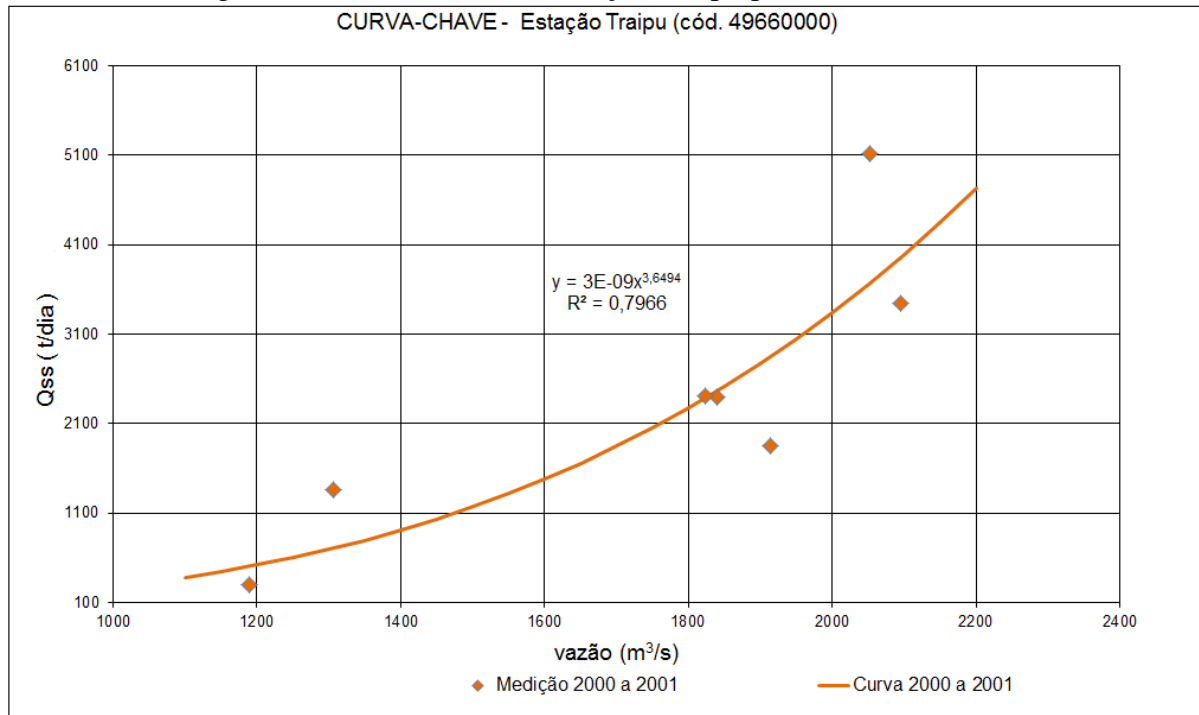
As Figuras 39, 40 e 41 ilustram as curvas chave de sedimento da estação de Traipu para os três períodos.

Figura 39 – Curva-chave da estação Traipu para o ano de 1999



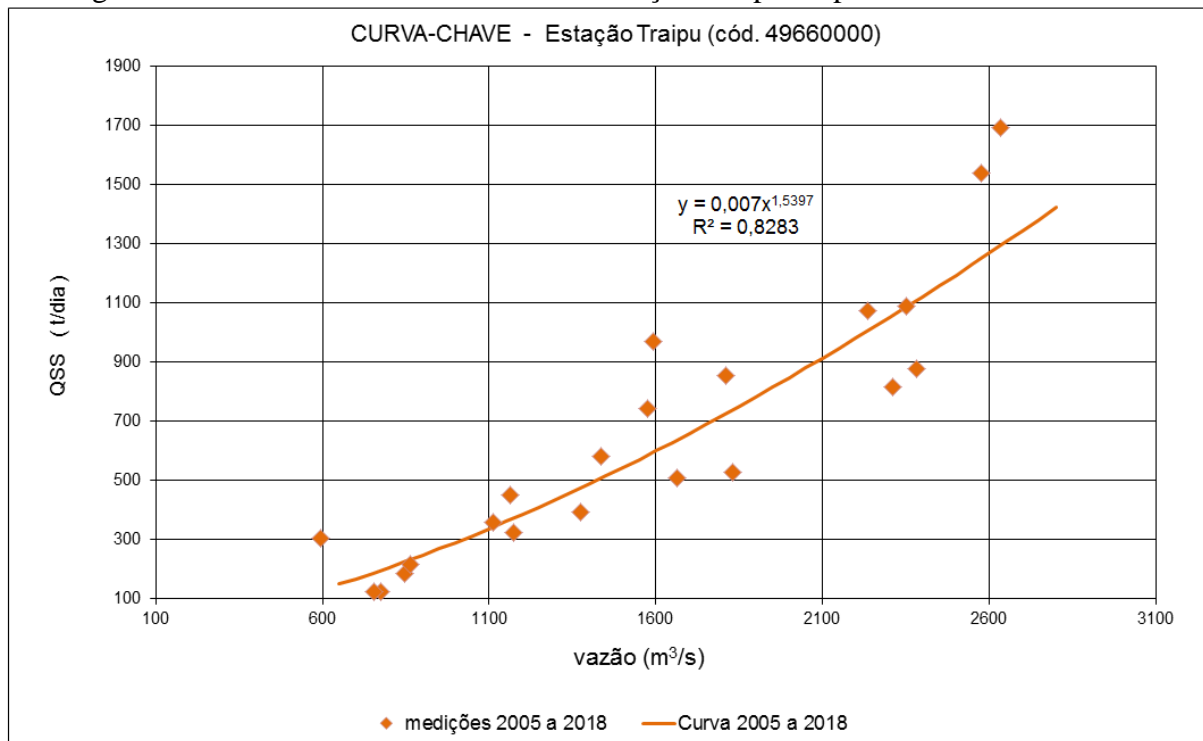
Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 40 – Curva-chave da estação Traipu para os anos de 2000 a 2001



Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).

Figura 41– Curva chave de sedimento da estação Traipu no período de 2005 a 2018.



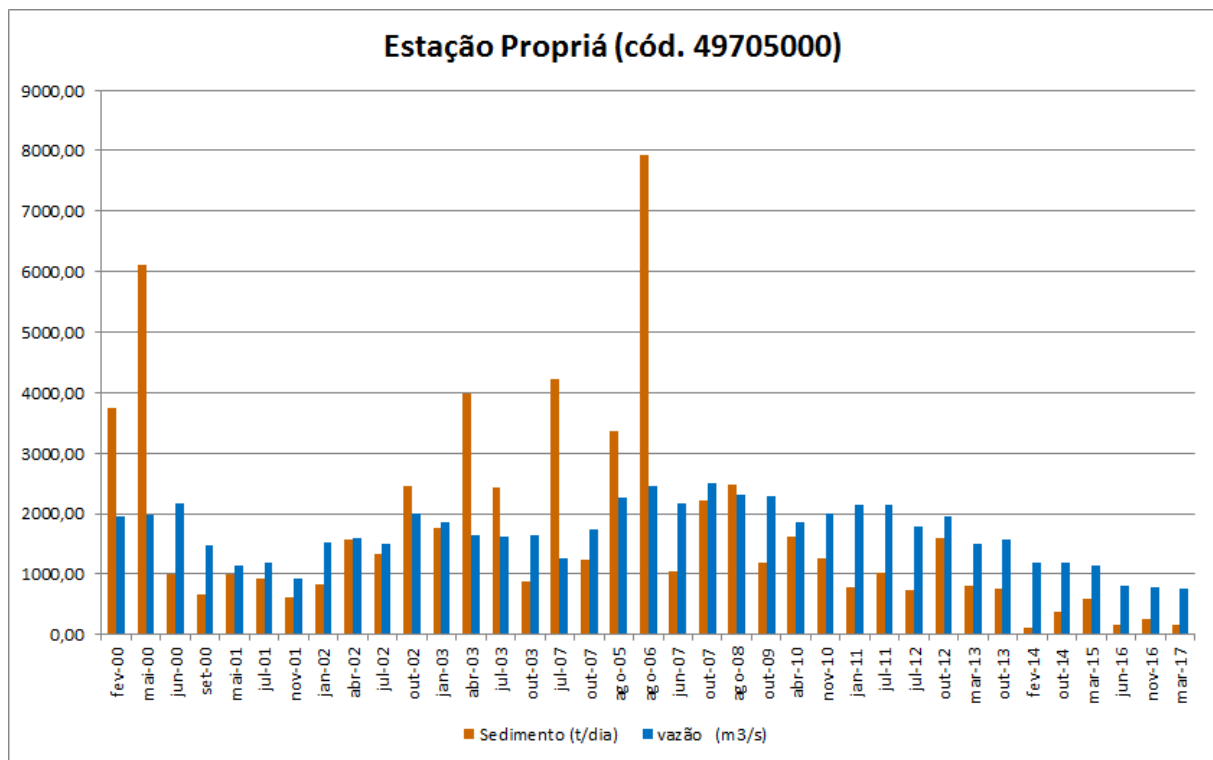
Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).

Na elaboração da terceira curva, três medições precisaram ser retiradas para aumentar o  $R^2$  que ficou abaixo do permitido que precisa ser maior ou igual a 0,6. Os anos de outubro/2007, março/2008 e abril/2010 onde se apresentaram com dados muito fora da curva.

#### 4.2.3 Análise bruta da relação vazão - sedimentos em suspensão e curva-chave na estação de Propriá

A análise para última a estação de Propriá, os estudos abrangeram o período de 2000 a 2017, totalizando 17 anos de dados. A Figura 42 ilustra a dispersão dos dados brutos das concentrações de sedimentos em suspensão e das descargas líquida para o período de estudo na estação de Propriá.

Figura 42- Dados brutos das medições de descarga sólida em suspensão e descarga líquida no período de 2000 a 2017



Fonte: gráfico elaborado a partir de dados primários da ANA (2018).

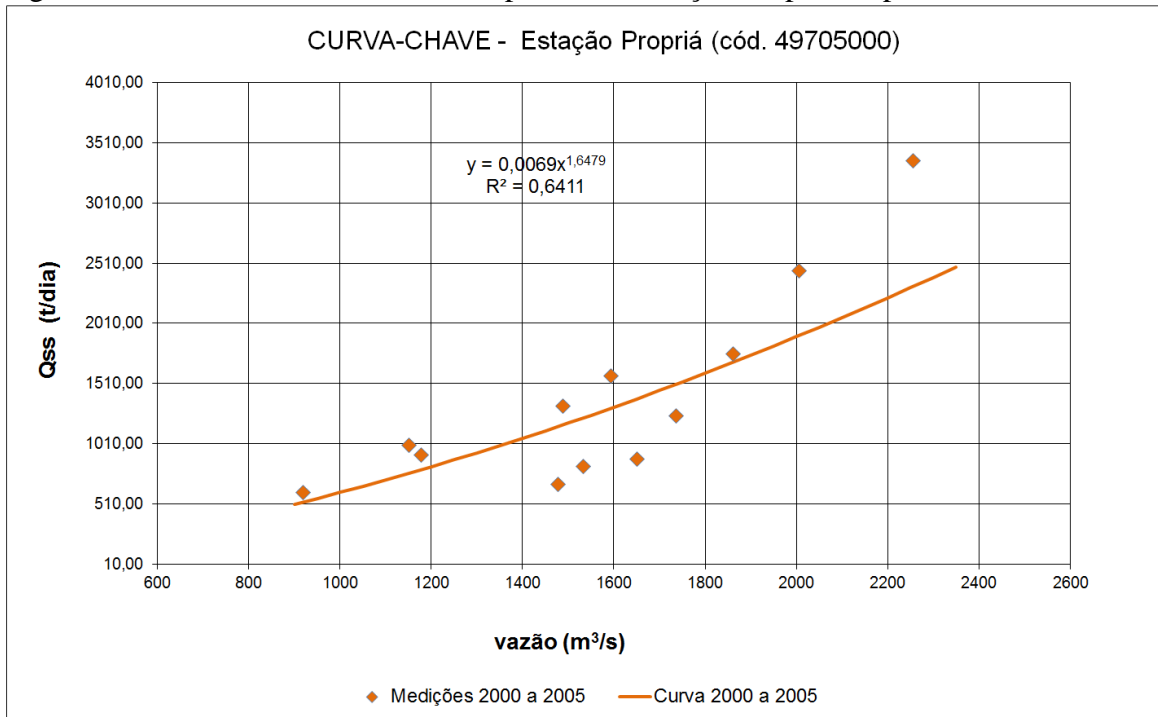
Na análise dos dados na estação Propriá a dispersão dos dados é bem parecido com os dados da estação Traipu (49660000), onde as vazões apresentam oscilações e uma alternância na variação de sedimentos, caracterizando processos erosivos e sedimentares. A estação

também apresenta um decaimento das vazões a partir de 2012, apresentando somente processos erosivos na região nesse período.

#### *Determinação da Curva-chave de sedimento em suspensão*

Para determinar a CCS, foram elaboradas duas curvas-chaves dividindo o período de 1999 a 2018 em dois. A primeira curva entre os anos de 2000 a 2005 e a segunda no período entre 2006 e 2017. Na primeira curva foram retirados alguns dados para aumentar o  $R^2$  para 0,6411. Foram os anos de fevereiro, maio e junho/2000, abril e julho/2003 e julho/2004. Na segunda curva foi retirada a medição de agosto/2006 para aumentar o  $R^2$  para 0,7915. A Figura 43 e 44 ilustram as curvas chave de sedimento da estação de Propriá para os dois períodos.

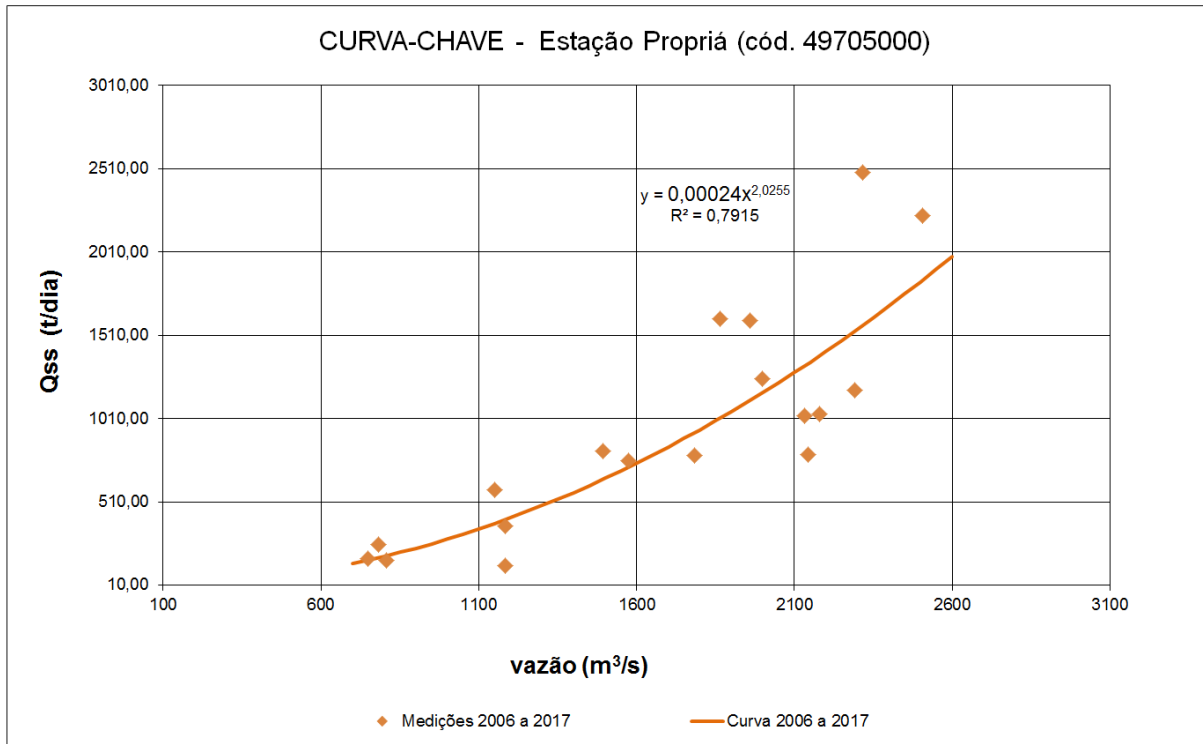
Figura 43 – Curva chave de sólidos suspensos da estação Propriá no período de 2000 a 2005



Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).



Figura 44 – Curva chave de sedimento da estação Propriá (49705000), no período de 2006 a 2017



Fonte: curva elaborada a partir de dados primários da ANA (2018).

As equações das curvas-chaves sedimentos, e seus respectivos  $R^2$  das estações estudadas estão resumidos na Tabela 12. Como visto, a determinação da curva foi obtida em função do  $R^2$ , nas medições realizadas nas estações.

Entretanto, as medições foram realizadas em intervalos de tempo muito espaçados entre elas e considerando que as concentrações de sedimentos podem variar em períodos curtos, foi adotado anos inteiros para definir os períodos das curvas elaboradas.

Tabela 12 – Resumo das curvas elaboradas pelo método do traçado visual para cada estação em estudo

Código	Estação	Coeficientes		$R^2$	Nº de curva	Período
		a	n			
49330000	Piranhas	0,00001	2,3466	0,7604	1	2006 a 06/18
49660000	Traipu	1,00E+18	-4,585	0,8919	3	1999
		3,00E-09	3,6494	0,7966		2000 a 2001
		7,00E-03	1,5397	0,8283		2005 a 2018
49705000	Propriá	0,0069	1,6479	0,6411	2	2000 a 2005
		0,00024	2,0255	0,7915		2006 a 2018

Fonte: parâmetros de equações obtidos a partir de dados primários da ANA (2018).

Quanto maior o espaçamento maior a dificuldade de correlações entre vazão e sedimento para definição da CCS, ocasionando valores mais baixos de  $R^2$ .

No planejamento da rede sedimentológico atualmente são realizadas duas medições por anos. Contudo, sugere-se que em rios com sequencia de barragens, possa haver um maior numero de medições para melhor representar os dados estimados de carga de sedimento pelo que chegam à foz do rio em questão.

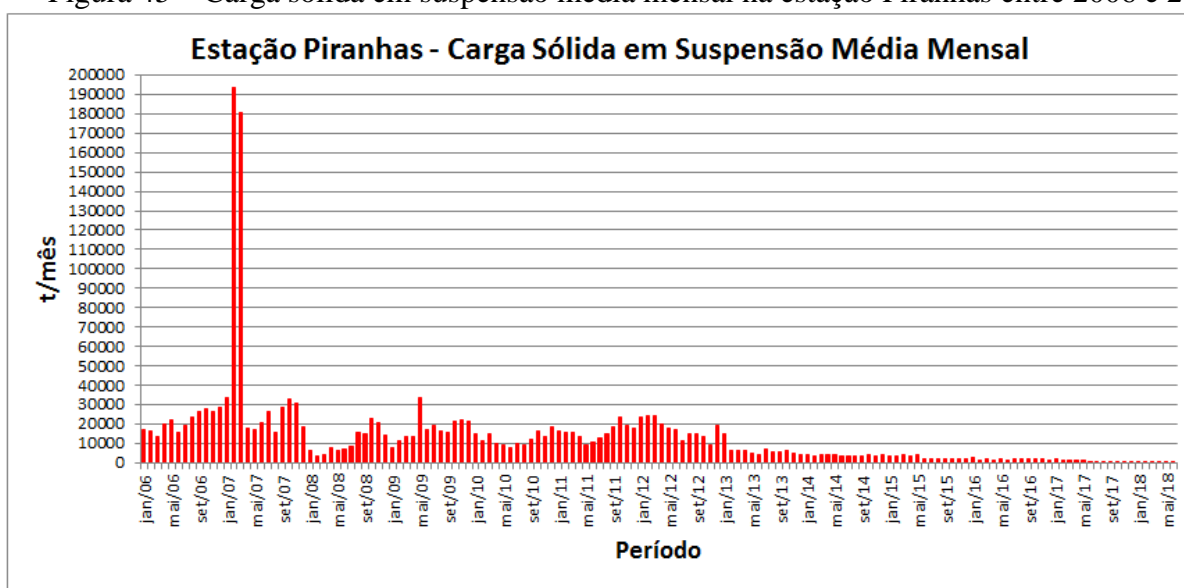
O comportamento das medições de descarga sólida e líquida, no trecho Baixo do São Francisco nas estações estudadas apresentaram valores alternados de erosão e sedimentação antes do ano de 2013. No entanto, a partir de 2013 houve somente processos erosivos, devido à diminuição das vazões causada pelo período de estiagem.

Cavalcante (2011) no período até 2010 também encontrou alternância de processos erosivos e sedimentares nas três estações em estudos. O Autor também conclui que os sedimentos presentes são oriundos de processos erosivos de suas margens ou talvez de sedimentos adquiridos de seus pequenos tributários como Ipanema, Traipu, Gararu e Capivara.

#### 4.3 ESTIMATIVA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E CARGA ESPECÍFICA DE SEDIMENTOS

A curva-chave de sedimento em suspensão foi aplicada na série de vazões da estação de Piranhas para estimar a quantificação da carga de sedimento em suspensão. A Figura 45 ilustra os fluxos de sólidos suspensos mensais na estação de Piranhas.

Figura 45 – Carga sólida em suspensão média mensal na estação Piranhas entre 2006 e 2018

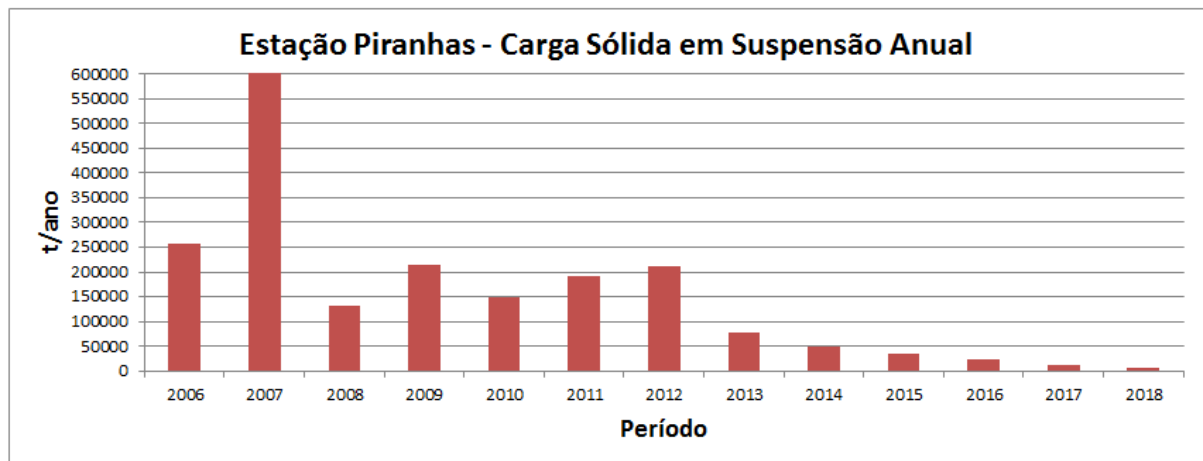


Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

Os maiores valores se concentraram nos meses de fevereiro e março do ano de 2007 com  $1,93 \times 10^5$  t/mês e  $1,80 \times 10^5$  t/mês respectivamente. Esse período foi quando Xingó precisou abrir as comportas para liberar mais vazão em virtude do período chuvoso acima da barragem. Porém, o mês de menor valor encontrado foi em fevereiro de 2018 com 659 t/mês.

É possível perceber que existe uma variação de sedimento mensal entre os anos de 2006 a janeiro de 2013. Entretanto, a partir de 2013 as concentrações vão diminuindo com o tempo em virtude das vazões também diminuir em nesse intervalo. Contudo, nesse período corresponde até agora a menor série histórica registrada no Baixo São Francisco. A Figura 46 ilustra a carga de sedimento em suspensão anual para o período de estudo.

Figura 46 – Carga sólida em suspensão anual na estação de Piranhas entre 2006 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

No período estudado o ano de maior valor encontrado de concentração de sedimento em suspensão foi o ano de 2007 com aproximadamente  $6,2 \times 10^5$  t/ano, enquanto que o de menor valor foi o ano de 2017 com  $1,3 \times 10^5$  t/ano respectivamente. Embora o valor de 2018 seja menor os dados de 2018 vão até junho não correspondendo o ano todo. A partir de 2013 é possível visualizar o decaimento dos sólidos suspensos no período de estiagem no Baixo São Francisco.

Na estação a média anual dos sólidos suspensos entre 2006 e 2012 foi de  $2,5 \times 10^5$  t/ano em contrapartida a média decresceu bruscamente a partir de 2013 apresentando com  $3,4 \times 10^4$  t/ano, uma redução de 86,6 % da carga de sedimento praticamente num período de 5 anos.

A produção anual média específica de sedimento em suspensão para a respectiva estação foi de  $3,244$  t/km<sup>2</sup>/ano para todo período estudado em contrapartida somente para o ano de o ano de 2017 a produção específica de sedimento foi de  $0,021$  t/km<sup>2</sup>/ano. Os valores

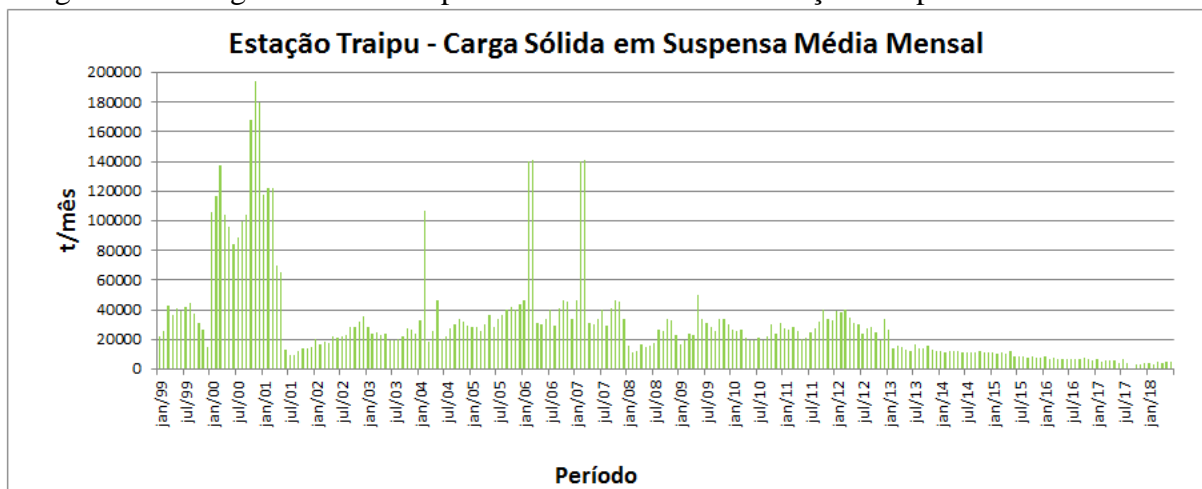
são considerados muito baixos para o local da estação segunda a Tabela 12 proposta por Carvalho (2008).

No estudo da Universidade Federal de Alagoas (2003) logo após a barragem de Xingó, a região se apresenta com corredeiras, onde possui declividade acentuada, ocasionando turbulências facilitando a erosão do leito com cascalho. Os perfis transversais naquela área eram em formato de “V” até o ano de 1990, onde ocorriam depósitos de sedimento em seu leito, com a entrada de Xingó (1997) o trecho começou a ser erodido e o leito ficou mais profundo. Contudo, no ano de 2000 o perfil ficou no formato de “U” indicando que no leito já não havia mais sedimento.

O que indica que os sedimentos encontrados neste estudo são provenientes de processos de erosivos na respectiva área de drenagem da estação de Piranhas.

A análise do comportamento da estimativa do fluxo de sedimento em suspensão na estação de Traipu é possível ser visualizada na Figura 47 na qual ilustra a carga sólida em suspensão mensal na referida estação.

Figura 47 – Carga sólida em suspensão média mensal na estação Traipu entre 1999 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

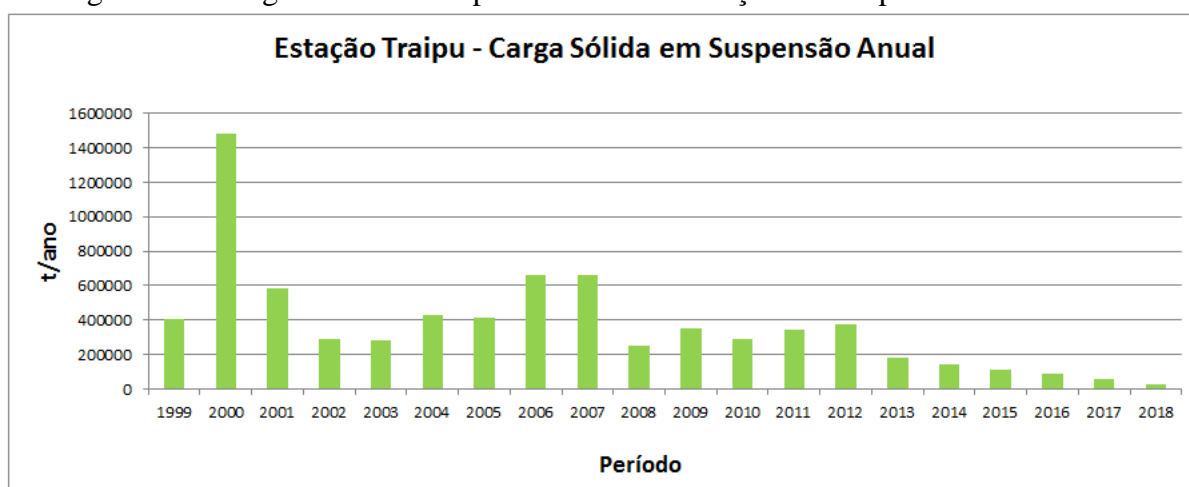
Na análise mensal para o período de estudo os maiores valores foram encontrados nos meses de outubro e novembro de 2000 com  $1,7 \times 10^5$  t/mês e  $1,9 \times 10^5$  t/mês. Entretanto, os meses de menores valores foram novembro de 2017 com 3.560 t/mês e fevereiro de 2018 com 3.565 t/mês de sedimento em suspensão.

Nos anos entre 2000 e 2001 foi possível perceber que houve altas concentrações de sedimentos em suspensão nesse período. Alguns meses de 2006 e 2007 também se percebem altos valores de sedimentos. Contudo, para o ano de 2007, como visto, houve liberação de

vazão em virtude da abertura das comportas da barragem de Xingó por isso valores altos de sedimentos. Em relação aos outros, onde ocorrem altas concentrações de sedimentos os motivos são desconhecidos, porém as causas podem ser diversas no uso e ocupação dos solos.

Na análise global, se percebe certa variação de sedimentos entre os anos de 1999 a 2013, contudo, a partir de 2013 houve redução gradativa das concentrações de sedimentos em suspensão. Para avaliação anual da carga suspensa acumulada é possível ser verificada na Figura 48.

Figura 48 – Carga sólida em suspensão anual na estação de Traipu entre 1999 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

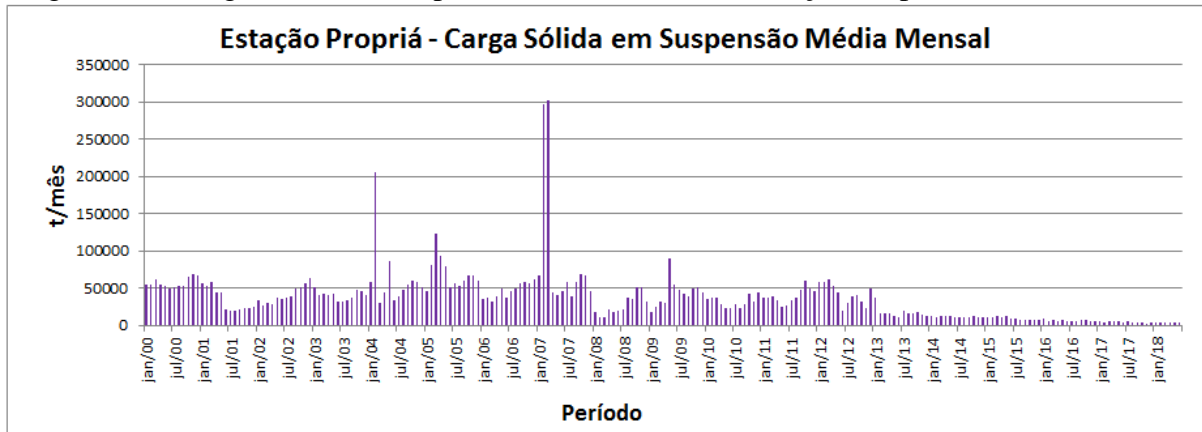
O maior valor anual se encontra no ano de 2000 com aproximadamente  $1,5 \times 10^6$  t/ano, e o menor valor anual se encontra no ano de 2017 com  $5,9 \times 10^4$  t/ano de sedimento em suspensão na estação de Traipu.

Assim como, na estação de Piranhas também existe variações de sedimentos (altos e baixos) ao longo dos anos de 1999 a 2012, porém a partir do ano de 2013 a carga de sedimentos vem decaindo até 2018. A média anual para o período entre 1999 e 2012 foi de  $4,8 \times 10^5$  t/ano e para o período considerado seco a partir de 2013 tem-se uma média de sedimentos de  $10^5$  t/ano apresentando uma redução de 79,17% na média no referido período.

A produção específica média anual encontrada, considerando todo o período de estudo foi de  $11,75$  t/km<sup>2</sup>/ano, porém somente para o ano de 2017 foi encontrado  $0,095$  t/km<sup>2</sup>/ano de sedimentos em suspensão. Os valores encontrados são considerados baixos segundo a Tabela 12 proposta por Carvalho, (2008).

A análise do comportamento estimado dos fluxos de sedimentos em suspensão na estação de Propriá ultima estação com medição de sedimentos no Baixo São Francisco pode ser vista na Figura 49.

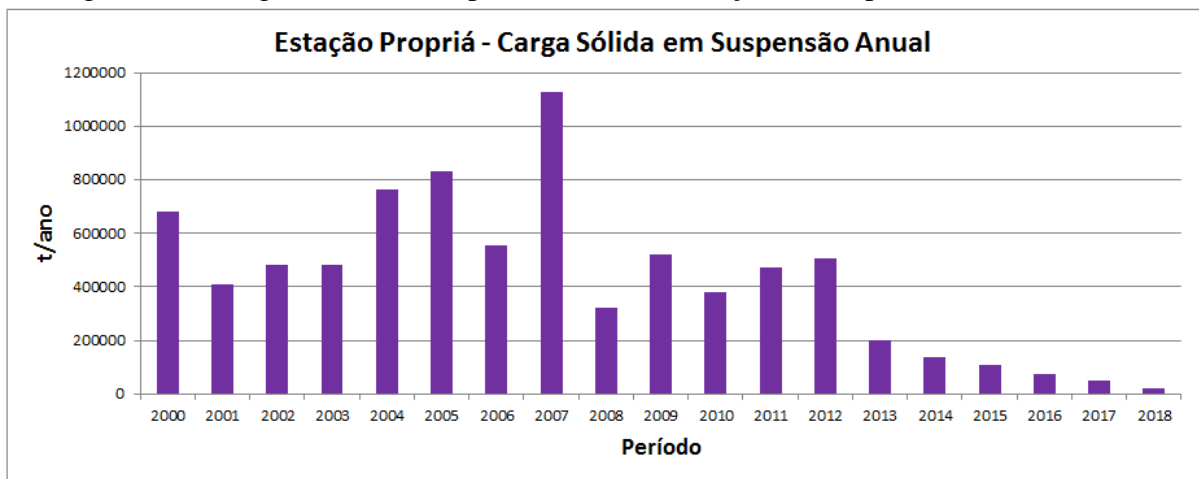
Figura 49 – Carga sólida em suspensão média mensal na estação Propriá entre 2000 a 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

Os maiores valores encontrados foram nos meses de março com  $3 \times 10^5$  t/mês e fevereiro com  $2,9 \times 10^5$  t/mês do ano de 2007. Em contrapartida, os menores valores foram nos meses de outubro e novembro 2017 com 2.680 t/mês e 2.645 t/mês de sedimento em suspensão. Assim como nas outras estações existe uma variação das cargas de sedimento entre os anos de 2000 a 2012, porém a partir de 2013 os dados de sedimento tendem a cair. A Figura 50 ilustra os dados anuais de sedimento em suspensão na respectiva estação.

Figura 50 – Carga sólida em suspensão anual na estação de Propriá entre 2006 e 2018



Fonte: gráfico elaborado a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

Na análise da carga anual dos dados de sedimento é possível perceber melhor a variação dos sedimentos até o ano de 2012, porém a partir dos anos seguintes as cargas de sedimento vão decaindo.

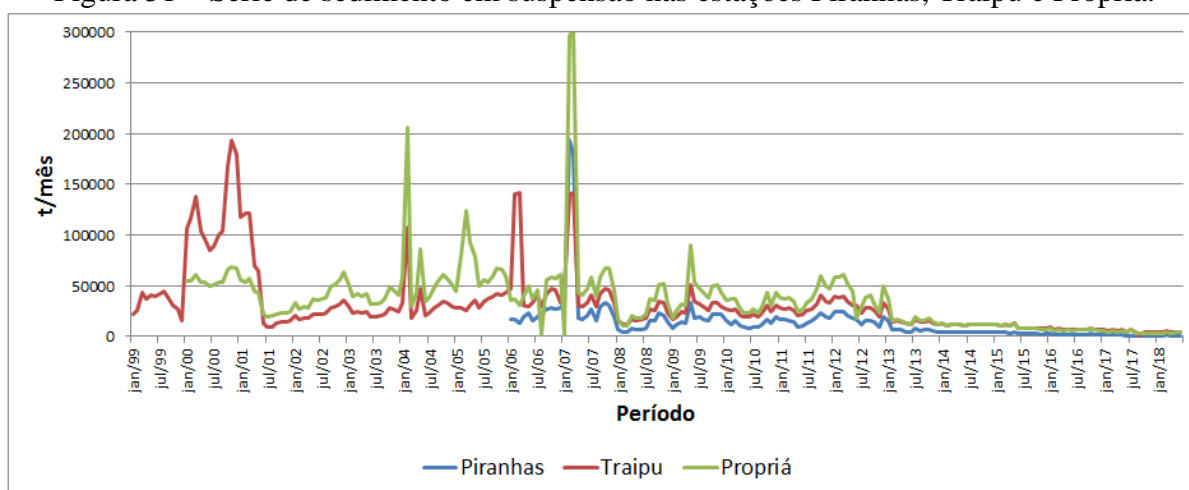
O ano com a maior carga foi o ano de 2007 com  $1,1 \times 10^6$  t/ano, enquanto que o ano de menor valor foi em 2017 com  $4,9 \times 10^5$  t/ano de sedimentos em suspensão, considerando que

2018 os dados abrangem até junho de 2018. A média anual das cargas de sedimentos em suspensão para o período entre 2000 e 2012 foi de  $5,8 \times 10^5$  t/ano. Em contrapartida a média anual no período de estiagem foi de  $9,9 \times 10^4$  t/ano, uma redução estimada de 82,9%. Sobretudo, em termos quantitativos a redução dos sedimentos em suspensão desde 2012 até junho de 2018 foi de 96 % de sedimentos em suspensão que deixou de chegar à foz.

A produção específica anual na referida estação, considerando todo o período de estudo tem-se  $12,88 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ , entretanto, somente para o ano de 2017 foi encontrado  $0,079 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ . Os valores são considerados baixos segundo a Tabela 12 proposta por Carvalho (2008).

O comportamento dos fluxos de sedimentos em suspensão estimados para as três estações Piranhas, Traipu e Propriá pode ser visualizada na Figura 51.

Figura 51 – Série de sedimento em suspensão nas estações Piranhas, Traipu e Propriá.



Fonte: Série obtida a partir de curvas obtidas dos dados primários da ANA (2018).

Na análise das três estações é possível perceber que havia uma variação de sedimento até 2012, pois a partir de 2013 com a redução gradativa das vazões o comportamento dos sedimentos começou a decrescer também. O aporte de sedimento em suspensão no Baixo São Francisco que já havia sido bastante reduzido com a construção da barragem de Xingó, agora com o período de estiagem iniciado em 2013 foi reduzido comprometendo ainda mais a chegada de sedimentos em suspensão na foz no São Francisco.

É possível perceber também que as cargas de sedimento em suspensão vão aumentando ao longo do rio São Francisco em seu trecho baixo, o que indica que os sólidos suspensos encontrados são provenientes do seu próprio trecho.

Cabe ressaltar que no período de 2000 a 2001 houve um incremento de sedimento na estação de Traipu em relação à Propriá, o que pode ter ocorrido alguma intervenção antrópica (uso do solo) na área na qual proporcionou um aumento de sedimento em suspensão.

O comportamento das cargas específicas anuais nas três estações estudadas foram abaixo, tanto para todo o período de estudo quanto para somente o ano de 2017, segundo a Tabela 12 definida por Carvalho, (2008). Contudo, valores parecidos, também foram encontrados em estações a jusante de barragens no estudo de Aquino, Carvalho e Domingues (2009) onde acharam  $0,458 \text{ t/km}^2/\text{ano}$  no rio Itapicuru na qual a estação sedimentométrica estudada estava situada à jusante de barragem. A Tabela 13 ilustra o resumo dos resultados acumulados no período de estudo.

Tabela 13 - Resumo dos resultados acumulados das estações a jusante da barragem de Xingó para o período de estudo compreendido para cada estação

Estação	Código	Área Drenagem (Km <sup>2</sup> )	Q média anual (m <sup>3</sup> /s)	Qss média anual (t/ano)	Qss Anual (t/ano)	Q.esp t/km <sup>2</sup> /ano
Piranhas	49330000	610.000	2.136	152.245	1.979.185	3,244
Traipu	49660000	630.000	2.105	370.076	7.401.518	11,748
Propriá	49705000	631.000	2.111	428.073	8.133.392	12,889

Fonte: resultados obtidos a partir dos dados primários da ANA (2018).

No resumo da Tabela 13 é possível verificar que a carga anual (t/ano) maior foi encontrada na estação Propriá seguida da estação de Traipu e da estação de Piranhas na qual se apresentou bastante reduzida em relação às outras estações.

O trecho Piranhas - Traipu é de aproximadamente 90 km em linha reta, nesta região pode ter ocorrido grandes processos de erosões ao longo do rio. O aumento do acumulado chegou a 73,3% entre as estações podendo ser considerado o trecho mais assoreado. No entanto, no trecho entre Traipu e Propriá houve um incremento de 9% das cargas de sedimentos em suspensão na estação de Propriá.

Para análise da produção estimada atual de sólidos em suspensão correspondendo aos anos de 2017 até junho de 2018 pode ser visualizada na Tabela 14.



Tabela 14 - Resumo dos resultados acumulados das estações a jusante da barragem de Xingó para o ano de 2017 até junho de 2018

Estação	Código	Área Drenagem (Km <sup>2</sup> )	Q média anual (m <sup>3</sup> /s)	Qss média anual (t/ano)	Qss Anual (t/ano)	Q.esp t/km <sup>2</sup> /ano
Piranhas	49330000	610.000	576	8.912	17.823	0,029
Traipu	49660000	630.000	652	42.594	85.188	0,135
Propriá	49705000	631.000	652	34.812	69.625	0,110

Fonte: resultados obtidos a partir dos dados primários da ANA (2018).

Na Tabela 14, foi possível confirmar que a área de grandes processos de erosão ainda está ocorrendo no trecho entre Piranhas e Traipu.

Porém, nestes últimos anos a estação que possui a maior carga de sedimentos em suspensão se encontrou em Traipu seguida de Propriá e Piranhas, esta com aporte de sedimentos bem reduzido em relação às outras duas estações. O acréscimo de sedimento da estação de Piranhas para Traipu foi de 79% de sólidos suspensos, no entanto, um decréscimo 18,26% entre Traipu e Propriá.

O trecho da estação de Propriá a até a foz no rio São Francisco possui aproximadamente 50 km em linha reta, porém o rio é bastante sinuoso no seu percurso, associado à diminuição das vazões e a perda da velocidade desse fluxo o rio perde força e consequentemente a foz não consegue renovar suas águas (águas novas) de modo a haver o equilíbrio da mistura rio - mar.

Essa perda do equilíbrio hidrodinâmico ao longo do rio também pode ocasionar a deposição dos sedimentos ao longo do rio prejudicando o estuário do rio São Francisco.

Em nível de comparação dos resultados os sedimentos acumulados antes da barragem de Xingó no começo da operação de Três Marias, em 1962 até 2011, armazenada nos três principais reservatórios (Três Marias, Sobradinho e Itaparica) foram de  $1,88 \times 10^9$  toneladas encontrado no estudo de (BANDEIRA et al. 2013). Contudo, os valores estimados encontrados de sólidos em suspensão na presente pesquisa, foram baixos o que confirma a retenção dos sólidos pelas barragens.

Comparando com outros estudos no Baixo São Francisco como a pesquisa de Silva, Medeiros e Viana (2010), foi encontrado uma descarga sólida em suspensão de valor menor cerca de  $2,6 \times 10^5$  t/ano entre os anos de 2007/2008. Entretanto, a pesquisa foi realizada na região de Piaçabuçu bem próximo a foz onde houve a coleta de sedimentos em suspensão. O total foi de 12 medições mensais no período de ago/07 a jul/08, e utilizaram a estação de Traipu para representar as séries de vazões. Os autores escolheram a estação Traipu devido à

estação melhor representar a área da bacia do rio São Francisco. Entretanto, como visto na Figura 29 os níveis de cota na estação de Traipu são menores que as cotas na região de Piaçabuçu, especificamente na estação de Brejo Grande, que pode ter influenciado nos resultados dessa pesquisa.

Outro ponto a ser colocado seria que a carga de sedimento anual em suspensão na presente pesquisa tanto na estação de Traipu e como na estação de Propriá para o ano de 2007 foi um ano atípico, pois houve a liberação das comporta da barragem aumentando as concentrações de sedimentos nesse período. Outra questão também a ser colocada seria que as estações estudadas na presente pesquisa estarem distantes da foz onde a região pode estar sendo mais assoreada que na região de Piaçabuçu. Provavelmente as cargas de sedimentos foram se depositando ao longo do rio.

Como se sabe, a carga de sedimento em suspensão no baixo São Francisco foi reduzida desde a entrada de barragem de Xingó. Contudo, houve novamente outra redução com a chegada da seca a partir de 2012/2013 nas regiões acima da barragem de Xingó, comprometendo o comportamento dos fluxos das vazões e das cargas de sedimento no Baixo São Francisco.

Medeiros et al. (2011) também realizaram estimativa de carga de sedimentos no Baixo São Francisco. O estudo correspondeu somente nos anos de 2001, 2004 e 2007 na estação de Propriá. Contudo, assim como no estudo de Silva, Medeiros e Viana (2010) realizaram amostragens, com periodicidade a nível mensal para cada ano e assim, determinar as concentrações e aportes de sedimentos em suspensão. Os resultados apresentaram diversos estágios de concentração de sedimentos ao longo dos anos, variando até duas ordens de grandezas. Concluíram que, mesmo o ano de 2007 havia ocorrido as maiores vazões não produziram cargas de sedimento maiores que o ano de 2004. Em fevereiro/2004 com  $6,1 \times 10^6$  t/mês e fev/2007 com  $4,5 \times 10^5$  t/mês e o ano de 2001 compreendeu com  $2,16 \times 10^5$  t/ano. Contudo, esses resultados apresentaram valores de carga de sedimentos menores do que entrado aqui neste trabalho. A explicação para isto pode ter sido a frequência da amostragem realizada a nível (Mensal) para estimar a produção de sedimento ao longo do ano representando melhor a realidade local.

Na análise destes fatos é possível perceber que a frequência na realização das descargas sólidas é primordial, pois os sedimentos podem variar no decorrer do tempo em função das atividades antrópicas ou naturais. Estes estudos paralelos realizados no Baixo São Francisco foram realizados em intervalos de tempos curtos (mensal), num período de um ano, e como visto quanto mais medição melhor a representação da realidade. Porém, isso vale para

qualquer metodologia empregada para estimar a carga de sedimentos numa bacia hidrográfica.

A Rede Hidrometeorológica Nacional iniciou a frequência com quatro medições anuais e atualmente passou para duas medições no planejamento das bacias. Contudo, os custos para realização das medições de descarga sólida são muito caros principalmente em grandes rios. Além dos custos das medições anuais, agrega também o envio das amostras (transportes) para o laboratório e também os custos para a realização das análises no respectivo laboratório, além disto, pode ocasionar erros embutidos em cada etapa do processo.

Contudo, numa avaliação geral da estimativa dos fluxos de sedimentos em suspensão no presente estudo foram baixas, principalmente nos últimos cinco anos no Baixo São Francisco. A foz do São Francisco atualmente se constitui num ambiente em transformação devido à falta de águas novas e aporte de sedimentos. Sabe-se que a natureza sempre procura se adaptar as mudanças ocasionadas pelo meio, porém resta saber até onde a natureza consegue adapta-se principalmente quando ocorrem transformações abruptas. Com certeza, a redução abrupta do transporte de sedimento em suspensão vem ocasionando mudanças na paisagem da sua foz, além das mudanças no meio físico e abiótico.

Comparando os resultados com outros rios brasileiros sobre transporte de sedimentos o estudo de Lima et al. (2006) realizado nos rios Uruguai, Paraná, o Iguazu, o Paraíba do Sul, o Doce, Tocantins e também no rio São Francisco no baixo São Francisco. Especificamente na estação de Propriá os resultados indicaram que o rio São Francisco contribuiu com menor valor lançado na sua foz entre as bacias estudadas.

Resultados parecidos têm-se encontrados em outros países na redução de carga sólida em regiões a jusante de barramentos. Em rios da África, os fluxos de sedimentos sofreram redução nos rios Moulouya e Sebou, os dois maiores rios de Marrocos. O rio Sebou possuía uma das mais altas taxas de rendimento específico de sedimentos com (995 t - km - 2 ano - 1), na África, contudo com a construção da barragem reduziram a carga de sedimento e a descarga de água. Nos rios Sebou e Moulouya a redução chegou a 70 e 47% respectivamente, e seus fluxos de sedimentos por quase 95 e 93%. A consequência do barramento dos rios também teve mudanças nas zonas costeiras, na qual reagiram alcançando um novo equilíbrio (SNOUSSI; HAIDA; IMASSI, 2002).

Na continente asiático, o estudo realizado por Gupta, Kao e Dai (2012) nos grandes rios abrangendo vários países (China, Taiwan, Vietnã, Mianmar, Tailândia, Índia, Paquistão e Bangladesh) onde possuem juntas cerca de 250 mega barragens que drenam para Leste, Sul e Sudeste, também apontam reduções expressivas de sedimentos para os oceanos. Nos últimos

50 anos a quantidade de sedimento anual combinado com os grandes rios chineses foi reduzido de 1800 milhões de toneladas (Mt) para aproximadamente 370 Mt. Estimaram que os rios indianos transportam juntos aproximadamente 83 Mt de sedimentos anual. O Ganga-Brahmaputra e o Indus colaboram com 850 e 13 Mt de sedimentos, para os oceanos. A estimativa foi de que, os grandes rios da região Leste, Sul e Sudeste, entregam 2150 Mt de sedimentos anualmente aos oceanos. Eles mostram também a escala o declínio nos sedimentos.

Contudo, os impactos dos barramentos nos rios de uma maneira geral, ocasionaram mudanças no ecossistema em suas desembocaduras, em virtude da diminuição de vazão e sedimento disponibilizados. A natureza local luta em busca de um novo equilíbrio, no entanto, nem todas as espécies conseguem adaptar as novas mudanças, a perda do meio biótico pode ser irreversível. Além das perdas das questões econômicas, culturais e nas populações que dependem do ecossistema para sobrevivência.

O trecho baixo do rio São Francisco atualmente esta passando por uma das maiores “secas artificiais”, pois as condições hidrológicas estão normais, porém toda a região é dependente da disponibilização da vazão da barragem de Xingó na qual está passando por situações críticas. E a produção de sedimento na região é proveniente de processos erosivos das margens do rio.

#### 4.4 CAUSAS E EFEITOS DA RELAÇÃO VAZÃO E DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO BAIXO SÃO FRANCISCO

A região do Baixo São Francisco sofreu mudanças no regime hidrológico após a construção das barragens, principalmente com a chegada da hidroelétrica de Xingó em 1994. Contudo, a redução gradativa das vazões, assim como a carga de sedimentos em suspensão a partir do ano de 2012/2013 até junho de 2018 devido à crise hídrica potencializou os impactos já identificados.

A complexidade dos regimes dos cursos de águas e suas respostas às modificações ambientais devido às ações antrópicas são extremamente importantes, principalmente em regiões onde existem a desembocaduras de rios como no Baixo São Francisco. A seguir é apresentado um quadro síntese com as principais problemática do Baixo São Francisco com algumas recomendações de controle (Quadro 1). O Quadro foi idealizado segundo vários autores estudados na revisão bibliográfica como: Brasil (2017); ANA (2017); CBHSF (2017); Fontes (2016); Bandeira et al. (2013); Souza et al. (2013); Souza et al. (2011); Silva,

Medeiros e Viana (2010); Holanda et al. (2009); Medeiros et al. (2007) e Zilhuber e Silveira (2007).

Quadro 1 – Recomendações para a problemática dos efeitos negativos no baixo São Francisco conforme: Brasil (2017); ANA (2017); CBHSF (2017); Fontes (2016); Bandeira et al. (2013); Souza et al. (2013); Souza et al. (2011); Silva, Medeiros e Viana (2010); Holanda et al. (2009); Medeiros et al. (2007) e Zilhuber e Silveira (2007).

Período	Causas	Efeitos Negativos	*Ações de controle	
1995 a 2018	Barragem: Ação antrópica	-Regularização da vazão: níveis de água em função da demanda energética -	- Aumento da penetração da maré; - Aumento da Cunha Salina; - Perda do equilíbrio da taxa de mistura (água doce e água salina).	- Possibilidade de aumento das vazões disponibilizadas: em condições hidrológicas normais planejado sazonalmente para aumentar a produtividade biológica na foz.
		Retenção dos sedimentos	- Perda da fertilidade no estuário.	
		Erosão das margens	- Desestabilização da costa; - Recuo da orla por causa da erosão.	- Realizar Bioengenharia de solos
		Mudança morfológica do canal	- Mudanças dos ciclos biogeoquímicos local; - Aumento do banco de areia; - Redução da navegabilidade.	- Realizar Bioengenharia de solos; - Realizar Dragagem na calha do rio
	Ineficiência na gestão	- Perda das matas ciliares ao longo do rio: queimada, atividade agrícola e outros.	- Secamento das nascentes dos afluentes; - Degradação dos solos	- Realizações de monitoramentos e fiscalizações
		- Lançamentos de efluentes domésticos e ou industriais; - lixos urbanos.	- Rios poluídos	- Construção de ETES e Fiscalização das ETES existentes - Coleta de lixo e educação ambiental
	Fenômeno Natural: estiagem	Regularização das vazões: redução gradativa	- Aumento da demanda hídrica: gera conflito de uso (agricultores, industriais, empresas de abastecimento e a própria hidroelétrica); - Ocupação da população ribeirinha nas áreas de cota do rio; - Deposição de sedimento ao longo do rio; - Aumento da poluição.	- Definição da vazão ecológica no baixo São Francisco pelo comitê de Bacia do São Francisco; - Possibilidade de aumento das vazões disponibilizadas: em condições hidrológicas normais planejado sazonalmente para aumentar a produtividade biológica na foz.; - Orientações para as populações ribeirinhas nas áreas de cota do rio, assim como, fiscalização por parte dos órgãos competentes. - Realizar Dragagem na calha do rio; - Fiscalizações pelos órgãos competentes.
		Redução gradativa dos sedimentos em suspensão erodidos das margens	- Maior estreitamento na foz do rio; - Redução da navegabilidade - Possíveis enchentes quando a volta do nível normal do rio.	- Realizar Dragagem na calha do rio
			- Degradação dos solos devido à perda de nutrientes e de matéria orgânica na foz	- Possibilidade de aumento das vazões disponibilizadas: em condições hidrológicas normais planejado sazonalmente para aumentar a produtividade biológica na foz.

\* Elaboração de estudos para viabilização.

As ações de controle propostas (Quadro 1) precisam de estudos mais eficazes para verificação da sua viabilidade. Os impactos aqui relacionados referem-se aos efeitos esperados em relação às causas e devem ser implementadas medidas preventivas, visando reduzir as suas consequências ou a eliminação das causas.

Contudo, deve-se haver um programa de caráter exclusivo para o Baixo São Francisco no controle das vazões e processos erosivos, assim como buscar alternativas para geração de energia elétrica, a fim de complementar a demanda energética para períodos de seca prolongados ou com interferência de mudanças climáticas.

A degradação no rio São Francisco principalmente no baixo curso vem aumentando, na qual repercute na vida social da população ribeirinha que depende do rio para sustento. É preciso uma discussão sobre a situação, pois é preciso garantir água para os seres humanos, assim como para os animais.

A questão da problemática social é bastante preocupante, em algumas cidades próximas a foz, a falta de água é uma realidade como na cidade de Piaçabuçu. Segundo reportagem realizada por Sanches e Costa (2017), em Alagoas, afirmam que devido à estiagem prolongada o rio São Francisco vem perdendo força e permite que o mar avance sobre a água doce. O texto expõe alguns relatos da população ribeirinha que sofre com a falta água na região, como a do pescador alagoano José Anjo, *“A gente pescava surubim, piau, dourado e todas as espécies de água doce. Era tanto peixe na rede que a gente não podia nem carregar. Nessa época, a gente também plantava arroz, que dava era muito. Hoje a coisa tá diferente, a água está tão salgada que arde até os olhos”*.

Outra entrevistada a agente de saúde Suely Santos que trabalha há 17 anos em Piaçabuçu afirma que o problema de salinização esta afetando os ribeirinhos *“A água do Rio São Francisco é para muitos moradores da região o único recurso hídrico que se tem para cozinhar e beber. Por conta da salinização, a água está provocando doenças. Nos últimos meses, aumentou bastante os casos de hipertensão entre os moradores, inclusive jovens”*.

A reportagem ainda expõe o relato da moradora Maria Eunice, que é dona de casa e declara: *“A caixa de água de casa está cheia, mas está tão salgada que não serve para nada”*.

A problemática da redução das vazões continua em região mais distantes da foz, como na cidade de Traipu que segundo a Fundação Joaquim Nabuco (2017), na reportagem *“Moradores da cidade ribeirinha de Traipu lamentam a morte do rio São Francisco (março 2017)”*. O texto relata alguns moradores da cidade que dependem do rio para sobreviver, como a do pescador José Maria. *“Eu acredito e espero que a qualquer momento uma cheia encha o rio novamente”*, e

complementa “*Acho que Deus esta dando um recado, se não cuidarmos ele morre e nós morremos juntos*”. Outro morador, uma lavadeira da região que não quis se identificar indagou: “*Muitos falam em transposição, levar água pra quem está passando sede, mas a sede está aqui pertinho de nós, o governo está acabando de matar o rio com essa história*”.

Portanto, buscar soluções para um monitoramento e gerenciamento adequados desses recursos, assim como agregar a questão social deverá ser a prioridade dos órgãos gestores, na região do Baixo São Francisco.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que o baixo São Francisco atualmente vem sofrendo com o período de estiagem com as reduções das vazões e dos sedimentos em suspensão nas estações, Piranhas, Traipu e Propriá, comprometendo ainda mais a foz do rio São Francisco. As estimativas dos fluxos de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco foram consideradas muito baixas. Nas três estações estudadas houve variações das concentrações de sedimentos alternância de erosão e deposição até o ano de 2012. Em contrapartida, a partir de 2013 houve um processo gradativo de redução de vazão e sedimentos ao longo do rio. Esse período gradativo abrange até agora a menor série histórica registrada. Na estação Propriá, a mais próxima da foz do São Francisco, a redução anual dos sedimentos em suspensão, desde 2012 até junho de 2018, foi de 96 %.

Na estimativa do aporte de sedimento em suspensão anual, para todo o período de estudo, nas estações de Piranhas foi de  $1,9 \times 10^6$  t/ano, em Traipu foi de  $7,4 \times 10^6$  t/ano e em Propriá última estação antes da foz, apresentou um estimado de  $8,1 \times 10^6$  t/ano. As cargas específicas anuais em  $t/km^2/ano$  foram 3,244, 11,748 e 12,712, respectivamente.

Nos resultados atuais estimados tem-se para os anos de 2017/2018 um acúmulo de sedimentos em suspensão anual em Piranhas de  $1,8 \times 10^4$  t/ano, Traipu de  $8,5 \times 10^4$  t/ano e em Propriá de  $6,9 \times 10^4$  t/ano.

Os sedimentos encontrados estão sendo produzidos no próprio trecho Baixo da bacia do São Francisco, principalmente na região entre a estação de Piranhas e Traipu. Porém, é preciso estudos que identifiquem as causas de aporte de sedimentos nessa região. Contudo, sugere-se que em rios com sequencia de barragens, possa haver um maior número de medições a jusante do barramento para melhor representar os dados estimados de carga de sedimento na foz do rio em questão.

A diminuição das vazões e sedimentos nos últimos anos, principalmente no trecho da estação de Propriá a até a foz no rio São Francisco compromete o equilíbrio hidrodinâmico do curso do rio, pois diminui a velocidade desses fluxos e conseqüentemente perde a sua força. Os sedimentos vão se depositando, além da invasão das águas salinas rio adentro. Além disto, a foz não consegue renovar suas águas (águas novas).

No comportamento das análises das vazões no baixo São Francisco, foi possível também concluir a total dependência dos fluxos de água da barragem de Xingó pelos barramentos do rio acima.



Na análise de disponibilidade hídrica no baixo São Francisco conforme vazões de permanência  $Q_{95}$ , os valores foram para estações de Piranhas 787 m<sup>3</sup>/s, Pão de Açúcar 851 m<sup>3</sup>/s, Traipu 863 m<sup>3</sup>/s e Propriá de 840 m<sup>3</sup>/s. A série das menores vazões históricas ficaram abaixo da  $Q_{95}$ . O período indica situações graves de vazões no baixo São Francisco, principalmente no respeito a vazões ecológicas, pois as vazões são provenientes da disponibilidade hídrica da região acima da barragem.

Na série de cotas a estação de Brejo Grande não está sofrendo interferências diretas desde a operação de Xingó, exceto quando os fluxos de água sobem muito, o que indica que os níveis de água quase constantes em Brejo Grande são provenientes da entrada de águas salinas rio adentro. A problemática dessa situação se agravou ainda mais nos últimos cinco anos correspondendo ao período de estiagem.

Na relação chuva-Vazão e chuva-cota foi possível perceber que os principais picos não estão em correspondência com os dados de vazão e de cota para todas as estações no baixo São Francisco, ou seja, as chuvas não estão interferindo diretamente no aumento das vazões. A média anual das precipitações no período estudado decresceu no sentido da barragem de Xingó, indicando que aquela região é mais seca. A distribuição da chuva foi considerada irregular ao longo dos 37 anos e não sofreram mudanças significativas.

Os planos de gestão dos recursos da bacia hidrográfica do São Francisco precisam incluir diretrizes relacionados aos fatores climáticos, principalmente na região das barragens que se encontram no semiárido para períodos de longas estiagens. O contexto da pesquisa apresentou dados com estimativas de concentrações de sedimentos e não necessariamente esses dados ajuízam com exatidão a realidade do comportamento fluvial ao longo do rio. Altas concentrações de sedimentos podem ocorrer ao longo dos rios, ocasionado por alguma intervenção antrópica local tanto em vazões altas como nas baixas. Além disto, podem ocorrer os processos de erros intrínsecos na elaboração da curva-chave de sedimentos.

Contudo, as curvas-chaves podem ser úteis, para demonstrar o comportamento ao longo do tempo. Porém, podem ser mais eficazes, ou melhor, representada quando possuírem mais informações ao longo dos anos, assim como, na utilização de outras metodologias para as estimativas de sedimentos. As curvas-chaves elaboradas obtiveram valores de correlação entre vazões e sedimentos nos limites aceitáveis para realizar as estimativas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. Portanto, mostram valores estatisticamente representativos no intuito de avaliar o comportamento dos sedimentos ao longo do rio.

O Baixo São Francisco sofreu mudanças morfológicas no curso do rio devido aos barramentos instalados cujas vazões foram regularizadas e os sedimentos retidos. Com a

construção da barragem de Xingó esses impactos foram intensificados principalmente na sua desembocadura. Com o período de estiagem que iniciou em 2012 esses efeitos foram novamente potencializados reduzindo ainda mais as vazões e as cargas de sedimentos. Como efeitos negativos têm-se: aumento da invasão das águas do mar rio adentro (intrusão salina) chegando a regiões mais longínquas, uma vez que a foz não está conseguindo renovar suas águas (águas novas) e, os sedimentos estão sendo depositados ao longo do rio, estreitando a foz e assoreando as margens.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Revista balanço das águas**. 2018. Disponível em: <<http://balancodasaguas.ana.gov.br/balanco/pt/introducao>>. Acesso em: 02 dez. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Gestão da Rede Hidrometeorológica**. 2018. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/hidroweb.aspx>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Região Hidrográfica do São Francisco: Águas que contribuem para o desenvolvimento de 521 municípios**. 2017. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx>>. Acesso em: 30 maio 2017

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Hidroweb - Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 30 jun 2017

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Rede hidrometeorológica Nacional**. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/monitoramento/sala-de-situacao/rede-hidrometeorologica-nacional-1>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **ANA mantém defluência mínima diária da barragem de Sobradinho (BA) em 550m<sup>3</sup>/s até novembro**. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/ana-mantem-defluencia-minima-diaria-da-barragem-de-sobradinho-ba-em-550m3-s-ate-novembro>>. Acesso em: 01 dez. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Mapeamento temático de uso da terra no Baixo São Francisco**. ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2002. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/download/centro-de-documentacao/projeto-gefs/Mapeamento%20Tem%C3%A1tico%20de%20Uso%20da%20Terra%20no%20Baixo%20SF.PDF>>. Acesso em: 21 jan. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica**. 2019. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>>. Acesso em: 04 jan 2019.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. FUNDO MUNDIAL PARA O MEIO AMBIENTE. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. **Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004. (Versão preliminar elaborada pelo GTT (Grupo Técnico de Trabalho) coordenado pela ANA) Disponível em: <[http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/\\_docs/planos/PlanoDecenaldeRecursosHidricos.pdf](http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/_docs/planos/PlanoDecenaldeRecursosHidricos.pdf)>. Acesso em: 02 nov. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA. **Reservatório de Xingó, no rio São Francisco, passará a liberar média mensal de 600m<sup>3</sup>/s a partir de 1º de maio.** 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/reservatorio-de-xingo-passara-a-liberar-media-mensal-de-600m3-s-a-partir-de-1o-de-maio>>. Acesso em: 26 dez. 18

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Como funciona o setor elétrico. Brasília: ANEEL, 2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2Farea.cfm%3FidArea%3D739&\\_101\\_assetEntryId=14476909&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=654800&\\_101\\_urlTitle=faq&inheritRedirect=true](http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Farea.cfm%3FidArea%3D739&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true)>. Acesso em: 05 nov. 2018

ALMEIDA, L. E.; LOPES, W. T. Medição de descarga líquida e sólida. In: AZEVEDO, José Roberto (Org.) **Hidrometria Aplicada à Gestão dos Recursos Hídricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. 484p.:

AMORIM, F. B. **Impacto da adoção de vazões ecológicas no baixo curso do rio São Francisco sobre a geração hidrelétrica**. Salvador-BA. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal da Bahia (UFBA). 2009.

BANDEIRA, J. V.; FARIAS, E. G. G.; LORENZZETTI, J. A.; SALIM, L. H. Resposta morfológica da foz do rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios. **Vetor – Revista de Ciências Exatas e Engenharia**, Rio Grande, v. 23, n. 1, p 5-17, 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Integração do rio São Francisco. Rio e seus números**. 2017. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-rio-e-seus-numeros>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Integração do rio São Francisco. Recuperação de nascentes**. 2017. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/web/projeto-sao-francisco/recuperacao-das-nascentes>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, Secretaria de Recursos Hídricos. 2006. 148 p. : il. color. ; 27cm. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/publicacao/161\\_publicacao03032011023538.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/publicacao/161_publicacao03032011023538.pdf)>. Acesso em: 08 dez. 2018

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Diagnóstico da bacia. Brasília: MMA, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/estruturas/PRSF/arquivos/diag.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed. rev. atual e ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, J. N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia\\_prat\\_port.pdf](http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_prat_port.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2017.

CAVALCANTE, A. J. B. D. **Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do rio São Francisco, decorrentes da construção de barragens**. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2011

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Maceió: CBHSF, 2017. **A bacia: principais características**.. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/a-bacia/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Maceió: CBHSF, 2017. **A usina Hidrelétrica de Xingó**. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/a-usina-hidreletrica-de-xingo/>>. Acesso em: 22 nov. 2018

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Maceió: CBHSF, 2017. **Propriá (SE) sediará a primeira audiência pública para discutir o risco de enchentes no Velho Chico**. 2018. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/propria-se-sediara-a-primeira-audiencia-publica-para-discutir-o-risco-de-enchentes-no-velho-chico/>>. Acesso em: 23 out. 2018

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. ASSOCIAÇÃO EXECUTIVA DE APOIO À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PEIXES VIVOS **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco 2016 - 2025**. Maceió: CBHSF:PEIXE VIVO, 2016. Disponível em: <[http://cbhsaofrancisco.org.br/planoderecursoshidricos/wp-content/uploads/2015/04/RF3\\_24jan17.pdf](http://cbhsaofrancisco.org.br/planoderecursoshidricos/wp-content/uploads/2015/04/RF3_24jan17.pdf)>. Acesso em: 02 nov. 2018

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Descrição do aproveitamento de Xingó**. Recife: Chesf, 2018. Disponível em <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Xingo.aspx>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Redução temporária de vazão mínima**. Recife: Chesf, 2017. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Documents/RT-DORH%20023%20-%202016-IBAMA.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2018

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Rede Hidrometeorológica Nacional. Rio de Janeiro: CPRM/RHN, 2017. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publicue/Hidrologia/Apresentacao/Rede-Hidrometeorologica-Nacional---RHN-304.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.

CÓRDOVA, J. R.; GONZALEZ, M. Sediment yield estimation in small watersheds based on streamflow and suspended sediment discharge measurements. **Soil technology**, v. 11, p. 57-65, 1997. Revista Eletrônica. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0933363096001158>>. Acesso em: 12 dez. 18.

COSTA, W. IBAMA autoriza redução da vazão do Rio São Francisco para 600 m<sup>3</sup>/s. **G1: portal de notícias, Alagoas**. 15 de maio de 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/ibama-autoriza-reducao-da-vazao-do-rio-sao-francisco-para-600-ms.ghtml>>. Acesso em: 05 ago. 2017

FERNANDES, J.G. **Estimativa de vazão e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio São Francisco, utilizando o modelo SWAT**. Tese (tese de doutorado em geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de pós- graduação em Geografia, 2015. 285f.:il.;30cm. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13922/1/JOSIMAR\\_GURGEL\\_FERNANDES.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13922/1/JOSIMAR_GURGEL_FERNANDES.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

FERREIRA, H. S.; SILVA, B. Q.; ALBUQUERQUE, R. T. D. B. **Utilização do sensoriamento remoto para análise de mudanças na dinâmica da paisagem da Foz do Rio São Francisco**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4994. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0677.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2017.

FILIZOLA, H. F.; FILHO, G. S. A.; CANIL, K.; SOUZA, M. D.; GOMES, M. A. F. **Controle de processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos**. Circular Técnica 22- EMBRAPA. Jaguariúna, SP Dezembro, 2011. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular\\_22.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_22.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2017.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Tereza Gallopti Florenzano (Org). São Paulo: oficinas de textos. Livro, 2008. Capítulo de livro: introdução à geomorfologia.

FONTES, C. dos S. **Dinâmica dos processos erosivos em taludes do baixo curso do rio São Francisco: desafios para seu controle com uso de geotêxteis**. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe. 2016. Disponível em: <[https://bdtd.ufs.br/bitstream/tede/2928/2/CATIA\\_SANTOS\\_FONTES.pdf](https://bdtd.ufs.br/bitstream/tede/2928/2/CATIA_SANTOS_FONTES.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2017.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **Moradores da cidade de ribeirinha de Traipu lamentam a morte do rio São Francisco (Março/2017)**. 2017. Disponível em:<<https://www.fundaj.gov.br/index.php/revitalizacao-de-bacias/7934-moradores-da-cidade-ribeirinha-de-traipu-lamentam-morte-do-rio-sao-francisco-marco-2017>>. Acesso em: 28 dez. 2018

GARRIDO, J. W. A.; SOUSA, T. M. I.; ISMAEL, L. L.; CRISPIM, D. L.; FERREIRA, P. M. L.; QUEIROZ, M. M. F. Determinação das curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** v.23 n.1; jan/fev 2018; 69-75.

GONÇALVES, M. J. S.. **Avaliação do impacto ambiental da redução de vazão na foz do rio São Francisco**. I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. 2016 – Juazeiro-BA. INEMA-BA; Universidade Estadual de Feira de Santana – Geotrópicos/UEFS. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017//box/uploads/2018/06/6.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2018

GUPTA, H.; KAO, S.; DAI, M. The role of mega dams in reducing sediment fluxes: A case study of large Asian rivers. **Journal of Hydrology** 464 – 465 (2012) 447 – 458. Revista Eletrônica disponível em: <[https://mel.xmu.edu.cn/upload\\_paper/2013319152508-aNTXo7.pdf](https://mel.xmu.edu.cn/upload_paper/2013319152508-aNTXo7.pdf)>. Acesso em: 03 dez. 2018.

HOLANDA, F. S. R.; BANDEIRA, A. A.; ROCHA, I. P.; FILHO, A., R. N.; RIBEIRO, L. F.; ENNES, M. A. Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos. **R. RA'E GA**, Curitiba, n. 17, p. 93-101, 2009. Editora UFP. Disponível em: <<file:///C:/Users/Administrador/Downloads/12404-55870-1-PB.pdf>>. Acesso em: 02 dez 2018.

JUNIOR, O. R.; FIGUEIREDO, H. L.; JUNIOR, C. A. S. C. **Recursos Hídricos e Hidrogeração**. I Simpósio Internacional de Ciências Integradas da Unaerp Campus Guarujá. 2004. Disponível em: <<https://www.unaerp.br/documentos/791-recursos-hidricos-e-hidrogeracao/file>>. Acesso em: 05 nov. 2018

KONDOLF, G. M. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. **Environmental Management** v. 21, No. 4, pp. 533–551. University of California Berkeley, California 94720, USA. 1997 Springer-Verlag New York Inc. Revista Eletrônica disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s002679900048>>. Acesso em: 23 nov. 2018

LI N; WANG L; ZENG C; WANG D; LIU D; WU X. Variations of Runoff and Sediment Load in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China (1950-2013). (2016). **PLoS ONE** 11(8): e0160154. doi:10.1371/journal.pone.0160154. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0160154>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

LIMA, A. E.. **Efeito da cascata no reservatório sobre a qualidade das águas no rio São Francisco, Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). 2012. Disponível em: [http://200.17.137.108/tde\\_arquivos/18/TDE-2012-10-11T125922Z-1442/Publico/Antony%20Evangelista%20de%20Lima.pdf](http://200.17.137.108/tde_arquivos/18/TDE-2012-10-11T125922Z-1442/Publico/Antony%20Evangelista%20de%20Lima.pdf). Acesso em: 13 jun. 2017.

LIMA, J. E. F.W; SANTOS, P.M.C; CHAVES, A.G.M. SCILEWSKI, L.R. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio São Francisco**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANEEL; ANA, 2001.108p.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M. da; VIEIRA, M. R.. **Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro**. VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Porto Alegre – RS. 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/242773253\\_FLUXO\\_DE\\_SEDIMENTOS\\_EM\\_SU](https://www.researchgate.net/publication/242773253_FLUXO_DE_SEDIMENTOS_EM_SU)>

SPENSAO NO EXUTORIO DE GRANDES BACIAS HIDROGRAFICAS EM TERRITORIO BRASILEIRO>. Acesso em: 04 nov. 2018

LORENZO H. C. de. O setor elétrico brasileiro: passado e futuro. **Revistas de Ciências Sociais**. Universidade Estadual de Paulista UNESP - Araraquara - SP. Perspectivas, São Paulo, 24-25: 147-170; 2001-2002. Disponível em: <<https://periodicos.fclar.unesp.br/perspectivas/article/view/406>>. Acesso em: 09 dez. 2018

LOPES, Z. F. **Deteção de mudança hidroclimática na bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Tese (doutorado em geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014. O autor, 2014. 165 f. : il. ; 30 cm. Disponível em: <<file:///C:/Users/Administrador/Downloads/TESE%20ZILURDES%20FONSECA%20LOPE%20S.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A. & LACERDA, F.F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. ISBN 978-85-64265-01-1. Instituto nacional do semiárido Campina Grande – PB. 2011. Disponível em: <[http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo\\_Variabilidade.pdf?languagebutton=en](http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en)>. Acesso em: 01 maio 2017.

MEDEIROS, P.R.P.; KNOPPES, B.A.; JÚNIOR, R.C.S.; SOUZA, W.F.L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, 21(2)212 – 231, 2007. Disponível em: <<http://geobrasiliensis.org.br/ojs/index.php/geobrasiliensis/article/viewFile/268/pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; OLIVEIRA, E. N. Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, 2011, 15(1): 42-53.

MELO, C.R.; MELO, S.C.; COSTA, F.A. ET AL. **Monitoramento hidrológico no rio São Francisco**. XXI Simpósio de Recurso Hídricos. 2015. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-679\\_monitoramento-hidrologico-no-rio-sao-francisco](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-679_monitoramento-hidrologico-no-rio-sao-francisco)>. Acesso em: 01 maio 2017.

MENEZES, M. **Mudanças climáticas à vista nas margens do Rio São Francisco**. FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz, 2016. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/noticia/mudancas-climaticas-vista-nas-margens-do-rio-sao-francisco>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

MORAIS, R. C. S. Estimativa de produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 4, Nº 4, p.81-97 (jul/Dez., 2015). Revista Eletrônica. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>>. Acesso em: 02 dez. 2018

NASCIMENTO, M. C. Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco / Melchior Carlos do Nascimento, Carlos Eduardo Ribeiro Júnior, Antenor de Oliveira Aguiar



Netto – Maceió, AL, 2013, 175p. Disponível em:< <http://cbhsaofrancisco.org.br/wp-content/uploads/2013/05/Relat%E2%94%9C%E2%94%82rio-da-expedi%E2%94%9C%D0%B7%E2%94%9C%D0%B3o-da-Regi%E2%94%9C%D0%B3o-do-Baixo-SF-FINAL-26-03-2014.pdf>>. Acesso em: 05 jan 2019

OLIVEIRA, A. M.; JÚNIOR, R. C. S.; HERNANDEZ, A. O.; SEGUNDO, G. H. C. ; ARAÚJO, A. E. M. **A MORTE DO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO**. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. 2003. Disponível em:< [http://www.abequa.org.br/trabalhos/dinamica\\_costeira\\_294.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/dinamica_costeira_294.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2017

**PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. New York: IPCC, 2013. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; AZEVEDO, J. R. G. QUEIROZ, K.C.; PINHEIRO, R. B. Noções básicas de hidrologia e hidrometria. In: AZEVEDO, José Roberto (Org.) **Hidrometria Aplicada à Gestão dos Recursos Hídricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. 484p.:il., figs., gráfs.

PITTON, S. E. C. prejuízos ambientais do consumo sob a perspectiva geográfica. In: CORTEZ, ATC., and ORTIGOZA, SAG., orgs. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano** [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

POLETO, C. **Gestão de recursos hídricos**. Porto Alegre: Escola Técnica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 40 p. Disponível em: <[http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_amb\\_saude\\_seguranca/meio\\_amb/031212\\_gest\\_rec\\_hidr.pdf](http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_amb_saude_seguranca/meio_amb/031212_gest_rec_hidr.pdf)>. Acesso em: 06 dez. 2018.

POMEROL, C; LAGABRIELLE, Y.; RENARD, M.; GUILLOT, S. **Princípios de Geologia : técnicas, modelos e teorias**. 14ª ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

REIS, R.; FALCÃO, S. Hidrossedimentologia Básica. In: AZEVEDO, José Roberto (Org.) **Hidrometria Aplicada à Gestão dos Recursos Hídricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. 484p.:il., figs., gráfs.

REIS, A.; PARKER, A.; ALENCOÃO, A. **Avaliação da qualidade de sedimentos em rios de montanha: um caso de estudo no norte de Portugal**. Recursos Hídricos- Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos – 2010. v 31#01. Disponível em: [http://www.aprh.pt/rh/pdf/rh31\\_n1-7.pdf](http://www.aprh.pt/rh/pdf/rh31_n1-7.pdf). Acesso em: 25 maio 2017.

RESENDE P. C.; OLIVEIRA I. M. Descrição socioeconômica dos pescadores no baixo São Francisco Nordeste-Brasil. **Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE - Ano XVII - Edição especial - Dezembro de 2015**. Salvador, BA – p. 671 – 689. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/310646221\\_DESCRICAO\\_SOCIOECONOMICA\\_DOS\\_PESCADORES\\_NO\\_BAIXO\\_SAO\\_FRANCISCO\\_NORDESTE-BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/310646221_DESCRICAO_SOCIOECONOMICA_DOS_PESCADORES_NO_BAIXO_SAO_FRANCISCO_NORDESTE-BRASIL). Acesso em: 29 nov. 2018

SÁ, I. B.; FILHO, P. P. S.; SILVA, D. F.; SILVA, C. F. **Detecção das fontes de sedimentos no Rio São Francisco: uma abordagem utilizando técnicas de sensoriamento remoto - Instituto do Milênio Semiárido – IMSEAR**. XXVII Reunião Nordestina de Botânica. Petrolina, 22 a 25 de março de 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/28558/1/OPB1173.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2017.

SANCHES, C.; COSTA, W. Mar avança sobre Rio São Francisco e afeta população ribeirinha em Alagoas. **Portal G1- Alagoas**, 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2017/03/mar-avanca-sobre-rio-sao-francisco-e-afeta-populacao-ribeirinha-em-alagoas.html>>. Acesso em: 05 jan 2019

SANTOS, I. dos. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372.; il. Color.cm.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. Oficina de texto. Ed. 1. 2007.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria –RS**. Santa Maria, RS, Brasil. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SILVA, F.B.R et al. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA/Recife: EMBRAPA-CNPS. Coordenaria Regional Nordeste, 1993, 1v. I.

SILVA, W. F.; MEDEIROS, P.R.P.; VIANA, F.G.B. **Quantificação preliminar do aporte de sedimentos no baixo São Francisco e seus principais impactos**. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2010. Disponível em: <[http://inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/87\\_PauloPeter.pdf](http://inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/87_PauloPeter.pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2016.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A.; CABRAL, S.L. Análise das Projeções de Precipitação do IPCC-AR4 para os Cenários A1B, A2 e B1 para o Século XXI para Nordeste Setentrional do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.2, p117- 134. 2013b.

SNOUSSI, M.; HAIDA, S.; IMASSI, S. Effects of the constructions of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebous Rivers, Morocco. **Regional Environmental Change**. December 2002, v 3. Revista Eletrônica. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-001-0035-7>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

SOUZA, M. E. FILHO, N.E.S.S.; PEREIRA, L. A.; LYRA, L.H.B. Monitoramento e caracterização do assoreamento no rio São Francisco nas orlas urbanas de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. **Revista Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral-CE, V.15, n.1, p.68-80, 2013.

SOUZA, W. FL; MEDEIROS, P.R.P.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-Oceano. **Revista Virtual Química**. 2011. V.3, n.2, p.116-128. Revista Eletrônica. Disponível em:

<[file:///C:/Users/Administrador/Downloads/144-1588-4-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/144-1588-4-PB%20(1).pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2017.

STROM, K.; ROUHNIA, M.; **Suspended Sediment Sampling and Annual Sediment Yield on the Lower Brazos River**. University of Houston, Houston, Texas PI: Kyle Strom, Assistant Professor Civil and Environmental Engineering. 2013. Revista Eletrônica. Disponível em: <[http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted\\_reports/doc/1000011085\\_1100011340\\_BrazoSediment.pdf](http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted_reports/doc/1000011085_1100011340_BrazoSediment.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2018

TAVARES, E. **São Francisco: rio de Lágrimas**. 2013. Disponível em: - <http://ducamendes.blogspot.com.br/2013/10/>. Acesso em: 22 jan. 2018

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. **Estudo hidrodinâmico sedimentológico do baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente – AL/SE**. Resumo Executivo do Relatório Final. Projeto de Gerenciamento Integrado das atividades desenvolvidas em terras na bacia do São Francisco. Alagoas: UFAL, 2003. Disponível em: <[http://cbhsaofrancisco.org.br/?wpfb\\_dl=1609](http://cbhsaofrancisco.org.br/?wpfb_dl=1609)>. Acesso em: 16 jun. 2017

VAUGHAN, A. A. ; Patrick Belmont ; Charles P. Hawkins ; Peter Wilcock. Near-Channel Versus Watershed Controls on Sediment Rating Curves. **JGR Earth Surface**. 2017. Revista Eletrônica. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2016JF004180>>. Acesso em: 12 dez. 2018

VESTENA, L. R; LUCINI, H.; KOBIYAMA, M. Avaliação da Concentração de Sedimento em Suspensão no Rio Caeté, em AlfredoWagner/SC. **Revista União da geomorfologia brasileira**. 2008. Revista Eletrônica. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0215.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018

WALLING, D. E. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. **Water Resources Research**. 13 (3), 531-538, 1977. Revista Eletrônica. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR013i003p00531>>. Acesso em: 12 dez. 18.

ZELLHUBER, A.; SIQUEIRA, R. **Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização**. Salvador Julho/Setembro (2007) nº 227. Cadernos do CEAS. Disponível em: <[http://www.cptba.org.br/joomla15/download/artigos/sf\\_em\\_descaminho\\_ceas.pdf](http://www.cptba.org.br/joomla15/download/artigos/sf_em_descaminho_ceas.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2017.

ZHAO, C.; DONG, S.; LIU, S.; AN, N.; SYLVIE, I.; ZHAO, H.; LIU, Q.; WU, X. Preliminary study on the effect of cascade dams on organicmatter sources of sediments in the middle Lancang–Mekong River. 2017. **Journal of Soils and Sediments ISSN** 1439-0108. Volume 18; Number 1 Sediments, sec 2 • Physical and biogeochemical processes.