

Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco



1 206

*Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas - SIH
Ministério de Minas e Energia*

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

*Agência Nacional de Águas - ANA
Superintendência de Informações Hidrológicas - SIH
Ministério do Meio Ambiente*

Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima
Paulo Marcos Coutinho dos Santos
Adriana Goretti de Miranda Chaves
Leandro Rocha Scilewski

*Planaltina, DF
Embrapa Cerrados*

*Brasília, DF
ANEEL / ANA*

2001

Supervisor editorial: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Revisão de texto
Maria Helena Gonçalves Teixeira

Normalização bibliográfica
Maria Alice Bianchi

Projeto Gráfico
Jussara Flores de Oliveira

Capa
Chaile Cheme Soares Evangelista

Editoração eletrônica
Jaime Arbués Carneiro, Jussara Flores de Oliveira e Leila Sandra Gomes Alencar

Tratamento das ilustrações
Chaile Cheme Soares Evangelista e Leila Sandra Gomes Alencar

1ª edição
1ª impressão (2001): tiragem 1000

D536 Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco / Jorge Enoch Furquim Werneck Lima ... [et al.] – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados; Brasília, DF : ANEEL : ANA, 2001. 108p.

ISBN 85-7075-016-1

1. Bacia hidrográfica - Rio São Francisco - Brasil. 2. Bacia hidrográfica - Sedimento. I. Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck.

333.73 - CDD 21

AUTORES

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima
Pesquisador em Hidrologia - Embrapa Cerrados, MSc. Irrigação e Agroambientes
BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza - Planaltina, DF - Caixa Postal 08223,
CEP 73301-970
jorge@cpac.embrapa.br

Paulo Marcos Coutinho dos Santos
Consultor PNUD/ANEEL, Geólogo
SGAN Q. 603, Módulo J - Brasília, DF CEP: 70830-030
coutinho@aneel.gov.br

Adriana Goretti de Miranda Chaves
Consultora PNUD/ANEEL, M.Sc. Hidrologia
SGAN Q. 603, Módulo J - Brasília, DF CEP: 70830-030
achaves@aneel.gov.br

Leandro Rocha Scilewski
Consultor OMM/ANEEL, Geólogo
SGAN Q. 603, Módulo J - Brasília, DF CEP: 70830-030

Sumário

APRESENTAÇÃO, 7

INTRODUÇÃO, 9

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA, 13

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS, 19

CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E ANÁLISE DOS PARÂMETROS LEVANTADOS, 29

CONCLUSÕES, 99

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 105

APRESENTAÇÃO

O comportamento sedimentológico de uma bacia hidrográfica é resultante de características naturais da área contribuinte e da influência antrópica nela. O crescimento populacional, associado às necessidades socioeconômicas do ser humano, gera forte demanda pelo aumento das cidades, da produção de alimentos, da geração de energia elétrica, da produção de bens de consumo e outros, provocando forte pressão ao ambiente natural.

Embora as atividades produtivas sejam fundamentais para o desenvolvimento, os impactos dessas sobre o meio ambiente devem ser estudados para que possam ser mitigados ou controlados, possibilitando a continuidade do aproveitamento dos recursos naturais existentes com o máximo benefício à sociedade.

Dependendo da interferência no fluxo natural de sedimentos de um dado curso d'água, seja pelo aumento da produção ou da deposição, os impactos gerados podem ser irreversíveis. O excesso de sedimentos nos rios constitui problema para sistemas de bombeamento e de abastecimento, além de causar sérios prejuízos aos usuários de reservatórios. Por sua vez, os sedimentos transportam nutrientes fundamentais para a manutenção da fauna e da flora aquática e das margens, constituem e mantêm praias em rios, além do equilíbrio do fluxo sólido e líquido entre os continentes e as zonas costeiras.

Cientes de que o conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma dada região ou bacia é uma importante ferramenta de suporte à tomada de decisão para os mais variados setores, a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e a Agência Nacional de Águas - ANA decidiram divulgar este estudo, o *Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco*, como forma de difundir informações que venham servir como base de ações, decisões e soluções para o desenvolvimento e bem-estar da sociedade brasileira.

Carlos Magno Campos da Rocha
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Valdemar Santos Guimarães
Superintendente SIH/ANA

Hélvio Neves Guerra
Superintendente SIH/Aneel

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento hidrossedimentológico da Bacia do Rio São Francisco por meio da análise do fluxo de sedimentos em suspensão nas estações fluviométricas sob gestão da Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel.

O estudo hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica, além de ser importante ferramenta de apoio para estudos ambientais, é fundamental para a análise de viabilidade de diversas atividades econômicas.

A construção de uma barragem e a formação de seu reservatório implicam modificações nas condições naturais do curso d'água. As barragens geram redução da velocidade da corrente e, conseqüentemente, da capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, com isso, há uma deposição dentro dos reservatórios que, aos poucos, vão perdendo sua capacidade de armazenar água. Portanto, seja o reservatório para fins de geração de energia, de irrigação, de abastecimento ou de outros usos, o conhecimento da vida útil desse empreendimento dependerá diretamente do fluxo de sedimentos no curso d'água.

Independente da existência de uma barragem no curso d'água, o conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de um rio pode contribuir, por exemplo, para a manutenção e a operação de hidrovias. Com o conhecimento prévio das zonas de deposição e produção de sedimentos, os trabalhos relativos a essa atividade podem ser agilizados e viabilizados.

Os sedimentos presentes no curso d'água são partículas sólidas originadas da erosão dos solos e das rochas da bacia contribuinte ou do próprio leito do rio. Além dos minerais que compõem os sedimentos, eles ainda são catalisadores, carreadores e agentes fixadores de outros agentes químicos e de matéria orgânica.

Os sedimentos são responsáveis pela formação e manutenção de praias de rios, pelo equilíbrio do fluxo sólido e líquido entre os continentes e oceanos, constituem fator fundamental para a dinâmica dos cursos d'água, transportam

nutrientes que servem de alimento para peixes ou para eutroficação de reservatórios. Assim, além dos prejuízos econômicos, os sedimentos configuram importante componente do meio ambiente. Então, dependendo da interferência ou modificação do fluxo de sólidos de um rio, os impactos ambientais podem ser irreversíveis.

A produção e a deposição de sedimentos em uma bacia hidrográfica dependem fundamentalmente de suas características naturais: chuvas, tipos de solo, topografia, densidade de drenagem, cobertura vegetal e área de drenagem, e de influências antrópicas como: o uso e a ocupação dos solos, o uso da água, as alterações no curso d'água e outros.

Este trabalho abrangeu toda a área da bacia com o objetivo de fornecer uma visão sistêmica do fluxo de sólidos em suspensão no rio São Francisco e nos seus principais afluentes que contam com dados hidrossedimentométricos disponíveis e passíveis de análise.

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A Bacia do Rio São Francisco abrange área de drenagem da ordem de 645.000 km², correspondendo a cerca de 8% do território nacional. Até desaguar no Oceano Atlântico, o Rio São Francisco nasce na serra da Canastra e atravessa aproximadamente 2.700 km do território brasileiro, passando pelos Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. A área da bacia ainda engloba parte do Estado de Goiás e do Distrito Federal.

Tradicionalmente, a Bacia do Rio São Francisco é subdividida em quatro grandes regiões: o alto, o médio, o sub-médio e o baixo São Francisco. O alto São Francisco se estende das nascentes até a cidade de Pirapora, o médio segue de Pirapora à cidade de Remanso, às margens do reservatório de Sobradinho, o sub-médio compreende o trecho entre Remanso e Paulo Afonso e o baixo, de Paulo Afonso até a foz. A Tabela 1, a seguir, apresenta características gerais de cada uma das regiões citadas.

Tabela 1. Caracterização das quatro grandes regiões da Bacia do São Francisco.

Região	Área (km ²)	% da área	Precipitação (mm/ano)	Temp. média anual (°C)	Vazão esp. Média (L/s.km ²)
Alto	91.000	14,1	1.000 a 1.500	23	11 a 14
Médio	352.100	54,6	600 a 1.400	24	4 a 11
Sub-médio	155.900	24,2	350 a 800	26,5	4 a 5
Baixo	46.000	7,1	800 a 1.300	25	5
TOTAL	645.000	100,0	350 a 1.500	23 a 26,5	4 a 14

Fonte: PLANVASF, 1989.

De forma geral, segundo relatório da Fundação Getúlio Vargas, 1999, a ocupação econômica da Bacia do Rio São Francisco tem ocorrido conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização da ocupação econômica predominante nas quatro grandes regiões da Bacia do São Francisco.

Região	Ocupação econômica
Alto	Além das atividades mineradora e siderúrgica e da grande concentração urbano - industrial na região metropolitana de Belo Horizonte, há forte presença do setor agrícola e da atividade industrial correlata.
Médio	Área dominada pela atividade pecuária, embora pouco modernizada. Na parte sudoeste dessa região, há crescente desenvolvimento da atividade agrícola moderna e da introdução de agroindústrias.
Sub-médio	A região de Juazeiro e Petrolina representa uma área de ocupação agrícola com utilização de tecnologias modernas (perímetros de irrigação). Entretanto, boa parte do espaço restante é dominado pela atividade pecuária pouco modernizada e agricultura de subsistência.
Baixo	Predominam a atividade agropecuária e a agricultura de subsistência.

Fonte: FGV, 1999.

Segundo dados do Censo demográfico, 1996, a população total da Bacia do São Francisco, à época do referido censo, foi de aproximadamente 9.000.000 de habitantes, com cerca de 2.000.000 de pessoas concentradas na região de Belo Horizonte.

Quanto à área irrigada da bacia, existem alguns pólos nas regiões dos Rios Paracatu, Verde Grande, Grande e do próprio São Francisco, nos Municípios de Juazeiro e Petrolina. Estudo do Plano . . ., 1999, utilizando imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento, estimou a área irrigada na Bacia do São Francisco como sendo de 333.321 hectares.

O principal estirão navegável do Rio São Francisco localiza-se entre Pirapora e Juazeiro, com extensão de 1.312 km. Os outros trechos vão de Piranhas/AL até a foz, com 205 km, e de Juazeiro até Santa Maria da Boa Vista/PE, com 150 km. Em relação aos trechos navegáveis de seus afluentes, destacam-se os de Barreiras até a cidade de Barra (370 km) e, no Rio Corrente, da sua foz até Santa Maria da

Vitória (110 km). Os principais produtos transportados ou com potencial para transporte pelos rios da bacia são a gipsita, soja, milho, polpa de tomate, fertilizantes e manganês (Fundação Getúlio Vargas, 1999).

A Bacia do São Francisco tem uma potência hidrelétrica instalada de aproximadamente 11.000 MW e representa a principal fonte de energia para o Nordeste Brasileiro. A Tabela 3 apresenta os principais aproveitamentos da bacia.

Tabela 3. Principais aproveitamentos hidrelétricos instalados na Bacia do São Francisco.

Nome da usina	POT. [MW]	RIO	Sub bacia	UF	Área drenagem [km ²]	Área inundada [km ²]	Volume útil [km ³]
Alto Fêmeas	10,00	Fêmeas	46	BA	5.767	0,01	0,0000
Presidente Goulart (Correntina)	8,00	Correntina	45	BA	3.880	0,07	0,0000
Gafanhoto	12,88	Pará	40	MG	2.540	1,52	
Cajuru	7,20	Pará	40	MG	2.230	2,700	0,1300
TRÊS MARIAS	396,00	São Francisco	40	MG	50.600	1.142,00	15.2800
Rio de Pedras	9,28	Velhas	41	MG	564	4,00	0,0180
Paraúna	4,08	Paraúna	41	MG	1.790	1,50	0,0000
Pandeiros	4,20	Pandeiros	44	MG	3.800	0,40	
SOBRADINHO	1.050,00	São Francisco	47	BA	498.425	4.214,00	28.6690
ITAPARICA	1.500,00	São Francisco	49	PE	591.465	835,00	3.5480
Piloto	2,00	São Francisco	49	BA	603.683	0,75	
MOXOTÓ	440,00	São Francisco	49	AL	603.683	93,00	0,1800
PAULO AFONSO IV	2.460,00	São Francisco	49	BA	603.683	16,00	0,1800
PAULO AFONSO III	864,00	São Francisco	49	BA	603.683	4,80	0,0098
PAULO AFONSO II	480,00	São Francisco	49	BA	603.683	4,80	0,0098
PAULO AFONSO I	180,00	São Francisco	49	BA	603.683	4,80	0,0098
XINGÓ	3.000,00	São Francisco	49	SE	608.722	60,00	0,0410
TOTAL	10.427,64					6.409,65	48,08

Portanto, segundo os dados supracitados, pode-se observar que a Bacia do Rio São Francisco representa importante indutor do desenvolvimento de diversos estados brasileiros e, principalmente, da Região Nordeste. Por isso, há necessidade de que as características hidrológicas e hidrogeoquímicas dessa bacia sejam devidamente conhecidas para que o aproveitamento de suas águas possa ser otimizado com o menor impacto ambiental possível.

**LEVANTAMENTO E
ANÁLISE DOS DADOS**

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização deste estudo foram utilizados os dados hidrológicos e hidrossedimentométricos do banco de dados Hidro o qual dispõe de dados provenientes da rede hidrométrica sob gestão da Aneel.

Tabela 3a. Levantamento de estações e dados sedimentométricos da bacia 4 (Bacia do São Francisco).

Código	Estação	Rio	Intervalo de dados (ano)	(Nº dados / intervalo) total
40100000	PORTO DAS ANDORINHAS	São Francisco	98-01	12
40185000	PARI	Itapeperica	75-78 ; 81-82 ; 88-00	(43-20-41) 104
40300000	JAGUARUNA*	São João ou Comélio	75-76	10
40300001	JAGUARUNA-JUSANTE	São João ou Comélio	76-77 ; 82-97	(16-52) 68
40330000	VELHO DA TAIPA	Pará	75-77 ; 79-82 ; 88-01	(34-56-40) 130
40710000	BELO VALE	Paraopeba	75-79 ; 81-82 ; 88-00	(25-12-37) 74
40800000	PONTE NOVA DO PARAPEBA *	Paraopeba	78	01
40800001	PONTE NOVA DO PARAPEBA	Paraopeba	75-79 ; 81-82 ; 88-01	(90-22-41) 153
40817000	CÂNDIDOS	Ribeirão Serra Azul/Freitas	77-80	5 6
40822995	MATEUS LEME-ALDEIA	Ribeirão Mateus Leme	89 ; 92-01	(03-42) 45
41135000	PIRAPORA-BARREIRO	São Francisco	75-01	15 6
41199998	HONÓRIO BICALHO-MONTANTE	Velhas	81-97 ; 00-01	(99-04) 103
41200000	HONÓRIO BICALHO *	Velhas	75-79	12 5
41250000	VESPASIANO	Ribeirão da Mata	89-97	2 3
41340000	PONTE RAUL SOARES	Velhas	88-01	4 3
41340005	PONTE RAUL SOARES-JUSANTE *	Velhas	77-79 ; 81-82	(36-20) 5 6
41410000	JEQUITIBÁ	Velhas	75-79 ; 81-97	(54-77) 131
41650000	PONTE DO LICÍNIO*	São Francisco	77	0 1
41650002	PONTE DO LICÍNIO-JUSANTE	Velhas	75-01	1 3 0
41780002	PRESIDENTE JUSCELINO-JUSANTE*	Paraúna	98-01	(02-05) 0 7
41818000	SANTO HIPÓLITO (ANEEL/CEMIG)	Velhas	75-78 ; 81-97	(94-79) 173
41990000	VÁRZEA DA PALMA	Velhas	75-01	2 0 8
42145498	FAZENDA LUMBURANA-MONTANTE	Jequitaiá	77-79 ; 81-01	(20-83) 103
42145500	FAZENDA LUMBURANA*	Jequitaiá	76-77	0 8
42395000	SANTA ROSA	Paracatu	76-79 ; 81-01	(29-88) 117
42930000	PORTO DO CAVALO (ANEEL/CEMIG)	Paracatu	89-01	3 5
43429998	ARINOS-MONTANTE	Unucuiá	76-79 ; 81-01	(09-74) 83

Continua...

Tabela 3a. Continuação.

Código	Estação	Rio	Intervalo de dados (ano)	(N° dados / intervalo total)
43430000	ARINOS *	Urucuia	76-77	09
43439998	*		76	02
43980002	BARRA DO ESCURO (PCD)	Urucuia	89-01	35
44200000	SÃO FRANCISCO	São Francisco	98-01	11
44290002	PEDRAS DE MARIA DA CRUZ	São Francisco	98-01	12
44950000	BOCA DA CAATINGA	Verde Grande	89-90 ; 92-97 ; 99-01	(02-13-04) 19
45260000	JUVENILIA (PCD)	Carinhanha	98-01	10
45480000	BOM JESUS DA LAPA	São Francisco	91-98 ; 00	(21-03) 24
45910001	SANTA MARIA DA VITÓRIA (PCD)	Corrente	98 ; 00-01	(01-04) 05
45960001	PORTO NOVO	Corrente	91-97	20
46035000	GAMELEIRA	São Francisco	95-98 ; 00	(11-03) 14
46360000	MORPARÁ (PCD)	São Francisco	78-79 ; 81-89 ; 91-98 ; 00	(08-31-23-02) 64
46550000	BARREIRAS	Rio Grande	89 ; 92-98 ; 00	(03-22-02) 27
46790000	FORMOSA DO RIO PRETO (PCD)	Preto	98 ; 00	(01-02) 03
46902000	BOQUEIRÃO	Rio Grande	92-98 ; 00	(21-02) 23
48020000	JUAZEIRO (PCD)	São Francisco	78-79 ; 81-89 ; 91-98 ; 00-01	(09-34-20-03) 66
48590000	IBÓ	São Francisco	80-00	81
48860000	FLORESTA *	Pajeú	92 ; 94-97	(01-06) 07
49030000	PETROLÂNDIA	São Francisco	80-88	42
49660000	TRAIPI	São Francisco	99-00	07
49705000	PRÓPRIA (PCD)	São Francisco	2000	04

Fonte: Lima et al, 2001.

* Estações descartadas após análise.

Pode-se observar na tabela acima que, mesmo contendo poucos dados, algumas das estações foram analisadas e consideradas neste trabalho. Portanto, principalmente nesses casos, os dados obtidos deverão ser utilizados com ressalvas ao longo do trabalho.

Tabela 4. Visualização dos anos em que existem dados em cada estação da rede sedimentométrica (Bacia do São Francisco).

Código	Estação	Rio	Anos de observação																											
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco																												
40185000	Pari	Itapeceira																												
40300000	Jaguaruna	São João ou Cornélio																												
40300001	Jaguaruna-Jusante	São João ou Cornélio																												
40330000	Velho da Taipa	Para																												
40710000	Belo Vale	Paraopeba																												
40800000	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba																												
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba																												
40817000	Cândidos	Ribeirão Serra Azul/Freitas																												
40822995	Mateus Leme-Aldeia	Ribeirão Mateus Leme																												
41135000	Pirapora-Barreiro	São Francisco																												
41199998	Honório Bicalho-Montante	Velhas																												
41200000	Honório Bicalho	São Francisco																												
41250000	Vespasiano	Ribeirão da Mata																												
41340000	Ponte Raul Soares	Velhas																												
41340005	Ponte Raul Soares-Jusante	São Francisco																												
41410000	Jequitibá	Velhas																												
41650000	Ponte do Licínio	São Francisco																												
41650002	Ponte do Licínio-Jusante	Velhas																												
41780002	Presidente Juscelino-Jusante	Parauna																												
41818000	Santo Hipólito (ANEEL/CEMIG)	Velhas																												
41990000	Várzea da Palma	Velhas																												
42145498	Fazenda Umburana-Montante	Jequitai																												
42145500	Fazenda Umburana	Jequitai																												
42395000	Santa Rosa	Paracatu																												

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Código	Estação	Rio	Anos de observação																											
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
42930000	Porto do Cavalo (ANEEL/CEMIG)	Paracatu																												
43429998	Arinos-Montante	Urucuia																												
43430000	Arinos	Urucuia																												
43439998																														
43980002	Barra do Escuro (PCD)	Urucuia																												
44200000	São Francisco	São Francisco																												
44290002	Pedras de Maria da Cruz	São Francisco																												
44950000	Boca da Caatinga	Verde Grande																												
45260000	Juvenília (PCD)	Carinhanha																												
45480000	Bom Jesus da Lapa	São Francisco																												
45910001	Santa Maria da Vitória (PCD)	Corrente																												
45960001	Porto Novo	Corrente																												
46035000	Gameleira	São Francisco																												
46360000	Morpara (PCD)	São Francisco																												
46550000	Barreiras	Rio Grande																												
46790000	Formosa do Rio Preto (PCD)	Preto																												
46902000	Boqueirão	Rio Grande																												
48020000	Juazeiro (PCD)	São Francisco																												
48590000	IBO	São Francisco																												
48860000	Floresta	Pajeú																												
49030000	Petrolândia	São Francisco																												
49660000	Traipu	São Francisco																												
49705000	Propriá (PCD)	São Francisco																												

Fonte: Lima et al., 2001.



Fig. 1. Mapa de localização das estações hidrossedimentométricas da Bacia do São Francisco - bacia 4.

Por meio dos dados de vazão e concentração de sedimentos em suspensão disponíveis no banco de dados da Aneel (HIDRO 1.0), resultado de medições realizadas no decorrer de vários anos, conforme apresentado na Tabela 4, obteve-se a curva-chave de sedimentos de cada estação segundo metodologia apresentada por Carvalho et al., 2000. Com a utilização dessa correlação entre a descarga sólida em suspensão e a descarga líquida, efetuou-se a transformação das séries de vazões médias mensais de cada estação, em fluxo de sedimentos em suspensão.

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q * C_{ss}$$

$$Q_{ss} = a * Q^b$$

onde:

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

Q = vazão (m^3/s);

C_{ss} = concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) e

a e b = constantes.

Algumas das estações não apresentam boa correlação entre as descargas líquida e sólida, seja por reduzido número de medições, efeito de maré, remanso, por estar a jusante de um reservatório ou por alguma outra característica. Portanto, quando a correlação apresentou valores baixos (menor que 0,6), a descarga sólida em suspensão média mensal foi estimada com base na média dos dados medidos em cada mês. Assim sendo, a descarga sólida média do mês de janeiro foi igual à média de todos os valores de descarga sólida medidos nesse mês. Como são feitas apenas quatro medições por ano em cada estação hidrométrica, o erro resultante desse método pode ser muito grande devido à disparidade entre anos secos e chuvosos. Portanto, após a realização de todas as médias mensais, em função dos dados médios de vazão da estação e dos dados de descarga sólida das estações a jusante e a montante da mesma, os dados de descarga sólida do posto em análise foram ajustados.

Houve casos de estações em que nenhum dos métodos acima apresentaram bons resultados. Então, realizou-se a correlação entre os dados medidos no mesmo período na estação com problemas e na estação logo a montante ou a jusante dessa.

Com base nos métodos supracitados e nos dados existentes no HIDRO, buscou-se neste trabalho a melhor interpretação possível para o conhecimento e a compreensão do fluxo de sólidos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco. Entretanto, é importante que seja registrado, principalmente para aqueles que nunca trabalharam com dados sedimentométricos, que os resultados encontrados em estudos sedimentológicos dependem, muitas vezes, do conhecimento e da sensibilidade de quem os analisa, estando sempre sujeito a críticas.

Depois da análise individualizada do fluxo médio de sólidos em suspensão de cada estação, efetuou-se um balanço da descarga sólida entre postos consecutivos para identificação de áreas com potencial para produção ou deposição de sedimentos. Para tal análise conjunta dos dados, o período de estudos foi homogeneizado. Após análise preliminar dos valores médios anuais, identificou-se o período após 1986 como o ideal para tal fim. Portanto, a comparação entre o comportamento das estações consecutivas foi efetuada, sempre que possível, com base em dados de 1986 a 1999. Algumas estações não possuem dados suficientes para análise de 1986 a 1999. Nesses casos, utilizaram-se as médias de longo termo, porém, com ressalvas.

Tabela 5. Parâmetros utilizados para a análise dos valores do fluxo sólido em suspensão específico (Q_{ss} específico).

Classificação	Q_{ss} esp. (t/km ² .ano)
baixa	< 70
moderada	70 a 175
alta	175 a 300
muito alta	> 300

Fonte: adaptado de Carvalho et.al, 2000.

Tabela 6. Parâmetros utilizados para a análise dos valores de concentração de sedimentos em suspensão (Css).

Classificação	Css (mg/L)
muito baixa	< 50
baixa	50 a 100
moderada	100 a 150
alta	150 a 300
muito alta	>300

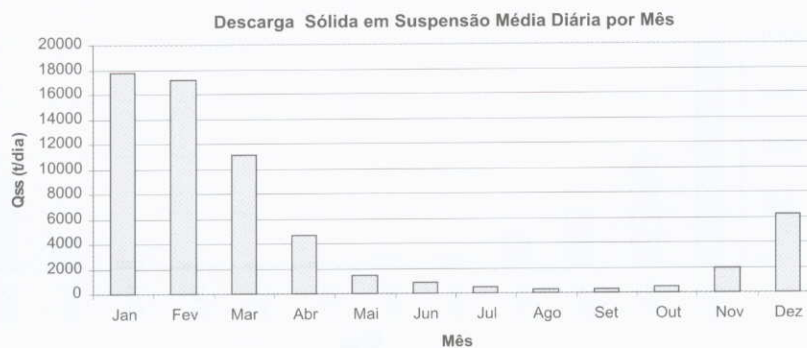
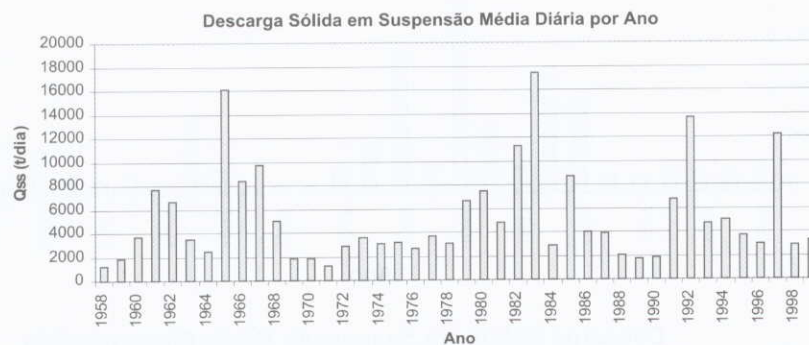
**CARACTERIZAÇÃO DAS
ESTAÇÕES E ANÁLISE DOS
PARÂMETROS LEVANTADOS**

CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E ANÁLISE DOS PARÂMETROS LEVANTADOS

Inicialmente, serão apresentados os resultados das análises individuais de cada estação e, em seguida, os dados serão estudados no contexto da bacia hidrográfica.

4.1. Estação Porto das Andorinhas (cod. 40100000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	5.269	4.767
Qss (t/ano)	1.923.091	1.739.987
Área de drenagem (km ²)	13.087	13.087
Qss específico (t/km ² .ano)	147	133
Q (m ³ /s)	226	218
Css (mg/L)	270	253



4.2. Estação Pari (cod. 40185000, Rio Itapecerica)

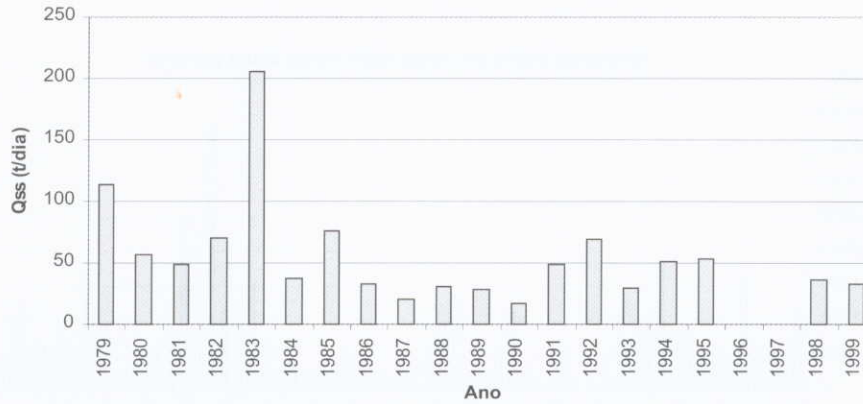
Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	434	227
Qss (t/ano)	158.260	82.761
Área de drenagem (km ²)	1.849	1.849
Qss específico (t/km ² .ano)	86	45
Q (m ³ /s)	29	23
Css (mg/L)	175	113



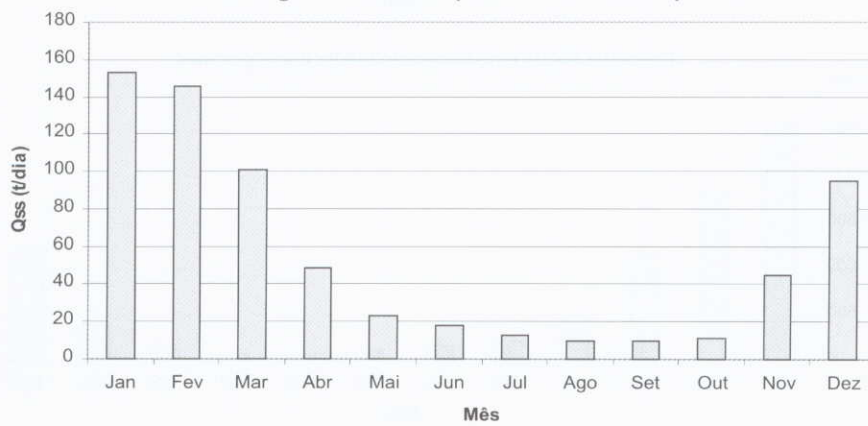
4.3. Estação Jaguaruna - Jusante (cod. 40300001, Rio São João ou Cornélio)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	56	39
Qss (t/ano)	20.369	14.237
Área de drenagem (km ²)	1.543	1.543
Qss específico (t/km ² .ano)	13	9
Q (m ³ /s)	23	20
Css (mg/L)	28	23

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

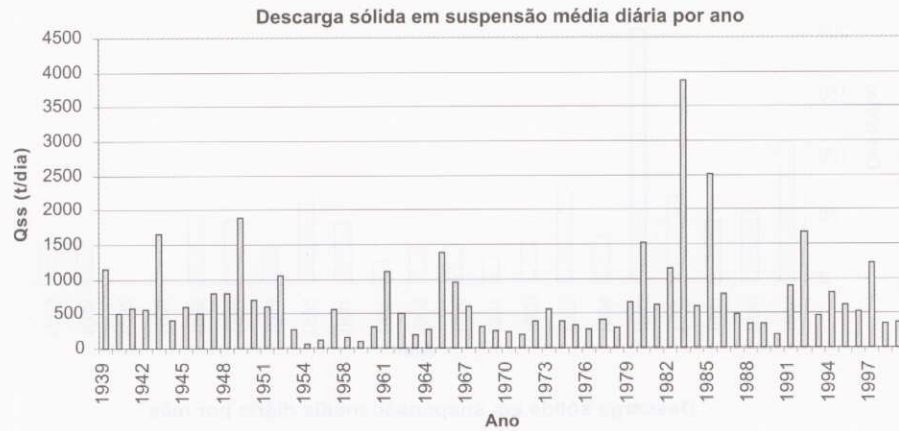


Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.4. Estação Velho da Taipa (cod. 40330000, Rio Pará)

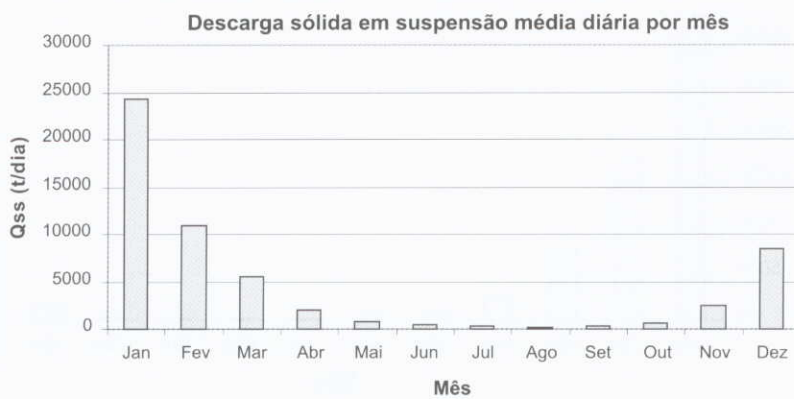
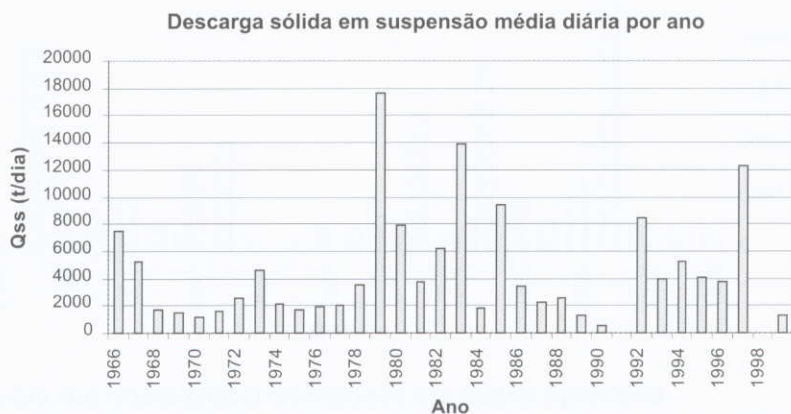
Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	702	649
Qss (t/ano)	256.544	236.833
Área de drenagem (km ²)	7.350	7.350
Qss específico (t/km ² .ano)	35	32
Q (m ³ /s)	101	99
Css (mg/L)	81	76



4.5. Estação Belo Vale (cod. 40710000, Rio Paraopeba)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	4.705	4.517
Qss (t/ano)	1.717.410	1.648.853
Área de drenagem (km ²)	2.690	2.690
Qss específico (t/km ² .ano)	638	613
Q (m ³ /s)	50	48
Css (mg/L)	1.094	1.094

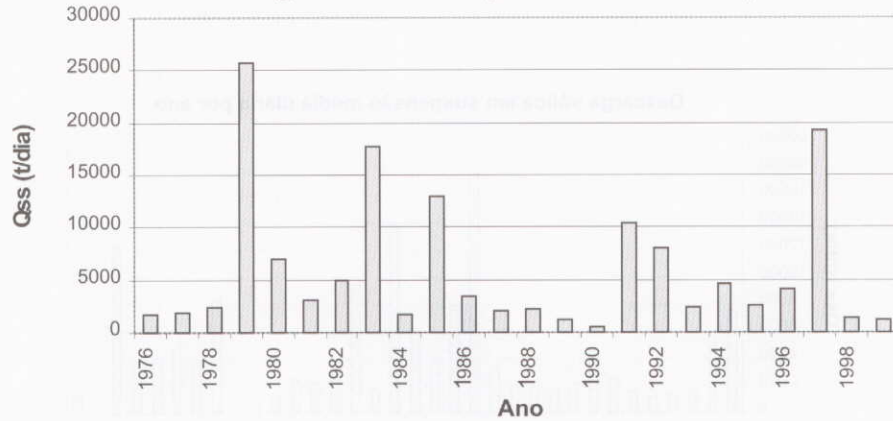
Figura 4.10 - Descarga sólida em suspensão média diária por ano e por mês



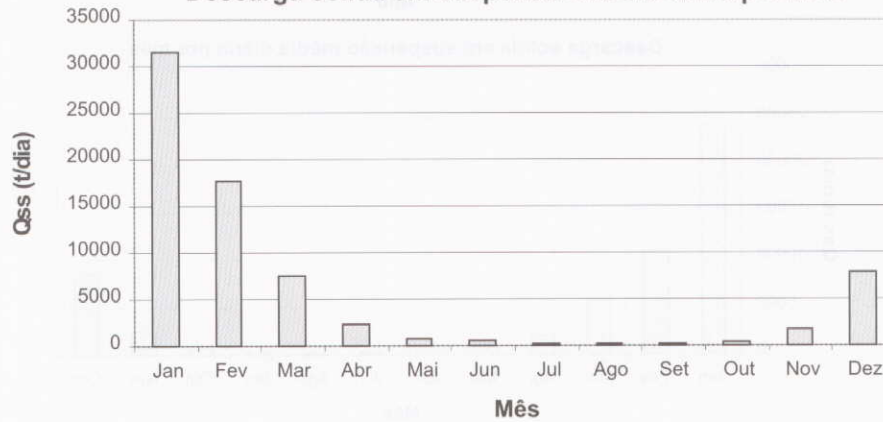
4.6. Estação Ponte Nova do Paraopeba (cod. 40800001, Rio Paraopeba)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	5.917	4.510
Qss (t/ano)	2.159.763	1.646.282
Área de drenagem (km ²)	5.680	5.680
Qss específico (t/km ² .ano)	380	290
Q (m ³ /s)	91	83
Css (mg/L)	754	632

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



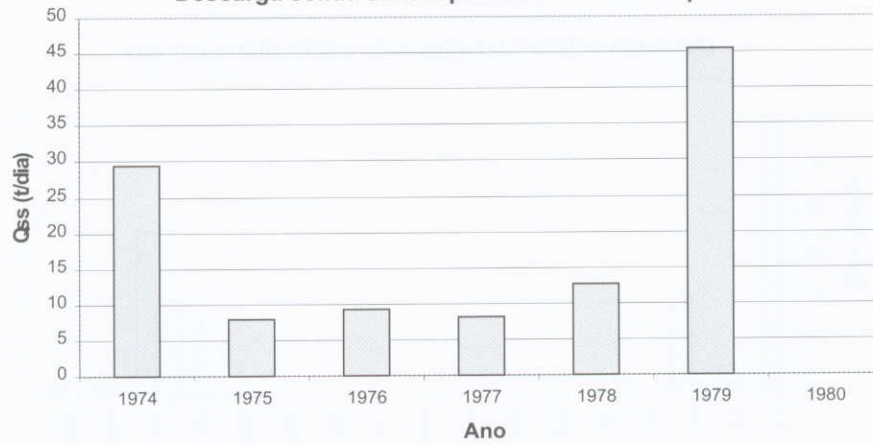
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



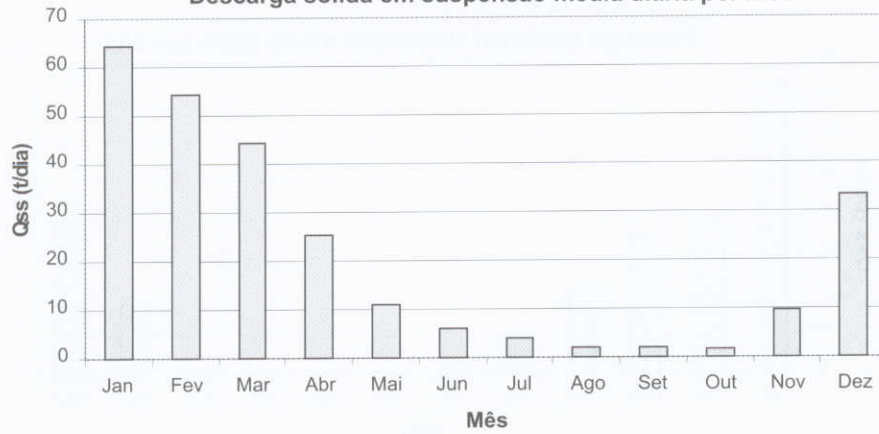
4.7. Estação Cândidos (cod. 40817000, Ribeirão Serra Azul ou Freitas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	26	-
Q _{ss} (t/ano)	9.306	-
Área de drenagem (km ²)	265	-
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	35	-
Q (m ³ /s)	3,26	-
C _{ss} (mg/L)	90	-

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



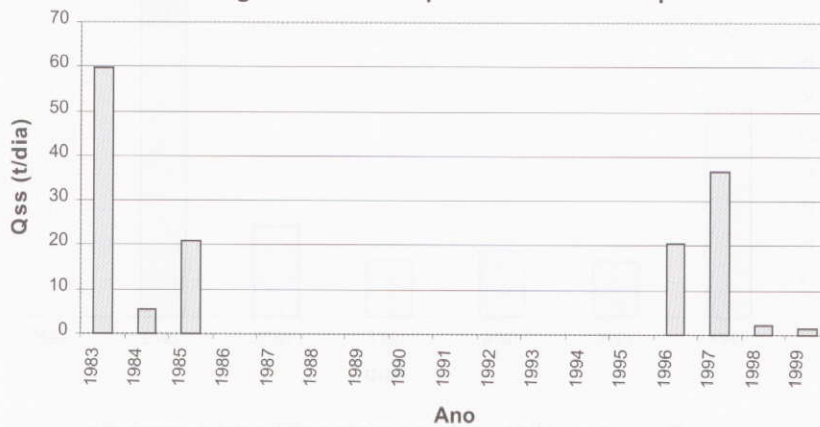
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.8. Estação Matheus Leme - Aldeia (cod. 40822995, Ribeirão Mateus Leme)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	21	-
Q _{ss} (t/ano)	7.665	-
Área de drenagem (km ²)	89,4	-
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	86	-
Q (m ³ /s)	1,47	-
C _{ss} (mg/L)	166	-

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

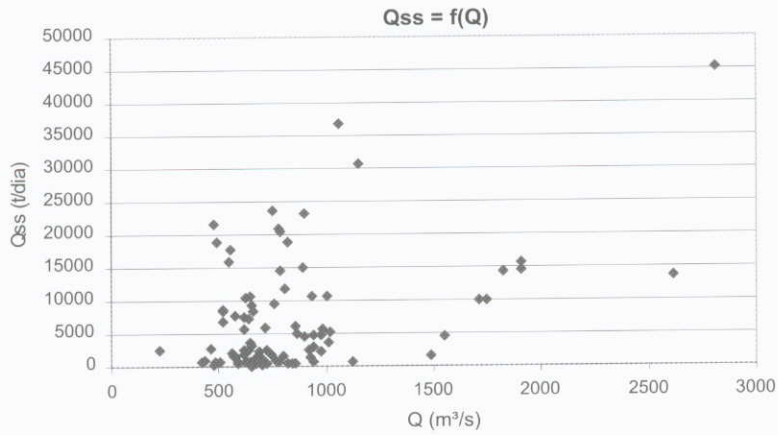
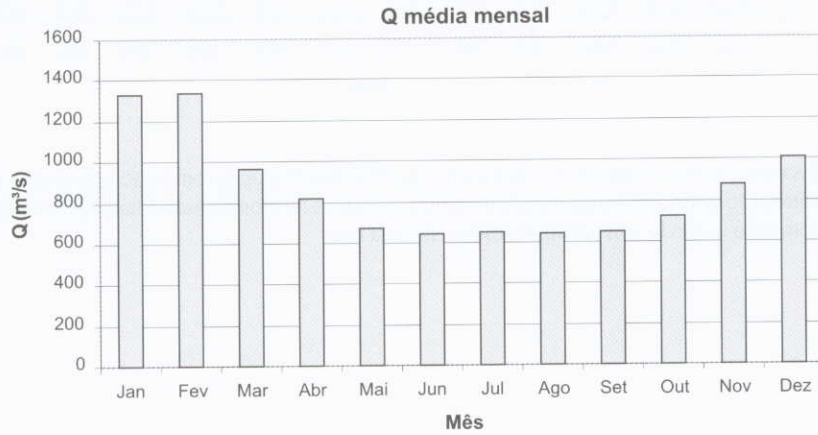


Descarga sólida em suspensão média diária por ano



4.9. Estação Pirapora - Barreiro (cod. 41135000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	7.626	-
Qss (t/ano)	2.783.306	-
Área de drenagem (km ²)	61.880	-
Qss específico (t/km ² .ano)	45	-
Q (m ³ /s)	860	-
Css (mg/L)	103	-

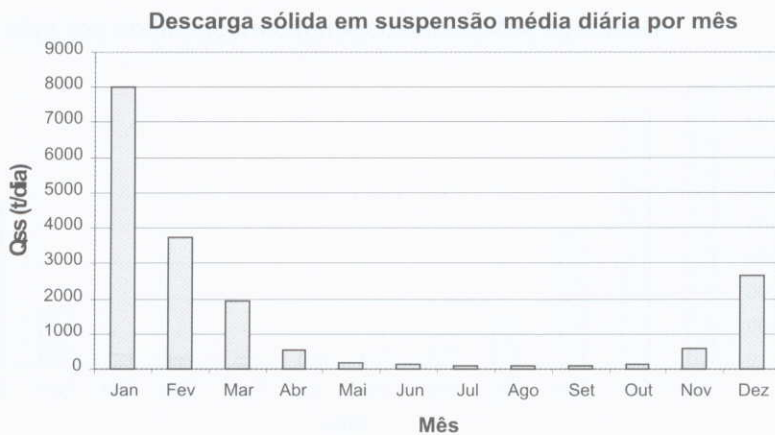
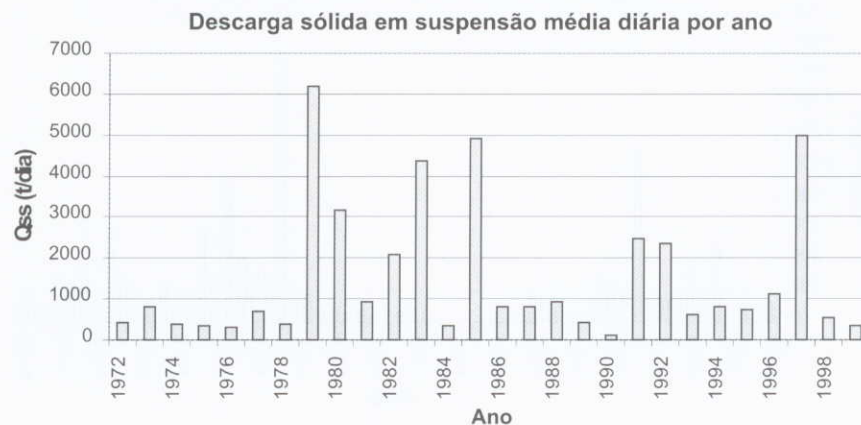




OBS: Essa estação fica a jusante do reservatório da UHE Três Marias e, como não apresentou boa correlação entre a descarga líquida e a sólida, os fluxos médios mensais foram determinados com base na média dos valores medidos em cada mês.

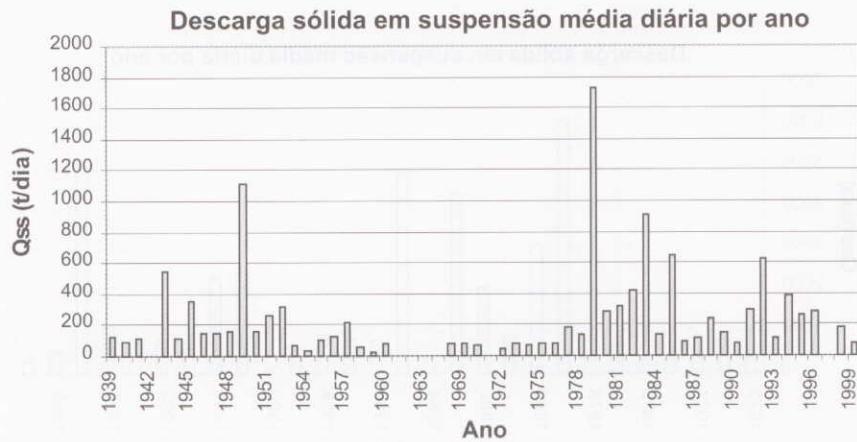
4.10. Estação Honório Bicalho - Montante (cod. 41199998, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	1.514	1.215
Qss (t/ano)	552.505	443.590
Área de drenagem (km ²)	1.642	1.642
Qss específico (t/km ² .ano)	336	270
Q (m ³ /s)	30,5	29,4
Css (mg/L)	575	479



4.11. Estação Vespasiano (cod. 41250000, Ribeirão da Mata)

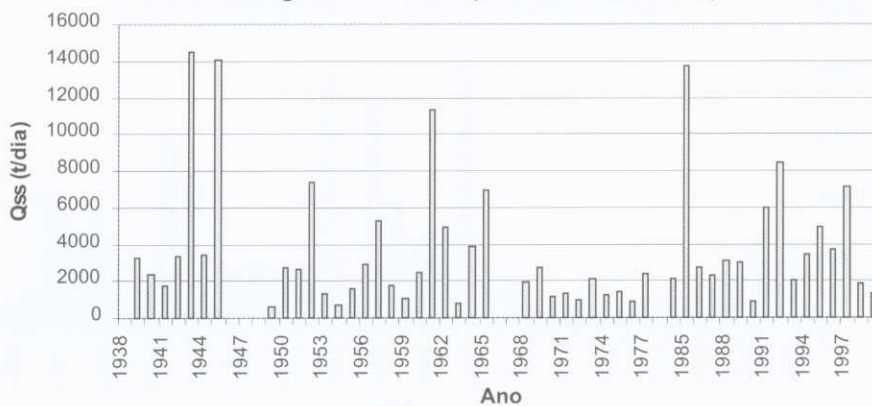
Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	247	213
Q _{ss} (t/ano)	89.996	77.742
Área de drenagem (km ²)	676	676
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	133	115
Q (m ³ /s)	8,14	8,03
C _{ss} (mg/L)	351	307



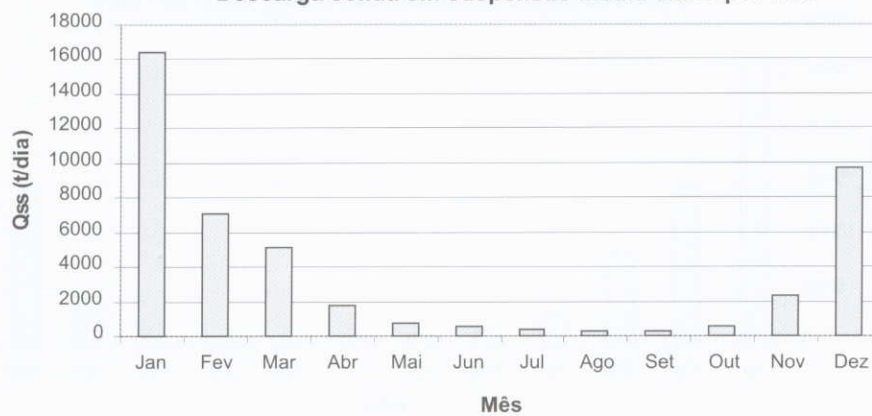
4.12. Estação Ponte Raul Soares (cod. 41340000, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	3.768	3.632
Q _{ss} (t/ano)	1.375.388	1.325.667
Área de drenagem (km ²)	4.780	4.780
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	288	277
Q (m ³ /s)	75,7	77,6
C _{ss} (mg/L)	576	542

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

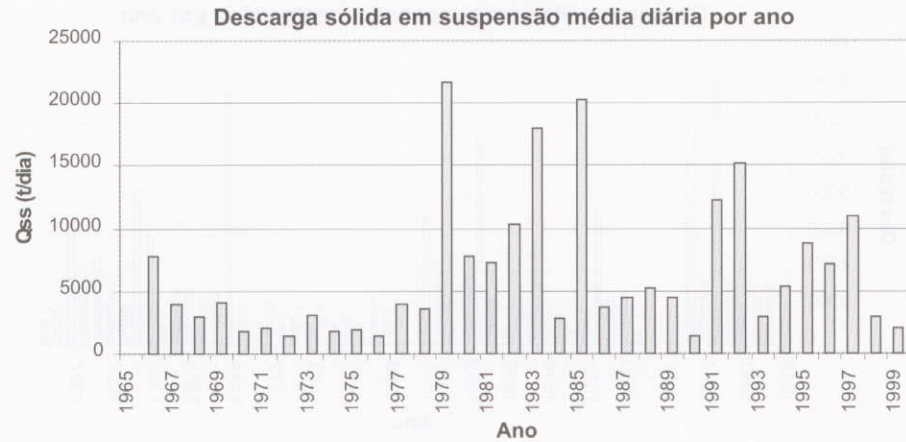


Descarga sólida em suspensão média diária por mês



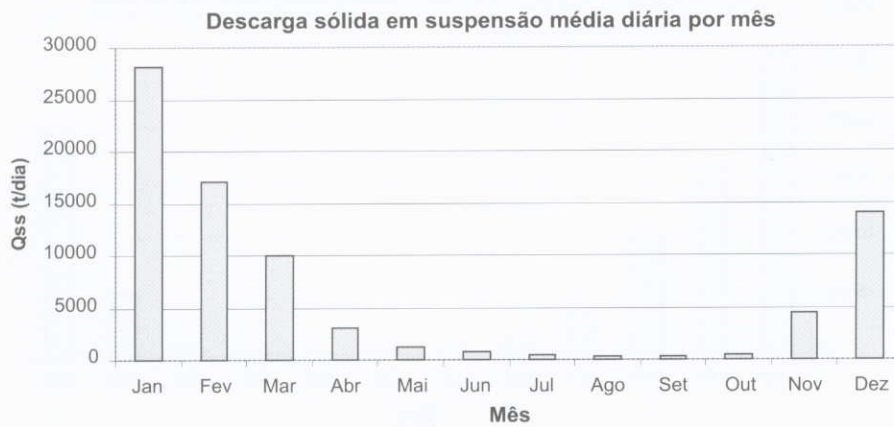
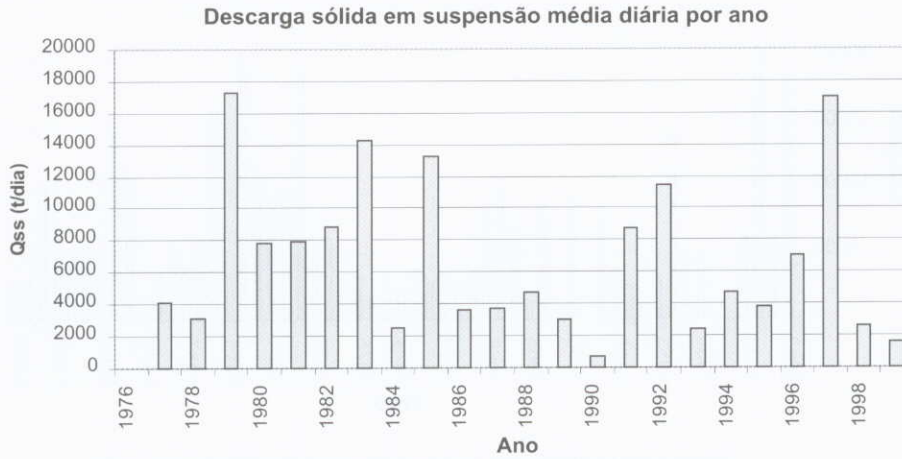
4.13. Estação Jequitibá (cod. 41410000, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	6.331	6.188
Q _{ss} (t/ano)	2.310.795	2.258.783
Área de drenagem (km ²)	6.292	6.292
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	367	359
Q (m ³ /s)	93,9	94,9
C _{ss} (mg/L)	780	755



4.14. Estação Ponte do Licínio - Jusante (cod. 41650002, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	6.690	4.884
Qss (t/ano)	2.442.166	1.782.478
Área de drenagem (km ²)	10.980	10.980
Qss específico (t/km ² .ano)	222	162
Q (m ³ /s)	139,5	126,7
Css (mg/L)	555	446



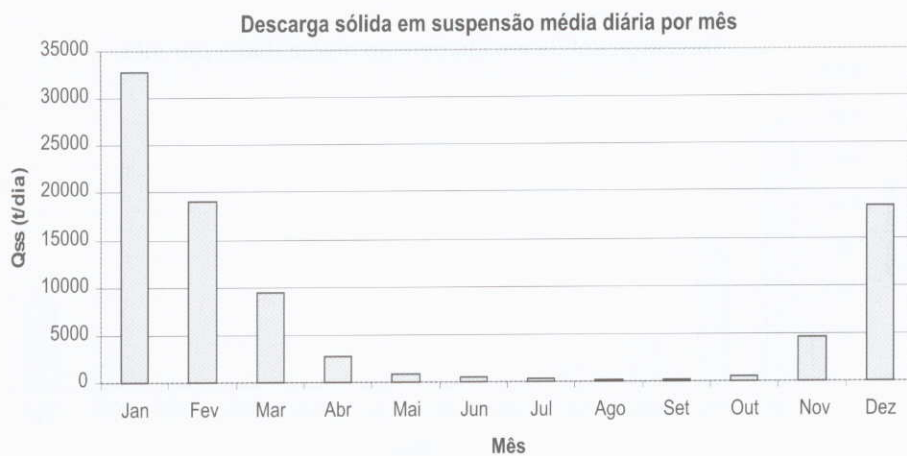
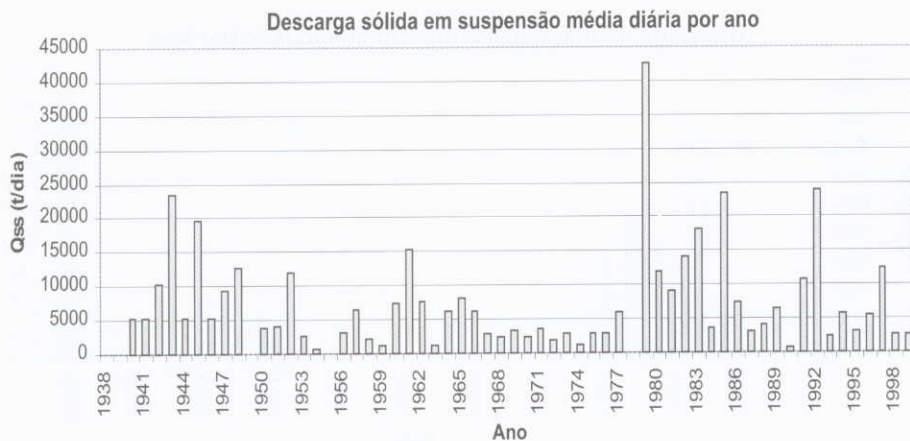
4.15. Estação Santo Hipólito (cod. 41818000, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	7076	5.019
Q _{ss} (t/ano)	2.582.617	1.831.830
Área de drenagem (km ²)	16.528	16.528
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	156	111
Q (m ³ /s)	211,1	194,9
C _{ss} (mg/L)	388	298



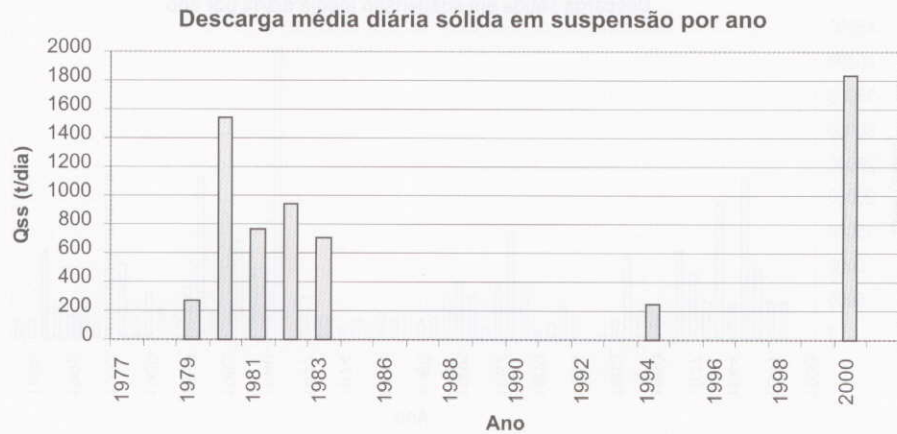
4.16. Estação Várzea da Palma (cod. 41990000, Rio das Velhas)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	7.473	6.518
Q _{ss} (t/ano)	2.727.522	2.379.036
Área de drenagem (km ²)	25.940	25.940
Q _{ss} específico (t/ km ² .ano)	105	92
Q (m ³ /s)	300,9	283,4
C _{ss} (mg/L)	287	266



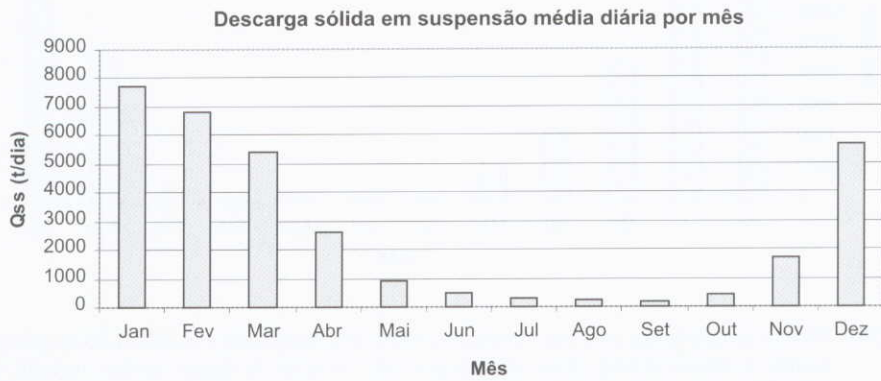
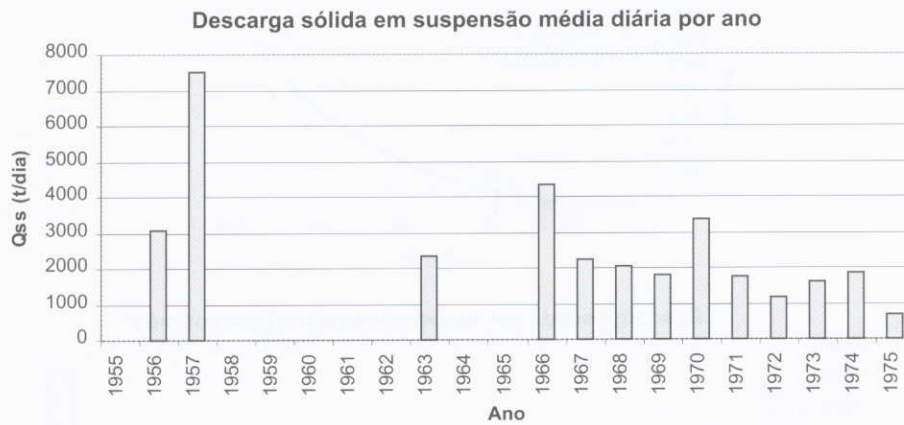
4.17. Estação Umbuarana - Montante (cod. 42145498, Rio Jequitá)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	573	-
Qss (t/ano)	209.003	-
Área de drenagem (km ²)	6.853	-
Qss específico (t/km ² .ano)	31	-
Q (m ³ /s)	44,9	-
Css (mg/L)	148	-



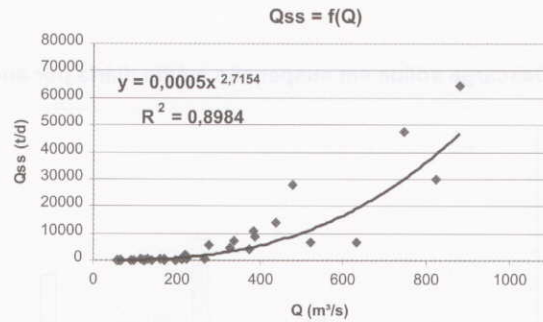
4.18. Estação Santa Rosa (cod. 42395000, Rio Paracatu)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	2.705	-
Q _{ss} (t/ano)	987.232	-
Área de drenagem (km ²)	12.880	-
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	77	-
Q (m ³ /s)	151,2	-
C _{ss} (mg/L)	207	-



4.19. Estação Porto do Cavalo (cod. 42930000, Rio Paracatu)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	6.567	-
Qss (t/ano)	2.396.839	-
Área de drenagem (km ²)	39.640	-
Qss específico (t/km ² .ano)	60	-
Q (m ³ /s)	279	-
Css (mg/L)	273	-

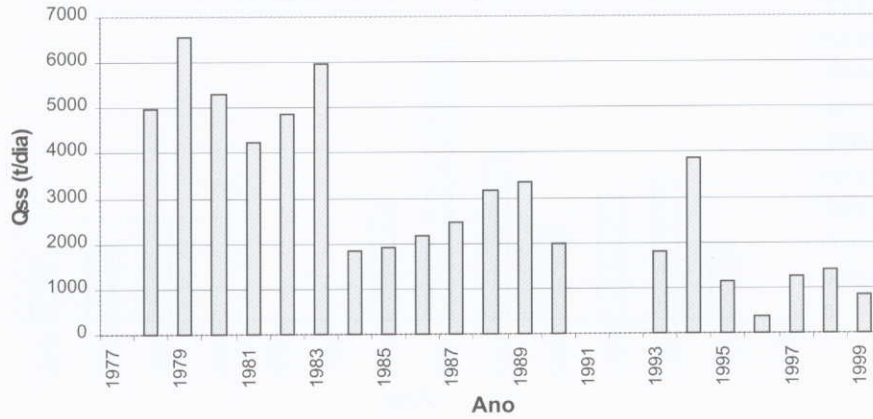


OBS: Mesmo apresentando uma boa correlação entre a descarga sólida e a vazão, não foi possível realizar a devida análise desta estação por falta da série de vazões médias mensais no HIDRO. As descargas sólidas médias mensais foram determinadas a partir da média dos dados medidos nesse local, em cada mês.

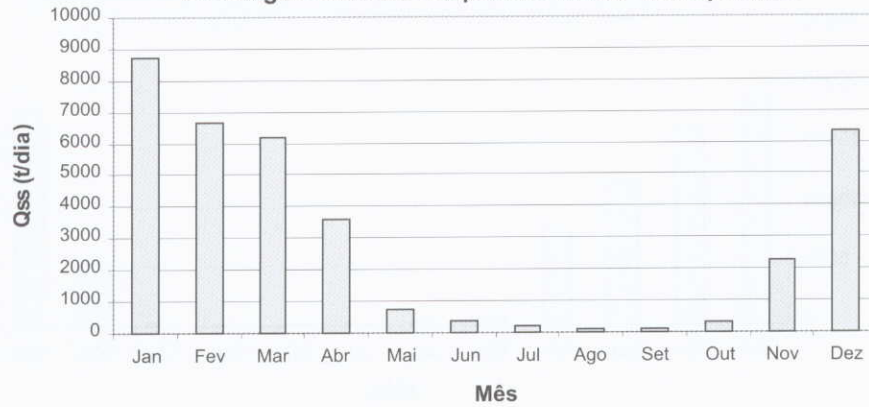
4.20. Estação Arinos - Montante (cod. 43429998, Rio Urucuia)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	2.967	2.082
Qss (t/ano)	1.083.083	759.897
Área de drenagem (km ²)	11.710	11.710
Qss específico (t/km ² .ano)	92	65
Q (m ³ /s)	144,0	122,5
Css (mg/L)	239	197

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

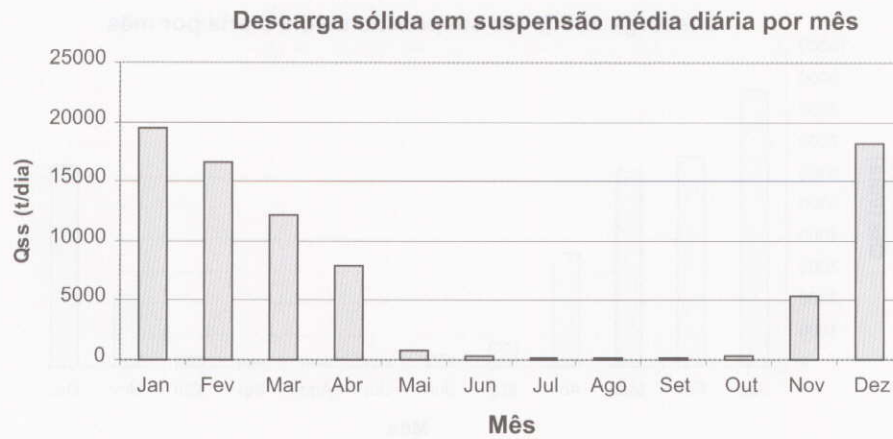


Descarga sólida em suspensão média diária por mês



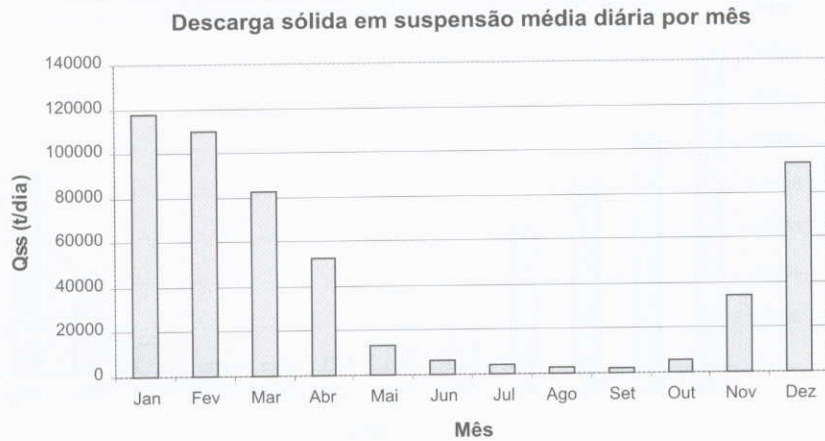
4.21. Estação Barra do Escuro (cod. 43980002, Rio Urucuia)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	6.801	6.801
Qss (t/ano)	2.482.407	2.482.407
Área de drenagem (km ²)	24.700	24.700
Qss específico (t/km ² .ano)	101	101
Q (m ³ /s)	243,2	243,2
Css (mg/L)	324	324



4.2.2. Estação São Francisco (cod. 44200000, Rio São Francisco)

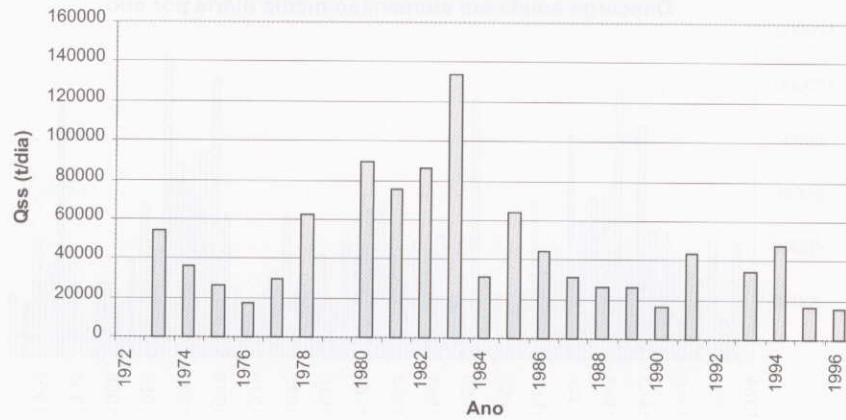
Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	43.929	33.619
Q _{ss} (t/ano)	16.034.176	12.270.855
Área de drenagem (km ²)	182.537	182.537
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	88	67
Q (m ³ /s)	2068,4	1.847,3
C _{ss} (mg/L)	246	211



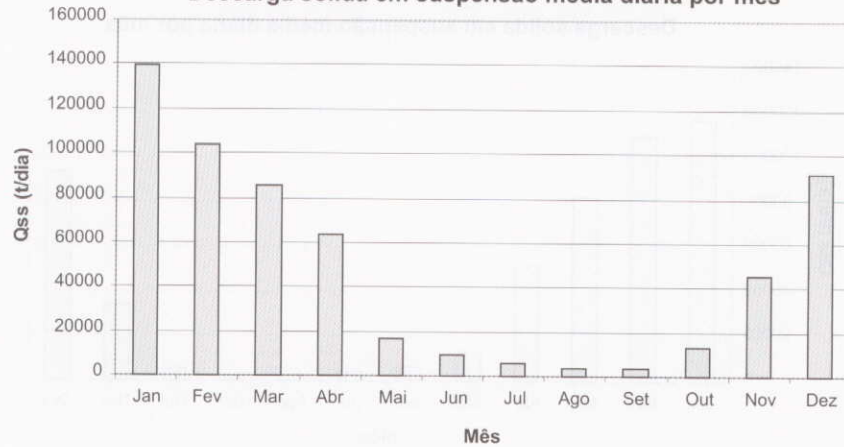
4.23. Estação Pedras de Maria da Cruz (cod. 44290002, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	48.723	31.947
Q _{ss} (t/ano)	17.783.937	11.660.778
Área de drenagem (km ²)	191.063	61
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	93	91
Q (m ³ /s)	2.123,9	1.827,6
C _{ss} (mg/L)	266	202

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



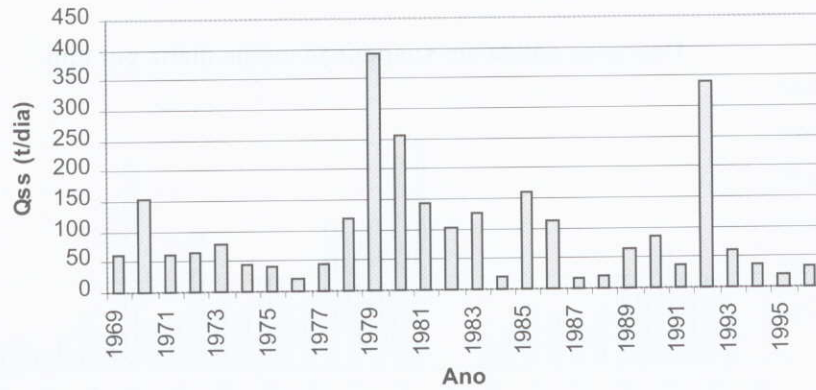
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



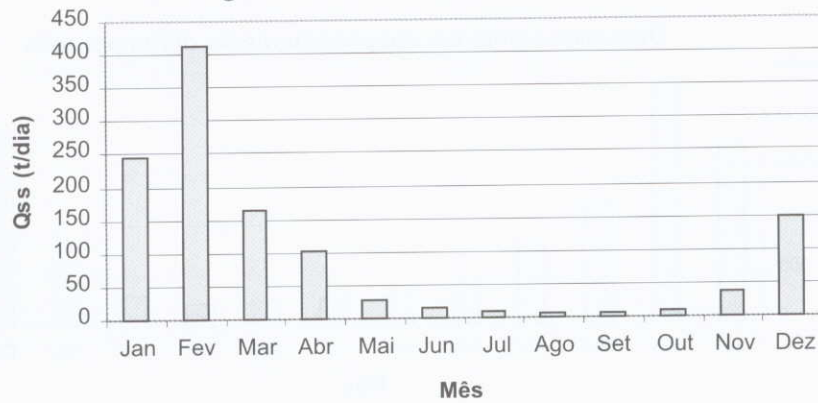
4.24. Estação Boca da Caatinga (cod. 44950000, Rio Verde Grande)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	99	77
Qss (t/ano)	36.185	28.257
Área de drenagem (km ²)	30.474	30.474
Qss específico (t/km ² .ano)	1,2	0,9
Q (m ³ /s)	31,0	23,8
Css (mg/L)	37	38

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



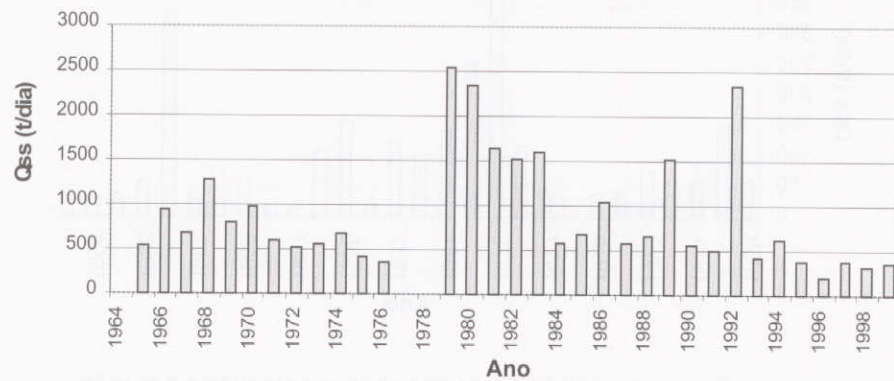
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



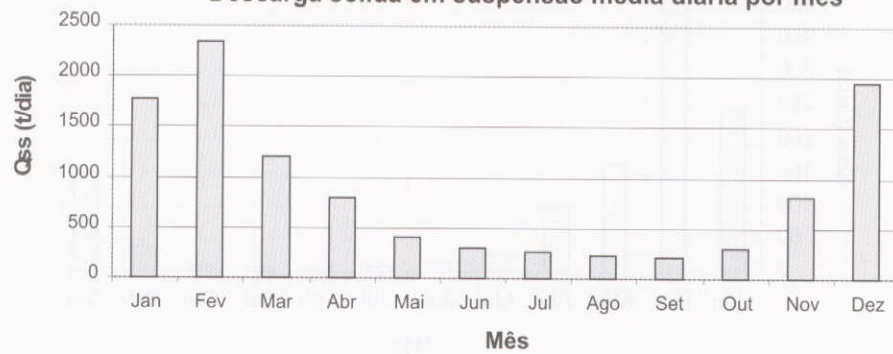
4.25. Estação Juvenil (cod. 45260000, Rio Carinhanha)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	883	707
Qss (t/ano)	322.211	257.882
Área de drenagem (km ²)	15.600	15.600
Qss específico (t/km ² .ano)	21	17
Q (m ³ /s)	153,3	140,4
Css (mg/L)	67	58

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



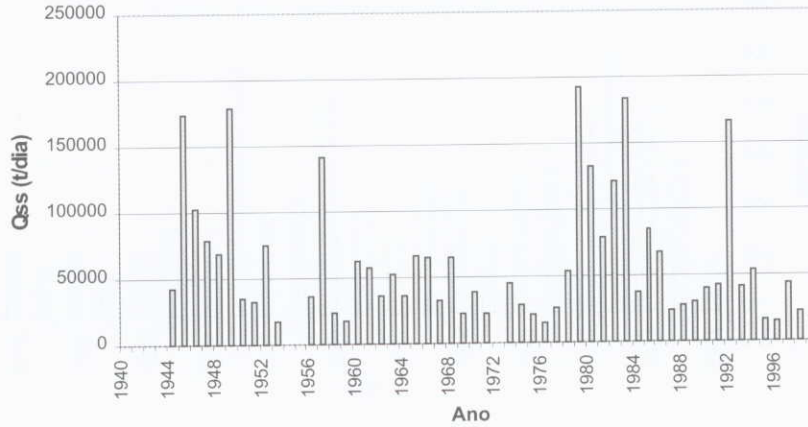
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



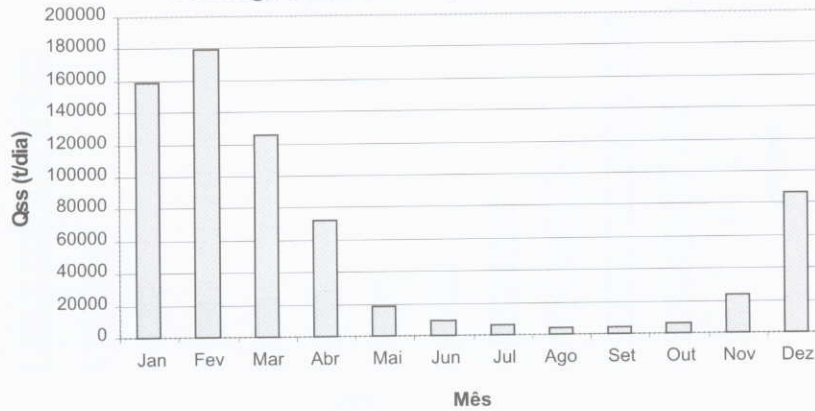
4.26. Estação Bom Jesus da Lapa (cod. 45480000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	58.005	43.418
Qss (t/ano)	21.171.963	15.847.402
Área de drenagem (km ²)	273.750	273.750
Qss específico (t/km ² .ano)	77	58
Q (m ³ /s)	2.176,4	2009,8
Css (mg/L)	308	250

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



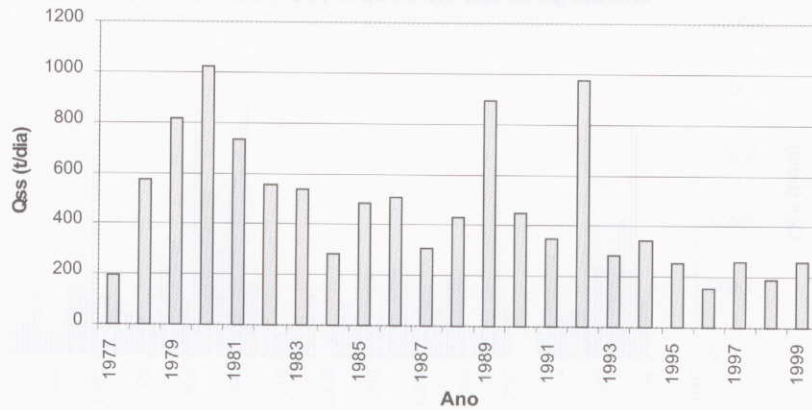
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



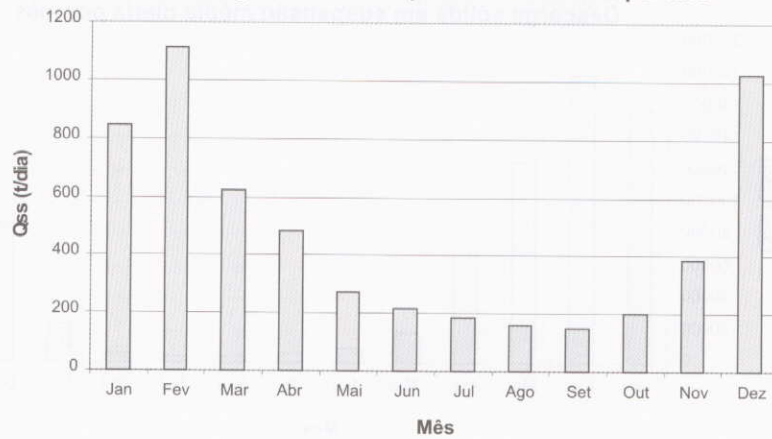
4.2.7. Estação Santa Maria da Vitória (cod. 45910001, Rio Corrente)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	472	404
Qss (t/ano)	172.302	147.327
Área de drenagem (km ²)	29.640	29.640
Qss específico (t/km ² .ano)	5,8	5,0
Q (m ³ /s)	221,4	209,4
Css (mg/L)	25	22

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



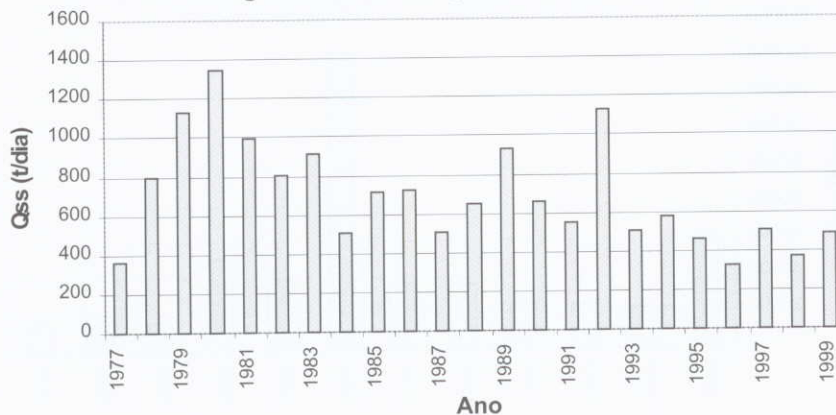
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



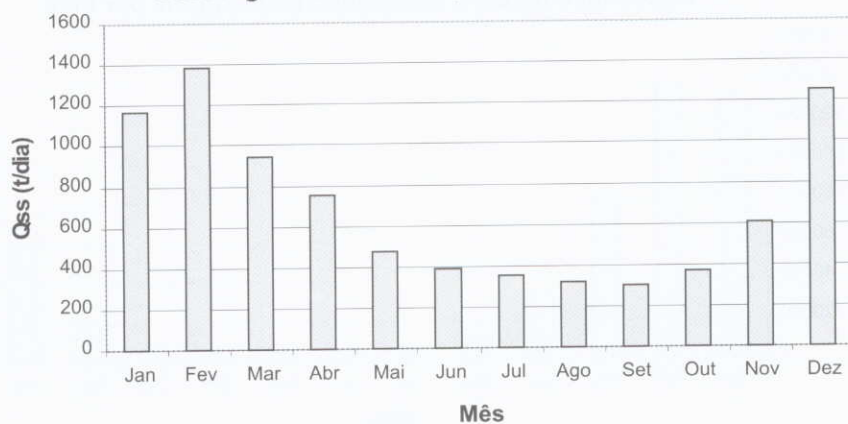
4.28. Estação Porto Novo (cod. 45960001, Rio Corrente)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	693	598
Q _{ss} (t/ano)	253.026	218.385
Área de drenagem (km ²)	31.156	31.156
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	8,1	7,0
Q (m ³ /s)	224,6	211,9
C _{ss} (mg/L)	36	33

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



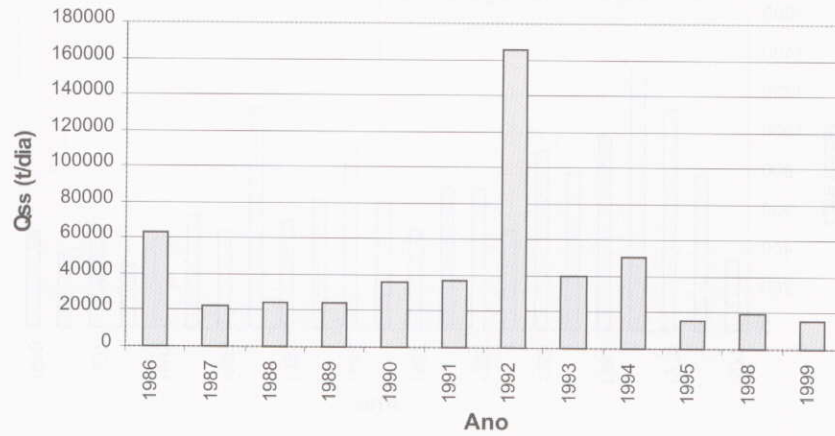
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



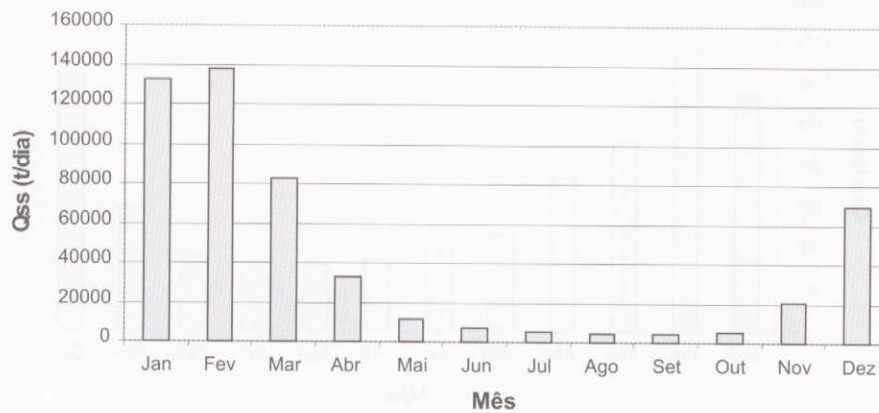
4.29. Estação Gameleira (cod. 46035000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	42.783	42.783
Qss (t/ano)	15.615.774	15.615.774
Área de drenagem (km ²)	311.232	311.232
Qss específico (t/km ² .ano)	50	50
Q (m ³ /s)	2.236	2.236
Css (mg/L)	221	221

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



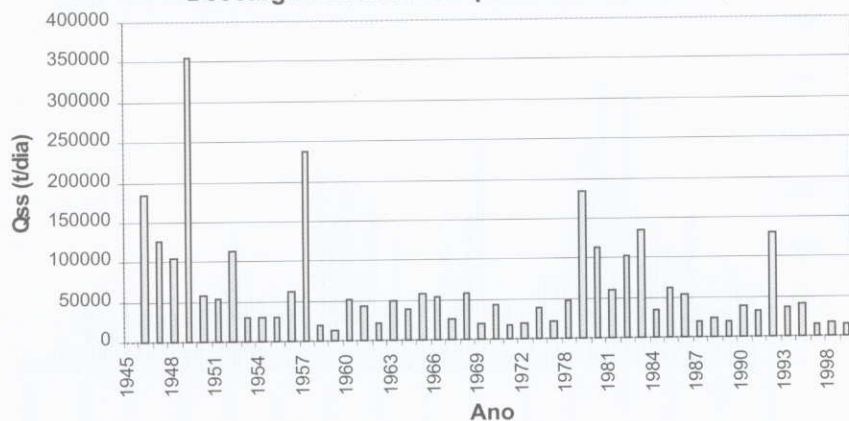
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



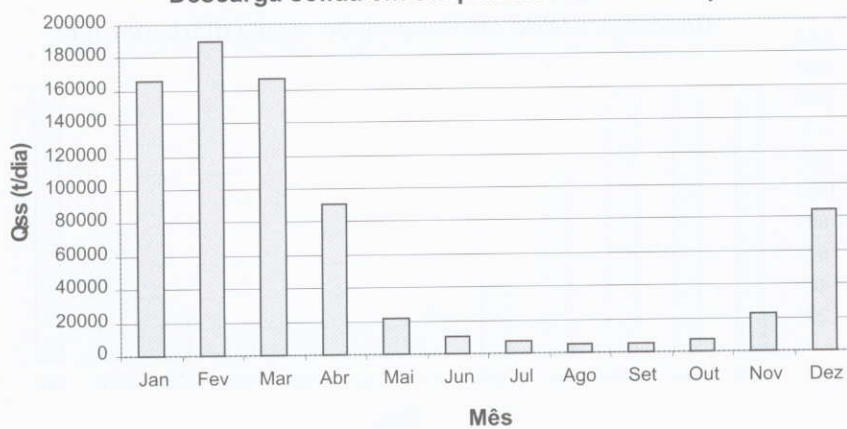
4.30. Estação Morpará (cod. 46360000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	64.808	36.692
Qss (t/ano)	23.654.999	13.392.568
Área de drenagem (km ²)	348.074	348.074
Qss específico (t/km ² .ano)	68	39
Q (m ³ /s)	2.686	2.244
Css (mg/L)	279	189

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

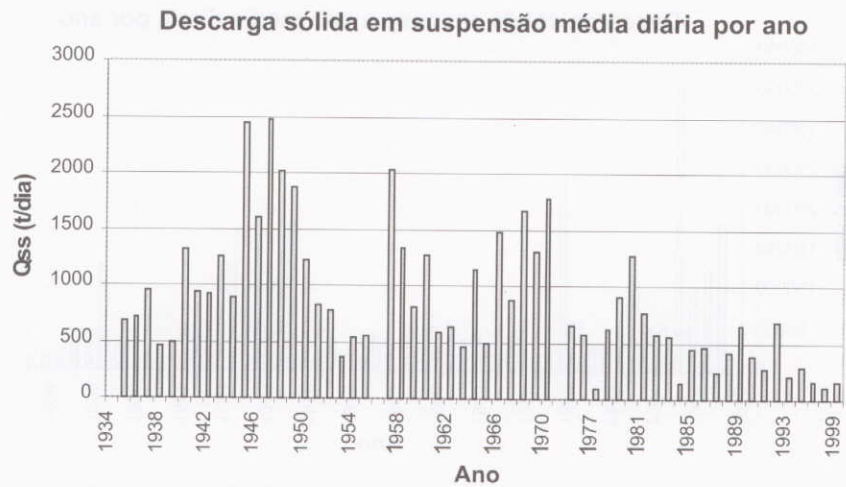


Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.31. Estação Barreiras (cod. 46550000, Rio Grande)

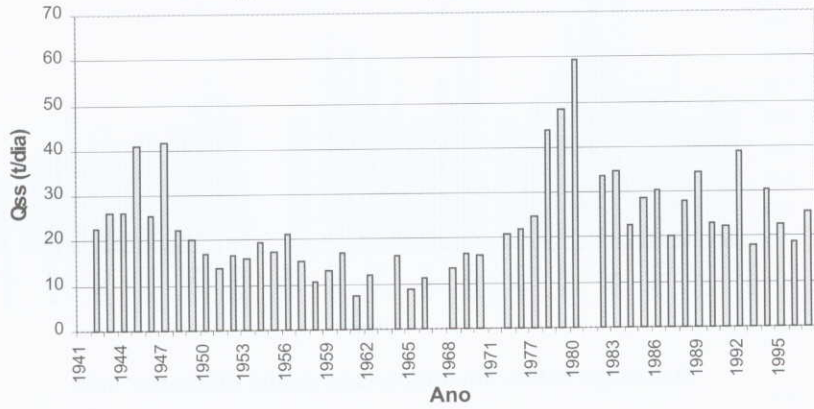
Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	860	335
Qss (t/ano)	313.881	122.153
Área de drenagem (km ²)	18.560	18.560
Qss específico (t/km ² .ano)	16,9	6,6
Q (m ³ /s)	111	89
Css (mg/L)	90	44



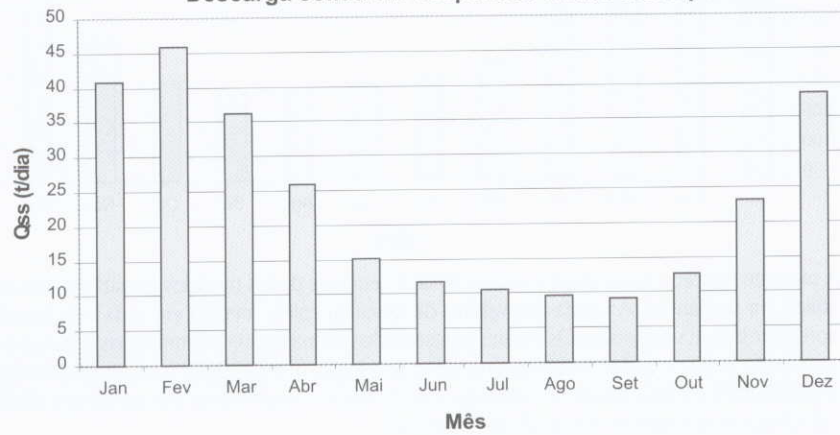
4.32. Estação Formosa do Rio Preto (cod. 46790000, Rio Preto)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	23	26
Q _{ss} (t/ano)	8.510	9.480
Área de drenagem (km ²)	14.210	14.210
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	0,6	0,7
Q (m ³ /s)	94	98
C _{ss} (mg/L)	2,9	3,1

Descarga sólida em suspensão média diária por ano

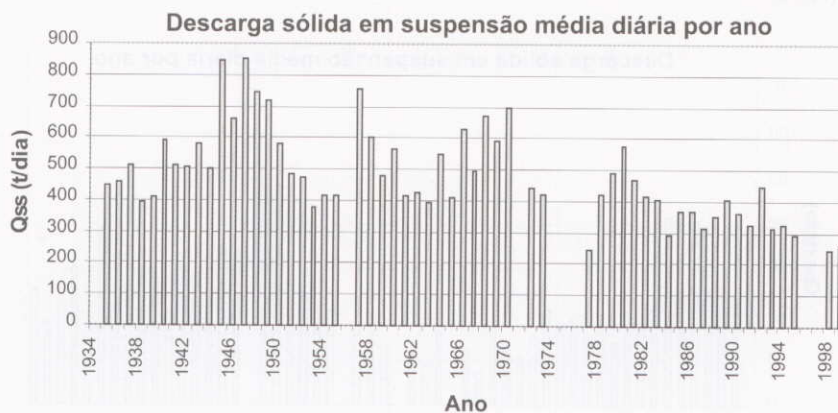


Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.33. Estação Boqueirão (cod. 46902000, Rio Grande)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	478	335
Q _{ss} (t/ano)	174.528	122.153
Área de drenagem (km ²)	68.540	68.540
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	2,6	1,8
Q (m ³ /s)	273	283
C _{ss} (mg/L)	20	14

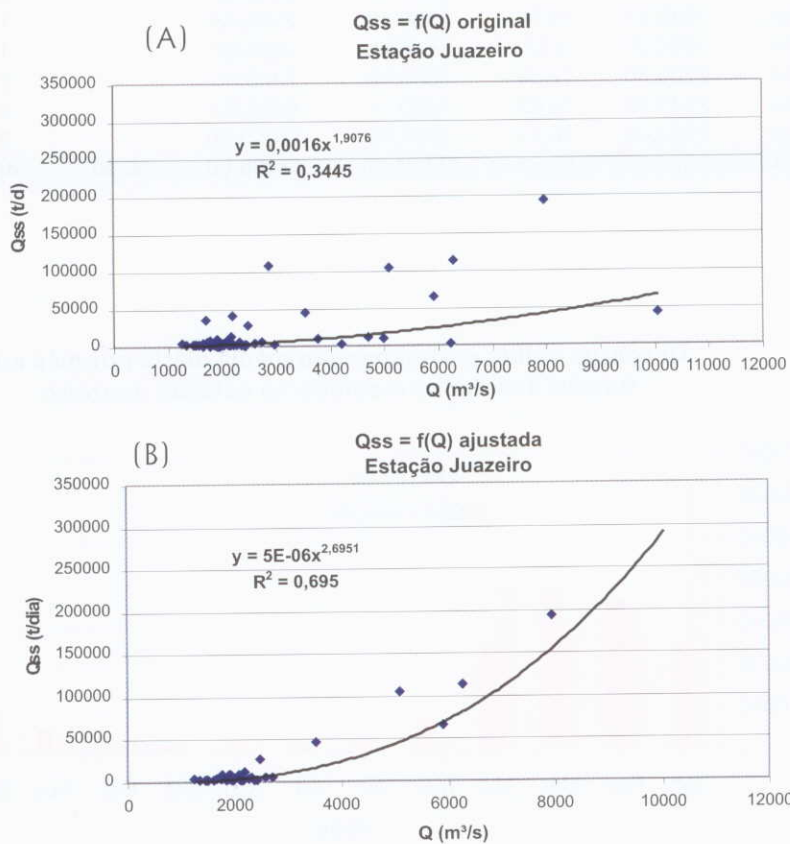


OBS: A presente estação não apresentou boa correlação entre os dados medidos de vazão e descarga sólida em suspensão. A média dos valores de descarga sólida medida em cada mês também apresentou muita dispersão. Os valores apresentados acima foram determinados com base na correlação entre os dados medidos na estação Boqueirão (46902000) e na estação Barreiras (46550000), por isso, devem ser utilizados com ressalvas. Cabe ressaltar que os valores médios calculados aproximam-se da média das medições.

4.34.a. Estação Juazeiro (cod. 48020000, Rio São Francisco)

A estação Juazeiro está imediatamente a jusante do reservatório da UHE Sobradinho, o que dificulta a sua análise. Portanto, serão apresentados a seguir os gráficos efetuados para explicar e exemplificar o procedimento adotado neste trabalho para casos como esse.

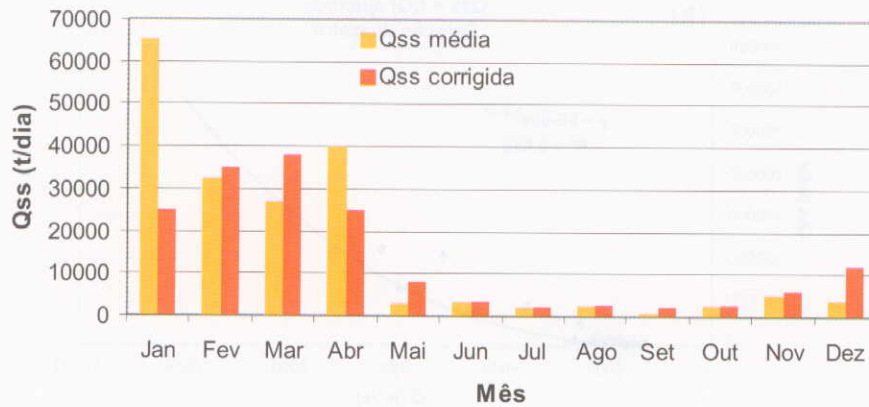
Os dois gráficos abaixo demonstram a dificuldade na determinação da correlação entre a vazão e o fluxo de material sólido em suspensão nessa estação. O gráfico A apresenta todas as medições da estação e o gráfico B, a proposta utilizada para a análise. Cabe ressaltar que não foi possível dividir a curva-chave, nem em períodos, nem em limites de vazão.



A tabela a seguir e sua respectiva apresentação gráfica representam a análise da média dos dados medidos em cada mês do ano, onde "n" é o número de dados utilizados em cada mês. Após a determinação da Qss média, por observação do gráfico abaixo e do comportamento médio das vazões na estação, obteve-se Qss corrigido.

	Q média	C média	Qss média	Qss corrig.	C	n
Jan	5921,00	127,75	65353,63	25000,00	-	1
Fev	3852,09	83,56	32471,13	35000,00	-	11
Mar	2723,00	99,44	26791,29	38000,00	-	2
Abr	3414,33	84,11	40058,43	25000,00	-	3
Mai	1688,80	20,78	2917,33	8000,00	-	5
Jun	1889,50	20,17	3285,28	3285,28	-	2
Jul	1880,67	13,15	2147,15	2147,15	-	3
Ago	1816,43	14,96	2350,48	2350,48	-	7
Set	1960,00	5,37	909,38	2000,00	-	1
Out	2209,50	12,56	2365,86	2365,86	-	2
Nov	2341,00	24,69	4880,94	6000,00	-	6
Dez	2352,00	18,21	3691,89	12000,00	-	2
ANO	2670,69	67,61	15601,90	13429,06	58,20	45

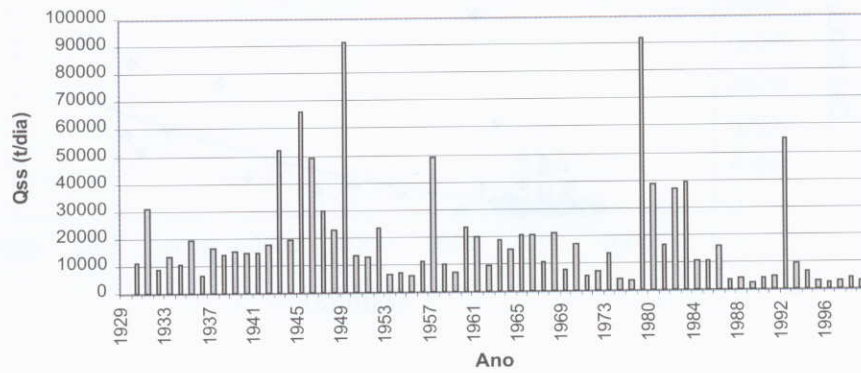
Descarga sólida em suspensão média diária por mês em função dos dados medidos na estação Juazeiro



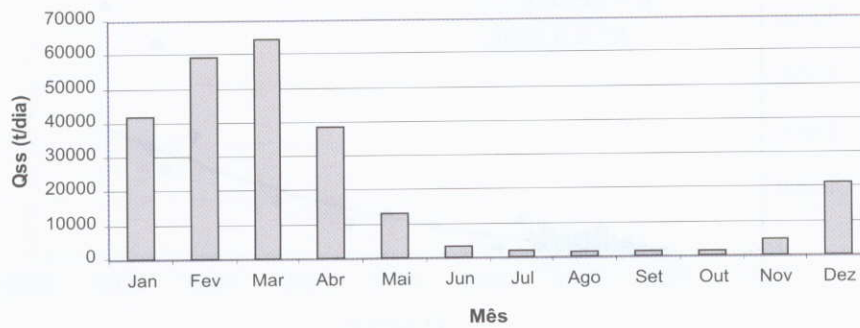
4.34.b. Estação Juazeiro (cod. 48020000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	21.067	8.607
Q _{ss} (t/ano)	7.689.573	3.141.642
Área de drenagem (km ²)	510.800	510.800
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	15,1	6,2
Q (m ³ /s)	2.654	2.140
C _{ss} (mg/L)	92	47

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



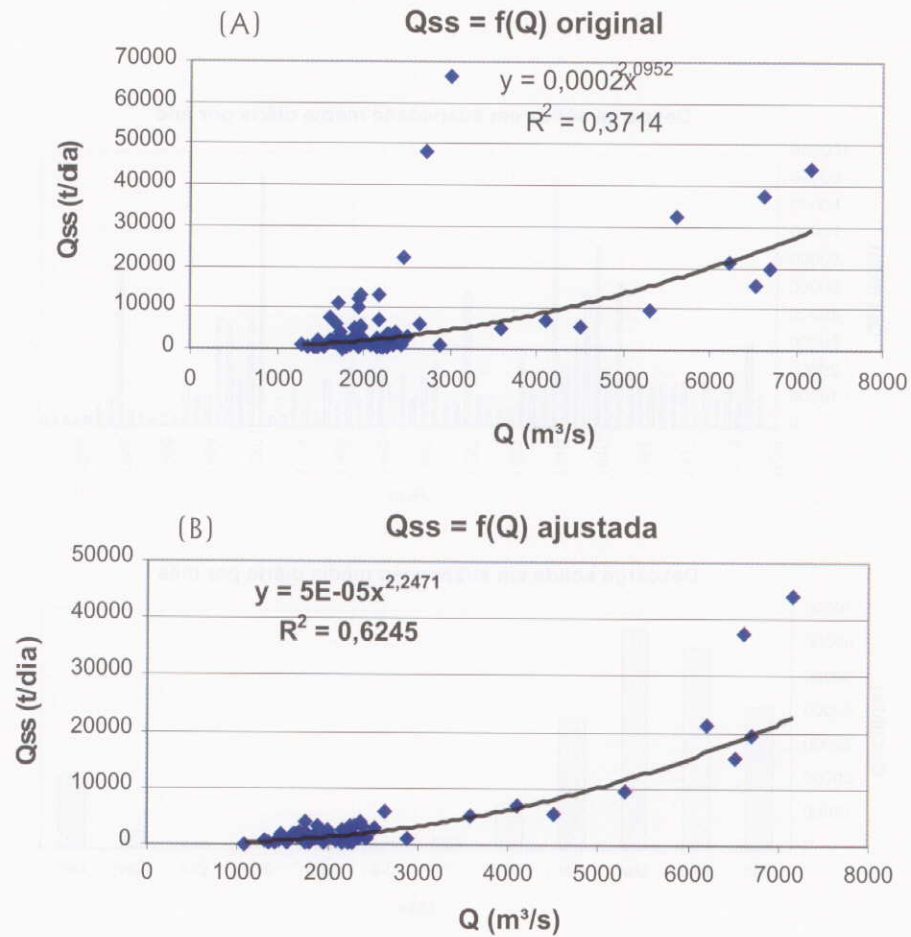
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.35.a. Estação Ibó (cod. 48590000, Rio São Francisco)

A estação Ibó também apresentou dificuldades em sua análise. Portanto, serão apresentados a seguir os gráficos efetuados para explicar o procedimento adotado nessa estação.

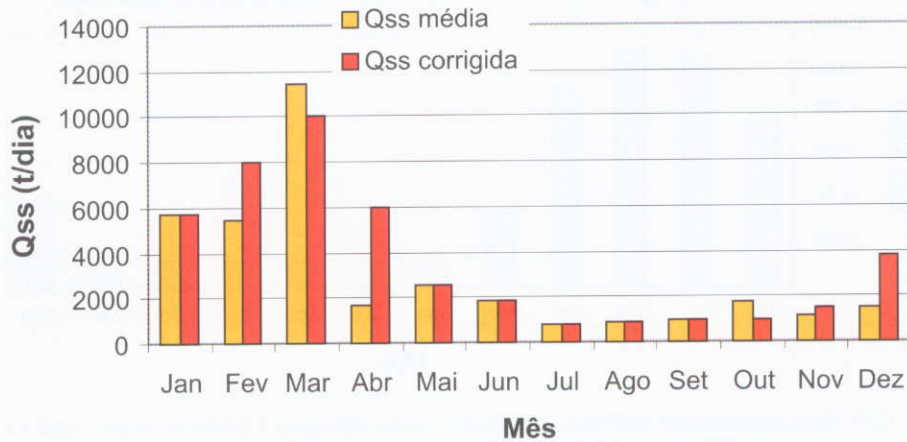
O gráfico A apresenta todas as medições da estação, e o gráfico B, a proposta utilizada para a análise. Cabe ressaltar que não foi possível dividir a curva-chave em períodos e em limites de vazão.



A tabela a seguir e sua respectiva apresentação gráfica representam a análise da média dos dados medidos em cada mês do ano, onde "n" é o número de dados utilizados em cada mês. Após a determinação da Q_{ss} média, por observação do gráfico abaixo e do comportamento médio das vazões na estação, obteve-se Q_{ss} corrigido.

	Q	C	Q_{ss}	Q_{ss} corrig.	C corrig.	n
Jan	4528,50	14,52	5681,13	5681,13	-	1
Fev	3061,02	20,63	5456,06	8000,00	-	5
Mar	4540,44	29,20	11455,77	10000,00	-	5
Abr	2034,84	9,32	1638,99	6000,00	-	8
Mai	2092,20	14,03	2536,15	2536,15	-	5
Jun	1909,67	11,07	1827,05	1827,05	-	3
Jul	1757,00	5,09	772,69	772,69	-	3
Ago	1996,68	5,27	908,28	908,28	-	4
Set	1894,33	5,79	947,11	947,11	-	6
Out	2098,64	9,81	1779,55	1000,00	-	7
Nov	1760,88	7,58	1153,83	1500,00	-	5
Dez	2368,78	7,48	1531,56	3800,00	-	6
ANO	2503,58	11,65	2520,03	3581,03	16,56	58

Descarga sólida em suspensão média diária por mês em função dos dados medidos na estação IBÓ



4.35.b. Estação Ibó (cod. 48590000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	4.654	2.621
Q _{ss} (t/ano)	1.698.678	956.533
Área de drenagem (km ²)	568.600	510.800
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	3,0	1,7
Q (m ³ /s)	2.549	2.154
C _{ss} (mg/L)	21	14

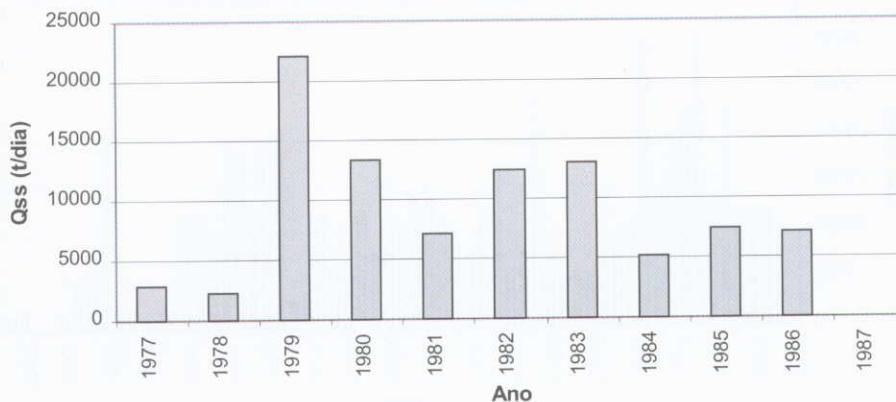


OBS: Para a obtenção dos resultados apresentados acima, utilizou-se a correlação entre a vazão e a descarga sólida em suspensão corrigida.

4.36. Estação Petrolândia (cod. 49030000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Q _{ss} (t/dia)	7.841	-
Q _{ss} (t/ano)	2.862.071	-
Área de drenagem (km ²)	58.700	-
Q _{ss} específico (t/km ² .ano)	4,9	-
Q (m ³ /s)	2.968	-
C _{ss} (mg/L)	31	-

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



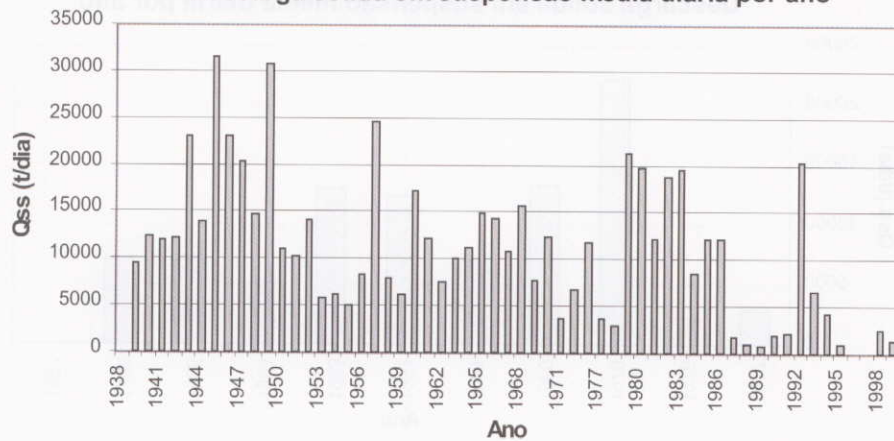
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.37. Estação Traipu (cod. 49660000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	11.301	4.647
Qss (t/ano)	4.125.001	1.696.237
Área de drenagem (km ²)	62.260	622.600
Qss específico (t/km ² .ano)	6,6	2,7
Q (m ³ /s)	2.825	2.105
Css (mg/L)	46	26

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



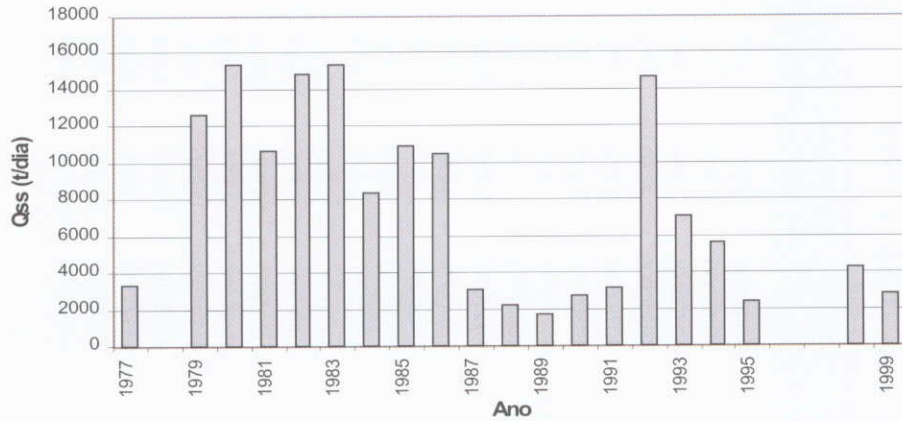
Descarga sólida em suspensão média diária por mês



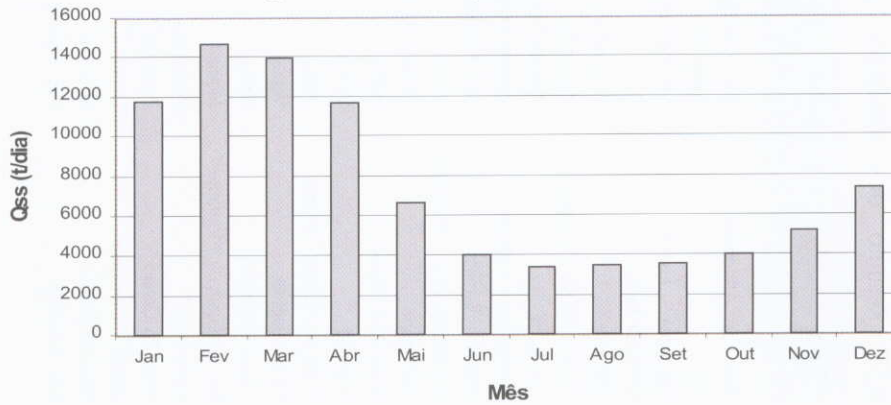
4.38. Estação Propriá (cod. 497050000, Rio São Francisco)

Parâmetro	MLT	1986 - 1999
Qss (t/dia)	7.472	5.022
Qss (t/ano)	2.727.170	1.833.197
Área de drenagem (km ²)	623.500	623.500
Qss específico (t/km ² .ano)	4,4	2,9
Q (m ³ /s)	2.528	2.120
Css (mg/L)	34	27

Descarga sólida em suspensão média diária por ano



Descarga sólida em suspensão média diária por mês



4.39. Resumo dos resultados obtidos entre 1986 e 1999.

Estação	Rio	Código	Á.Dren. (km ²)	Q (m ³ /s)	Qss (t/dia)	Qss esp. (t/km ² .ano)	Css (mg/L)
Porto das Andorinhas	São Francisco	40100000	13.087	217,7	4.767	133	253
Pari	Itapecerica	40185000	1.849	23,2	227	45	113
Jaguaruna - Jusante	São João ou Cornélio	40300001	1.543	19,7	39	9	23
Velho da Taipa	Pará	40330000	7.350	99,2	649	32	76
Belo Vale	Paraopeba	40710000	2.690	478	4.517	613	1.094
Ponte nova do Paraopeba	Paraopeba	40800001	5.680	82,6	4.510	290	632
Cândidos	Ribeirão Serra Azul/Freitas	40817000	265	3,3	26	35	90
Mateus Leme - Aldeia	Ribeirão Mateus Leme	40822995	89	1,5	21	86	166
Pirapora - Barreiro *	São Francisco	41135000	61.880	860,0	7.626	45	103
Honório Bicalho - Montante	Velhas	41199998	1.642	29,4	1.215	270	479
Vespasiano	Ribeirão da Mata	41250000	676	8,0	213	115	307
Ponte Raul Soares	Velhas	41340000	4.780	77,6	3.632	277	542
Jequitibá	Velhas	41410000	6.292	94,9	6.188	359	755
Ponte do Licínio - Jusante	Velhas	41650002	10.980	126,7	4.884	162	446
Santo Hipólito	Velhas	41818000	16.528	194,9	5.019	111	298
Várzea da Palma	Velhas	41990000	25.940	283,4	6.518	92	266
Faz. Umburana - Montante *	Jequitaiá	42145498	6.853	44,9	573	31	148
Santa Rosa *	Paracatu	42395000	12.880	151,2	2.705	77	207
Porto do Cavalo *	Paracatu	42930000	39.640	278,8	6.567	60	273
Arinos - Montante	Urucuia	43429998	11.710	122,5	2.082	65	197
Barra do Escuro	Urucuia	43980002	24.700	243,2	6.801	101	324
São Francisco	São Francisco	44200000	182.537	1.847,3	33.619	67	211

Continua ...

4.39. Continuação.

Estação	Rio	Código	Á.Dren. (km ²)	Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)	Q _{ss} esp. (t/km ² .ano)	C _{ss} (mg/L)
Pedras de Santa Maria da Cruz	São Francisco	44290002	191.063	1.827,6	31.947	61	202
Boca da Caatinga	Verde Grande	44950000	30.474	23,8	77	1	38
Juvenília	Carinhanha	45260000	15.600	140,4	707	17	58
Bom Jesus da Lapa	São Francisco	45480000	273.750	2.009,8	43.418	58	250
Santa Maria da Vitória	Corrente	45910001	29.640	209,4	404	5	22
Porto Novo	Corrente	45960001	31.156	211,9	598	7	33
Gameleira	São Francisco	46035000	311.232	2.236,0	42.783	50	221
Morpará	São Francisco	46360000	348.074	2.243,8	36.692	38	189
Barreiras	Rio Grande	46550000	18.560	88,9	335	7	44
Formosa do Rio Preto	Preto	46790000	14.210	97,8	26	1	3
Boqueirão	Rio Grande	46902000	68.540	283,5	335	2	14
Juazeiro	São Francisco	48020000	510.800	2.140,6	8.607	6	47
Ibó	São Francisco	48590000	568.600	2.154,4	2.621	2	14
Petrolândia *	São Francisco	49030000	586.700	2.967,8	7.841	5	31
Traipu	São Francisco	49660000	622.600	2.104,8	4.647	3	26
Propriá	São Francisco	49705000	623.500	2.119,5	5.022	3	27

* dados obtidos da média de longo termo (mlt) por impossibilidade de análise no período de 1986 a 1999.

4.40. Visualização esquemática das estações da Bacia do São Francisco utilizadas no estudo.



4.41. Visualização esquemática das vazões médias calculadas para cada estação no período de 1986 a 1999 (m³/s).

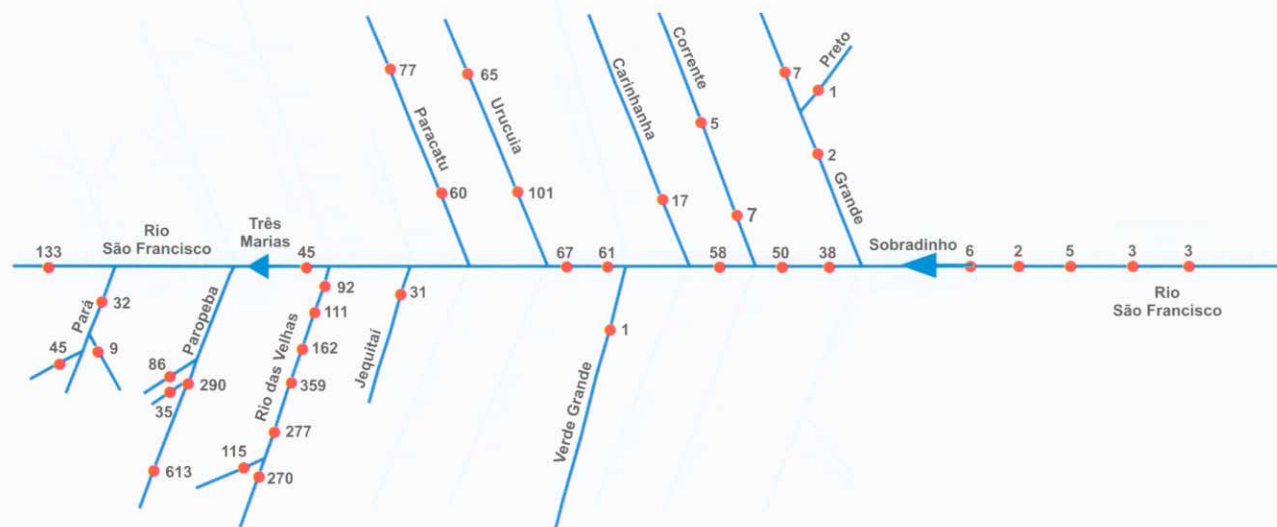


OBS: O dado da estação Petrolândia está superestimado em função da utilização de dados de períodos não coincidentes aos das demais. Por esse motivo, ele foi descartado do estudo comparativo entre as estações da bacia.

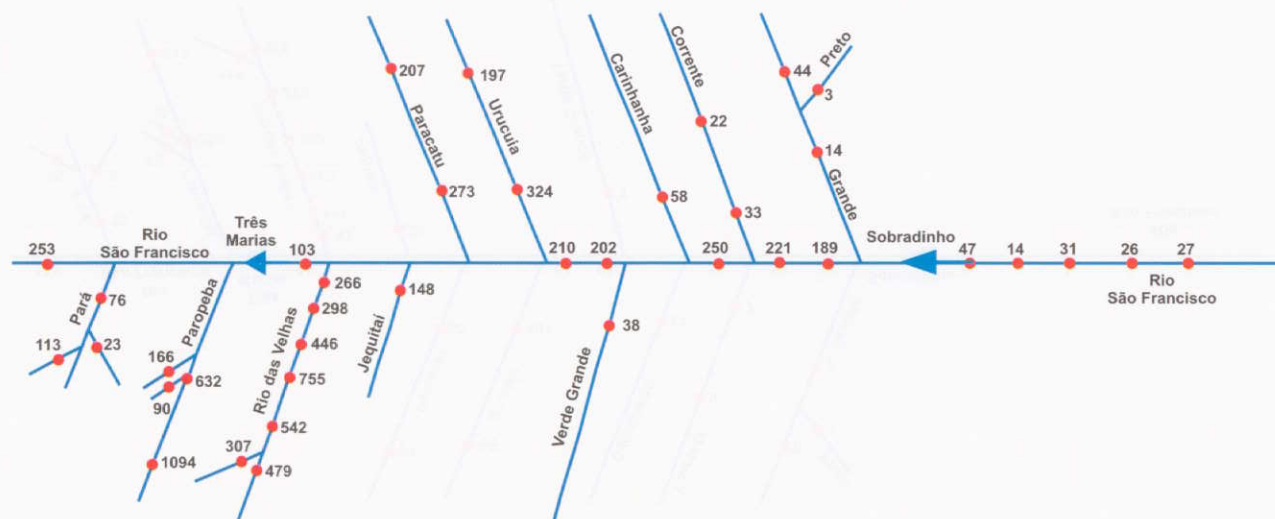
4.42. Visualização esquemática da descarga sólida em suspensão média de cada estação no período de 1986 a 1999 (t/dia).



4.43. Visualização esquemática da descarga sólida em suspensão específica de cada estação no período de 1986 a 1999 (t/km².ano).



4.44. Visualização esquemática da concentração de sólidos em suspensão média de cada estação no período de 1986 a 1999 (mg/L).



4.45. Análise detalhada dos resultados obtidos.

4.45.1. Rio Pará (sub-bacia 40)

- Quanto aos dados de vazão, somando-se os dados do Rio Itapecerica em Pari (40185000) e do Rio São João (Cornélio) em Jaguaruna – Jusante (40300001), pode-se observar que esses dois afluentes são responsáveis pelo incremento de aproximadamente 50 m³/s no Rio Pará, ou seja, metade da vazão média, medida na estação Velho da Taipa (40330000).
- Quanto aos dados sedimentológicos, pode-se observar que o Rio Itapecerica é o principal contribuinte para o fluxo total de sólidos em suspensão na sub-bacia. Em relação à descarga sólida, em suspensão efluente da Bacia do Rio Pará, cerca de 650 t/dia, o Rio Itapecerica é responsável por 230 t/dia (35%) e o Rio São João por 40 t/dia (6%). Com os dados existentes, não foi possível identificar zonas potenciais de deposição de sedimentos na sub-bacia.
- Segundo a classificação apresentada na Tabela 5, a produção específica de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Pará é muito baixa (32 t/km².ano), variando de 10 t/km².ano no Rio São João a 45 t/km².ano no Itapecerica.
- Considerando a classificação apresentada na Tabela 6 quanto à concentração de sólidos em suspensão na Bacia do Rio Pará, observa-se que o Rio Itapecerica, que tem os maiores valores, apresentou uma concentração moderada (113 mg/L), o São João, muito baixa (23 mg/L) e o Rio Pará, baixa (76 mg/L).

4.45.2. Rio Paraopeba (sub-bacia 40)

- Esta bacia conta com 2 estações sedimentométricas no Rio Paraopeba, a Belo Vale (40710000) e a Ponte Nova do Paraopeba (40800001). Além dessas, ainda possui uma estação no Ribeirão Serra Azul em Cândidos (40817000) e uma no Ribeirão Mateus Leme, a Mateus Leme – Aldeia (40822995).
- Quanto aos dados de vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal. Os dois ribeirões afluentes onde existem estações sedimentométricas pouco influenciam na vazão total efluente da bacia. Entretanto, somando-se os dados dos Ribeirões Serra Azul (3,3 m³/s) e Mateus Leme (1,5 m³/s) à vazão média do Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba (83 m³/s), obtém-se uma produção hídrica de aproximadamente 90 m³/s no Rio Paraopeba. Todavia, pode-se observar no mapa de localização das estações na bacia, que a estação Ponte nova do Paraopeba, que está mais a jusante no curso principal, ainda encontra-se muito distante da foz, indicando que a contribuição dessa sub-bacia para o Rio São Francisco é maior que os 90 m³/s apresentados nessa análise.
- Quanto aos dados sedimentológicos, a contribuição dos afluentes Ribeirão Serra Azul (26 t/dia) e Ribeirão Mateus Leme (21 t/dia) para o fluxo total de sedimentos em suspensão no Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba (4.500 t/dia) é desprezível. A comparação entre o fluxo de sedimentos em suspensão médio em Belo Vale (4.522 t/dia) e em Ponte Nova do Paraopeba (4.510 t/dia) indica que o trecho compreendido entre as mesmas tem potencial para deposição de sedimentos. Isso se deve ao fato de que mesmo com o aumento da área de drenagem, ou seja, da área de produção de sedimentos, entre Belo Vale e Ponte Nova do Paraopeba, não houve aumento do fluxo, indicando que todo o sedimento produzido nesse trecho ficou depositado nele.

- Segundo a classificação apresentada na Tabela 5, a produção específica de sedimentos em suspensão no Ribeirão Serra Azul é baixa (35 t/km².ano), no Ribeirão Mateus Leme é moderada (86 t/km².ano) e, ao longo do Rio Paraopeba, a descarga sólida em suspensão específica passa de muito alta na região mais a montante da bacia (613 t/km².ano), a alta, à medida que se aproxima de sua foz (290 t/km².ano em Ponte Nova do Paraopeba).
- Quanto à concentração de sólidos em suspensão na Bacia do Rio Paraopeba, observa-se que os valores variam abruptamente entre as estações analisadas. No Rio Paraopeba, estação Belo Vale, observou-se a maior concentração de sedimentos de toda a Bacia do Rio São Francisco, com 1.094 mg/L. Assim, a região de cabeceira do Rio Paraopeba é classificada como sendo de concentração de sedimentos em suspensão muito alta. Já em Ponte Nova do Paraopeba, há uma diluição da concentração de sedimentos, apresentando valor de 632 mg/L, também classificado como muito alta, porém, é muito inferior à de Belo Vale. No Ribeirão Mateus Leme, a concentração é de moderada para alta (166 mg/L) e no Ribeirão Serra Azul, de baixa para moderada (90 mg/L).

4.45.3. Rio das Velhas (sub-bacia 41)

- Esta bacia conta com 7 estações sedimentométricas que puderam ser analisadas, são elas: Honório Bicalho – Montante (41199998), Ponte Raul Soares (41340000), Jequitibá (41410000), Ponte do Licínio – Jusante (41650002), Santo Hipólito (41818000) e Várzea da Palma (41990000), no Rio das Velhas, e a estação Vespasiano (41250000), no Ribeirão da Mata.
- Quanto aos dados de vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente da montante para jusante no curso principal. O

- o afluente Ribeirão da Mata pouco influencia na vazão total efluente da bacia.
- Quanto aos dados sedimentológicos, a contribuição do Ribeirão da Mata (213 t/dia) com o fluxo total de sedimentos em suspensão no Rio das Velhas em Ponte Raul Soares (3.632 t/dia), primeira estação após a confluência, corresponde a aproximadamente 6%. Pode-se observar que, seguindo de montante para jusante, desde a cabeceira da bacia até a estação Jequitibá, há grande produção de sedimentos. A comparação do fluxo médio de sedimentos em suspensão da estação Jequitibá e da estação Ponte do Licínio - Jusante indica que o trecho compreendido entre elas tem grande potencial para deposição de sedimentos. O fluxo de sedimentos volta a ser crescente após a estação Ponte do Licínio - Jusante, porém analisando o fluxo em conjunto com os outros dados, pode-se dizer que esse aumento é muito influenciado pelo crescimento da vazão e que esta zona mais a jusante da bacia também tem tendências que indicam a possibilidade de haver deposição de sedimentos.
 - Segundo a classificação apresentada na Tabela 5, a produção específica de sedimentos em suspensão no Ribeirão da Mata é moderada (115 t/km².ano). Ao longo do Rio das Velhas, a descarga sólida em suspensão específica passa de alta na região mais a montante da bacia, estações Honório Bicalho - Montante e Ponte Raul Soares (270 e 277 t/km².ano), a muito alta na estação Jequitibá (359 t/km².ano). A jusante da estação Jequitibá, à medida que se aproxima de sua foz, ela é reduzida, chegando ao Rio São Francisco como moderada (92 t/km².ano).
 - Quanto à concentração de sólidos em suspensão na Bacia do Rio das Velhas, observa-se que os valores variam de altos a muito altos segundo a classificação da Tabela 6. Na região de cabeceira do Rio das Velhas, a estação com menor concentração de sedimentos em suspensão foi a Vespasiano, no Ribeirão da Mata, com 307 mg/L. Portanto, essa região é classificada

como sendo de concentração de sedimentos em suspensão muito alta. No curso médio do rio, na estação Jequitibá, encontrou-se o maior valor de concentração de sólidos em suspensão na bacia, com 755 mg/L, também classificada como muito alta, porém, muito superior aos demais valores. A jusante da estação Jequitibá a concentração diminui à medida que o rio caminha em direção a sua foz e, na estação mais a jusante do Rio das Velhas, Várzea da palma, a concentração é a menor encontrada nas estações da bacia e, mesmo assim, é classificada como alta (266 mg/L).

4.45.4. Rio Jequitaí (sub-bacia 42)

- Esta bacia conta com apenas uma estação sedimentométrica que pode ser analisada, porém, como a série de vazões dessa estação no HIDRO tem muitas falhas, a confiabilidade dos dados apresentados nesse trabalho não é a ideal para estudos de empreendimentos nessa bacia.
- Quanto à vazão, essa bacia contribui com cerca de 50 m³/s para a vazão do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, como só existe uma estação na bacia, é impossível uma avaliação de possíveis zonas de deposição nela. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 600 toneladas de sedimentos por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão do Rio Jequitaí em Fazenda Umburana – Montante é classificada como baixa (31 t/km².ano). Cabe ressaltar que geralmente esse valor é maior nas zonas mais a montante de um bacia.
- A concentração média de sedimentos em suspensão na estação Fazenda Umburana – Montante, Rio Jequitaí, foi de 148 mg/L, estando classificada entre moderada e alta.

4.45.5. Rio Paracatu (sub-bacia 42)

- Esta bacia conta com apenas duas estações sedimentométricas que puderam ser analisadas, a Santa Rosa (42395000) e a Porto do Cavalo (42930000). Entretanto, como as séries de vazões dessas estações, no HIDRO, têm muitas falhas, a confiabilidade dos dados apresentados no trabalho não é a ideal para estudos de empreendimentos nessa bacia.
- Quanto à vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal e essa bacia contribui com cerca de 300 m³/s para a vazão do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, comparando os dados das duas estações não há indícios de deposição de sedimentos entre elas. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 7.000 toneladas de sedimentos por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão do Rio Paracatu em Santa Rosa é classificada como moderada (77 t/km².ano), reduzindo ligeiramente na estação Porto do Cavalo, onde é classificada como baixa (60 t/km².ano).
- As concentrações médias de sedimentos em suspensão nas duas estações ao longo da bacia foram classificadas como altas, sendo na estação Santa Rosa, mais a montante, de 207 mg/L e, na estação Porto do Cavalo, de 273 mg/L.

4.45.6. Rio Urucuia (sub-bacia 43)

- Esta bacia conta com apenas duas estações sedimentométricas que puderam ser analisadas, a Arinos - Montante (43429998) e a Barra do Escuro (43980002).

- Quanto à vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal e essa bacia contribui com cerca de 250 m³/s para a vazão do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, comparando os dados das duas estações não há indícios de deposição de sedimentos entre elas. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 7.000 toneladas de sedimentos por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão do Rio Urucua em Arinos - Montante pode ser classificada de baixa a moderada (65 t/km².ano), aumentando no sentido de jusante, chegando à estação Barra do Escuro com 101 t/km².ano, onde é classificada como moderada.
- As concentrações médias de sedimentos em suspensão nas duas estações ao longo da bacia variam de alta, na estação Arinos - Montante (197 mg/L), que fica mais próxima à cabeceira da bacia, a muito alta mais a jusante, na estação Barra do Escuro (324 mg/L).

4.45.7. Rio Verde Grande (sub-bacia 44)

- Essa bacia conta com apenas uma estação sedimentométrica, a Boca da Caatinga (44950000) que não apresentou boa correlação entre os dados de vazão e os valores medidos de descarga sólida, por isso, esses resultados devem ser analisados com ressalvas.
- Quanto à vazão, essa bacia contribui com cerca de 30 m³/s com a média anual do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, como só existe uma estação na bacia, é impossível uma avaliação de zonas de deposição.

- Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 80 toneladas de sedimentos por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão do Rio Verde Grande em Boca da Caatinga é classificada como baixa (1 t/km².ano). Cabe ressaltar que geralmente esse valor é maior nas zonas mais a montante da bacia.
 - A concentração média de sedimentos em suspensão na estação Boca da Caatinga, Rio Verde Grande, foi de 38 mg/L, estando classificada como muito baixa.

4.45.8. Rio Carinhanha (sub-bacia 45)

- Esta bacia conta com apenas uma estação sedimentométrica, a Juvenília (45260000) que não apresentou boa correlação entre os dados de vazão e os valores medidos de descarga sólida, por isso, esses resultados devem ser analisados com ressalvas.
- Quanto à vazão, essa bacia contribui com cerca de 150 m³/s para a média anual do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, como só existe uma estação na bacia, é impossível uma avaliação de zonas potenciais de deposição dela. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 710 toneladas de sedimentos por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão do Rio Carinhanha em Juvenília é classificada como baixa (17 t/km².ano). Cabe ressaltar que geralmente esse valor é maior nas zonas mais a montante da bacia.

- A concentração média de sedimentos em suspensão na estação Juvenília, Rio Carinhanha, foi de 58 mg/L, estando classificada como baixa.

4.45.9. Rio Corrente (sub-bacia 45)

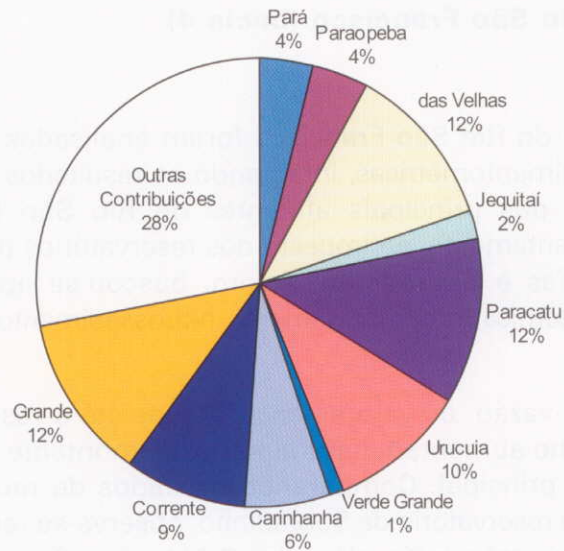
- Esta bacia conta com apenas duas estações sedimentométricas que puderam ser analisadas, a Santa Maria da Vitória (45910001) e a Porto Novo (45960001). Ambas não apresentaram boa correlação entre os dados de vazão e os valores de descarga sólida medidos, por isso, esses resultados devem ser analisados com ressalvas.
- Quanto à vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal, e essa bacia contribui com cerca de 220 m³/s para a vazão do Rio São Francisco.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, comparando os dados das duas estações, não há indícios de deposição de sedimentos entre elas. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 600 toneladas de sedimentos em suspensão por dia no Rio São Francisco.
- A produção específica de sedimentos em suspensão nas duas estações do Rio Corrente pode ser classificada como baixa, tanto em Santa Maria da Vitória (5 t/km².ano), quanto na estação Porto Novo com 7 t/km².ano.
- As concentrações médias de sedimentos em suspensão nas duas estações ao longo da bacia são classificadas como muito baixas. Na estação Santa Maria da Vitória, a concentração média de sedimentos em suspensão é de 22 mg/L e na estação Porto Novo, mais a jusante, é de 33 mg/L.

4.45.10. Rio Grande (sub-bacia 46)

- Esta bacia conta com duas estações sedimentométricas no curso principal, Barreiras (46550000) e Boqueirão (46902000). Além dessas, ainda, existe a estação Formosa do Rio Preto, no Rio Preto, afluente do Rio Grande. A estação Boqueirão não apresentou boa correlação entre os dados de vazão e os valores de descarga sólida medidos. Foram tentados diferentes métodos de análise, sendo o melhor resultado encontrado aquele obtido por meio da correlação entre as medições feitas na estação Barreiras e a Boqueirão, em um mesmo período. Esses resultados devem ser analisados com ressalvas.
- Quanto à vazão, os valores encontrados aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal e essa bacia contribui com cerca de 300 m³/s para a vazão do Rio São Francisco. O Rio Preto contribui com cerca de 35% para a descarga líquida total da bacia.
- Quanto ao fluxo de sedimentos, comparando os dados das duas estações no curso principal, há indícios de a zona compreendida entre elas constituir uma área de deposição de sedimentos. Segundo os resultados obtidos, essa bacia lança aproximadamente 335 toneladas de sedimentos em suspensão por dia no Rio São Francisco. O Rio Preto pouco contribui (8%) para o fluxo total de sedimentos em suspensão na bacia.
- A produção específica de sedimentos em suspensão em toda a bacia do Rio Grande é baixa, sendo de 7 t/km².ano na estação Barreiras, 1 t/km².ano na Formosa do Rio Prato e 2 t/km².ano na Boqueirão.
- As concentrações médias de sedimentos em suspensão nas estações ao longo da bacia são classificadas como muito baixas. Na estação Barreiras, a concentração média de sedimentos em suspensão é de 44 mg/L, na estação Formosa do Rio Preto, é de 3 mg/L e, na Boqueirão, de 14 mg/L.

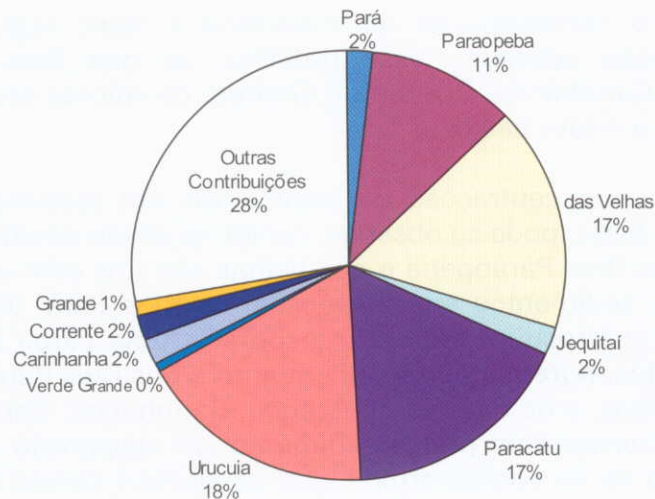
4.45.11. Rio São Francisco (bacia 4)

- Ao longo do Rio São Francisco foram analisadas 12 estações hidrossedimentométricas, integrando os resultados dessas estações aos dos principais afluentes do Rio São Francisco e, concomitantemente, ao impacto dos reservatórios das usinas de Três Marias e Sobradinho. Assim, buscou-se apresentar, de forma sistêmica, o comportamento hidrossedimentológico dessa bacia.
- Quanto à vazão, os valores encontrados até o reservatório de Sobradinho aumentam naturalmente de montante para jusante no curso principal. Comparando os dados de montante e de jusante ao reservatório de Sobradinho, observa-se redução considerável da vazão, pois, além dos 2.244 m³/s afluentes do curso principal, Sobradinho ainda recebe cerca de 300 m³/s do Rio Grande. Portanto, a vazão média em Juazeiro, a jusante da barragem, deveria ser de aproximadamente 2.500 m³/s. No entanto, a vazão média do período analisado, 1986 a 1999, foi de 2.200 m³/s. Com isso, pode-se concluir que houve redução de cerca de 300 m³/s na vazão média do Rio São Francisco por causa do reservatório de Sobradinho. O principal fator responsável por essa perda é a evaporação que ocorre no reservatório. Como a área do reservatório é de aproximadamente 4.000 km², e a evaporação nessa região é de cerca de 2.000 mm/ano, então, o fluxo de água do reservatório para a atmosfera corresponde a uma vazão média de 250 m³/s. A jusante de Sobradinho existem outros reservatórios que acabam por reduzir um pouco mais a vazão do São Francisco que, segundo os dados utilizados, chega a sua foz com aproximadamente 2.100 m³/s de vazão no período analisado. No gráfico a seguir, está demonstrada a participação de cada afluente em relação a uma vazão de 2.500 m³/s em Sobradinho.



Portanto, conforme explicitado no gráfico acima, os principais contribuintes para a vazão do Rio São Francisco são os Rios das Velhas, Paracatu e Grande, seguidos de perto pelos Rios Urucuia e Corrente.

- Quanto ao fluxo de sedimentos, pode-se observar que os reservatórios das usinas de Três Marias e Sobradinho causam uma retenção considerável dos sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco. Por isso, foram incluídos esses reservatórios nas representações esquemáticas do trabalho e, na seqüência, a vida útil de cada um deles será estimada segundo os dados encontrados nesse estudo. No gráfico a seguir, está demonstrada a participação de cada afluente em relação a uma descarga sólida em suspensão de 40.000 t/dia em Sobradinho (item 4.42).



- Portanto, conforme explicitado no gráfico acima, os principais contribuintes para o fluxo de sedimentos em suspensão do Rio São Francisco são os Rios das Velhas, Paracatu e Urucuia. Cabe ainda salientar que o Rio Paraopeba apresentou apenas 4% da vazão, porém, 11% do fluxo médio total de sedimentos em suspensão do Rio São Francisco em Sobradinho. Enquanto isso, os Rios Grande, Corrente e Carinhanha, importantes afluentes quanto à vazão do Rio São Francisco, tiveram redução considerável de importância em relação às contribuições ao fluxo total de sedimentos em suspensão na bacia. Generalizando, os rios que estão em Minas Gerais ou que têm a maior parte de seu curso nesse Estado, exceto o Verde Grande, são os principais contribuintes para o fluxo de sedimentos da bacia e os rios da Bahia, incluindo o Verde Grande, são rios que transportam pouco sedimento.
- Quanto à produção específica de sedimentos em suspensão, os locais que apresentaram os maiores valores desse parâmetro de análise foram as cabeceiras dos Rios Paraopeba e das Velhas. Nos Rios Pará, Jequitaí, Paracatu e Urucuia, esse

parâmetro apresentou-se de moderado a baixo segundo a classificação adotada nesse trabalho. Já nos Rios Verde Grande, Carinhanha, Corrente e Grande, os valores encontrados foram muito baixos.

- Quanto às concentrações de sedimentos em suspensão ao longo da bacia, pode-se observar, conforme citado anteriormente, que os Rios Paraopeba e das Velhas são rios com elevada carga de sedimentos em suspensão, os Rios Pará, Jequitaiá, Paracatu e Urucuia também transportam uma carga alta de sedimentos, porém, não tão alta quanto à dos Rios Paraopeba e das Velhas, e os Rios Verde Grande, Carinhanha, Corrente e Grande transportam pouco sedimento em suspensão, principalmente se os compararmos com os demais cursos d'água da bacia. Em se tratando do Rio São Francisco, os dados apresentados demonstram haver uma diluição da concentração dos sedimentos em suspensão nos reservatórios de Três Marias e Sobradinho, indicando deposição. Portanto, o estudo mostrou que o Rio São Francisco transporta grande quantidade de sedimentos em suspensão até o reservatório de Sobradinho e, a jusante dele, a concentração de sedimentos é bastante reduzida.

4.46. Estimativa da vida útil do reservatório de Três Marias

$$Q_{SS}^{\text{Porto das Andorinhas}} = 4.800 \text{ t/dia}$$

$$Q_{SS}^{\text{Pará}} = 700 \text{ t/dia}$$

$$Q_{SS}^{\text{Paraopeba}} = 5.000 \text{ t/dia}$$

$$Q_{SS}^{\text{área incremental montante}} = 130 \text{ t/km}^2 \cdot \text{ano} * 36.000 \text{ km}^2 = 4.680.000 \text{ t/ano} = 12.800 \text{ t/dia}$$

$$Q_{SS}^{\text{afluente}} = 23.300 \text{ t/dia}$$

Considerando a descarga sólida de fundo (Q_{sa}) como sendo igual a 10% da descarga sólida total (Q_{st}), temos:

$$Q_{sa} = 2.600 \text{ t/dia}$$

$$Q_{st \text{ afluente}} = 26.000 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ Pirapora Barreiro}} = 7.600 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ área incremental jusante}} = 45 \text{ t/km}^2 \cdot \text{ano} * 11.000 \text{ km}^2 = 495.000 \text{ t/ano} = 1.400 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ defluente}} = 6.000 \text{ t/dia}$$

Considerando a descarga sólida de fundo (Q_{sa}) como sendo igual a zero (todo o sedimento de fundo afluente fica retido no reservatório), temos:

$$Q_{st \text{ defluente}} = 6.000 \text{ t/dia}$$

Portanto,

$$Q_{ss \text{ retido}} = 20.000 \text{ t/dia} = 7.300.000 \text{ t/ano}$$

$$V_{\text{retido}} = \frac{13.000.000 \text{ t / ano}}{1,3 \text{ t / m}^3} = 5.600.000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{\text{min.op.}} = 4,25 \text{ km}^3 = 4.250.000.000 \text{ m}^3 \text{ (N.min.op.} = 549,20 \text{ m)}$$

$$T_{\text{vmin.op.}} = \frac{4.250.000.000 \text{ m}^3}{5.600.000 \text{ m}^3 / \text{ano}} = 760 \text{ anos}$$

Com base nos pontos da curva cota x volume existentes no SIPOT, e considerando o nível da soleira da tomada d'água igual a 542,0 m, tem-se:

$$V_{\text{soleira da tomada d'água}} = 603.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Vida útil} = \frac{603.000.000 \text{ m}^3}{5.600.000 \text{ m}^3 / \text{ano}} = 107 \text{ anos}$$

4.47. Estimativa da vida útil do reservatório de Sobradinho

Segundo os dados do item 4.42, a região da estação Morpará é indicada como uma zona potencial de deposição de sedimentos. Portanto, pelo Rio São Francisco, o fluxo de sólidos em suspensão afluente ao reservatório deve ser igual ou um pouco menor do que o apresentado na estação Morpará. Entretanto, como o reservatório é muito grande, também poderia ser considerado um aumento do fluxo de sedimentos afluente devido à contribuição proveniente do entorno do reservatório. Em vista da falta de informações que permitam uma avaliação mais precisa, será utilizada nessa estimativa uma descarga sólida em suspensão afluente ao reservatório de Sobradinho igual a 40.000 t/dia, já considerando a contribuição do Rio Grande.

$$Q_{ss \text{ afluente}} = 40.000 \text{ t/dia}$$

Considerando a descarga sólida de fundo (Q_{sa}) como sendo igual a 10% da descarga sólida total (Q_{st}), tem-se:

$$Q_{sa \text{ afluente}} = 4.500 \text{ t/dia}$$

$$Q_{st \text{ afluente}} = 44.500 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ Juazeiro}} = 8.600 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ área incremental jusante}} = 6,2 \text{ t/km}^2 \cdot \text{ano} * 12.400 \text{ km}^2 = 77.000 \text{ t/ano} = 210 \text{ t/dia}$$

$$Q_{ss \text{ defluente}} = 8.400 \text{ t/dia}$$

Considerando a descarga sólida de fundo (Q_{sa}) como sendo igual a zero (todo o sedimento de fundo afluente fica retido no reservatório), tem-se:

$$Q_{st \text{ defluente}} = 8.400 \text{ t/dia}$$

Portanto,

$$Q_{ss \text{ retido}} = 36.000 \text{ t/dia} = 13.000.000 \text{ t/ano}$$

$$V_{\text{retido}} = \frac{13.000.000 \text{ t/ano}}{1,3 \text{ t/m}^3} = 10.000.000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{\text{min.op.}} = 5,45 \text{ km}^3 = 5.450.000.000 \text{ m}^3 \text{ (N.min.op.} = 380,50 \text{ m)}$$

$$T_{\text{v.min.op.}} = \frac{5.450.000.000 \text{ m}^3}{10.000.000 \text{ m}^3 / \text{ano}} = 545 \text{ anos}$$

Com base nos pontos da curva cota x volume existentes no SIPOT e considerando o nível da soleira da tomada d'água igual a 370,5 m, tem-se que:

$$V_{\text{soleira da tomada d'água}} = 1.092.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Vida útil} = \frac{1.092.000.000 \text{ m}^3}{10.000.000 \text{ m}^3 / \text{ano}} = 110 \text{ anos}$$

4.48. Considerações quanto ao método e aos resultados das estimativas de vida útil dos reservatórios de Três Marias e Sobradinho:

- a) O objetivo principal dos resultados apresentados é o de ressaltar a importância do levantamento de dados hidrossedimentométricos, de forma a possibilitar estudos hidrossedimentológicos, entre os quais, a avaliação da vida útil de reservatórios.
- b) Além de fundamentais para a determinação da viabilidade de empreendimentos e da necessidade de estruturas ou ações para mitigação de possíveis problemas provocados pelos sedimentos nos cursos d'água, dados dessa natureza são de extrema importância para o planejamento do setor elétrico.
- c) O método utilizado para a avaliação da vida útil dos reservatórios de Três Marias e Sobradinho não considerou a distribuição do aporte de sedimentos no reservatório. Por isso, os valores de vida útil apresentados estão, certamente, subestimados.
- d) Neste trabalho, não se optou por um estudo mais detalhado por entender que seu objetivo principal é a caracterização hidrossedimentométrica da região.

- e) Cabe informar que a Aneel já vem cobrando o levantamento topobatimétrico dos reservatórios utilizados para fins energéticos, o que, por comparação com dados anteriores, permitirão uma avaliação mais precisa da taxa de assoreamento e da vida útil deles.
- f) A não-disponibilidade de dados que possibilitem a determinação da descarga sólida de fundo ou do volume correspondente ao nível da soleira da tomada d'água dos reservatórios estudados aumentam a imprecisão das estimativas apresentadas.
- g) Diante do exposto, cabe ressaltar que os dados de vida útil dos reservatórios de Três Marias e Sobradinho devem ser utilizados, com ressalvas, pois, apenas um estudo mais detalhado pode estimar de forma mais precisa esses valores. A vida útil desses reservatórios pode ser muito maior que o valor apresentado, entretanto, o importante é salientar a necessidade de conhecimento desses dados.

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Diante do exposto neste trabalho e de acordo com os objetivos propostos, pode-se concluir que os Rios Paraopeba e das Velhas são os rios que apresentam maior concentração média de sedimentos em suspensão na bacia. Os Rios Pará, Jequitaiá, Paracatu e Urucuia também podem ser agrupados como rios que têm alta concentração de sedimentos em suspensão, porém, não tanto quanto os Rios Paraopeba e das Velhas. Já os Rios Verde Grande, Carinhonha, Corrente e Grande apresentam baixas concentrações de sedimentos em suspensão.

Quanto ao Rio São Francisco, até o reservatório de Sobradinho ele apresenta altas concentrações de sedimentos. Entretanto, a jusante, o rio apresenta redução considerável da carga sólida, e, conseqüentemente, da concentração de sedimentos.

Também foi possível observar um impacto no fluxo hidrossedimentométrico do Rio São Francisco ocasionado pelo reservatório de Três Marias, entretanto, em menor escala do que o de Sobradinho.

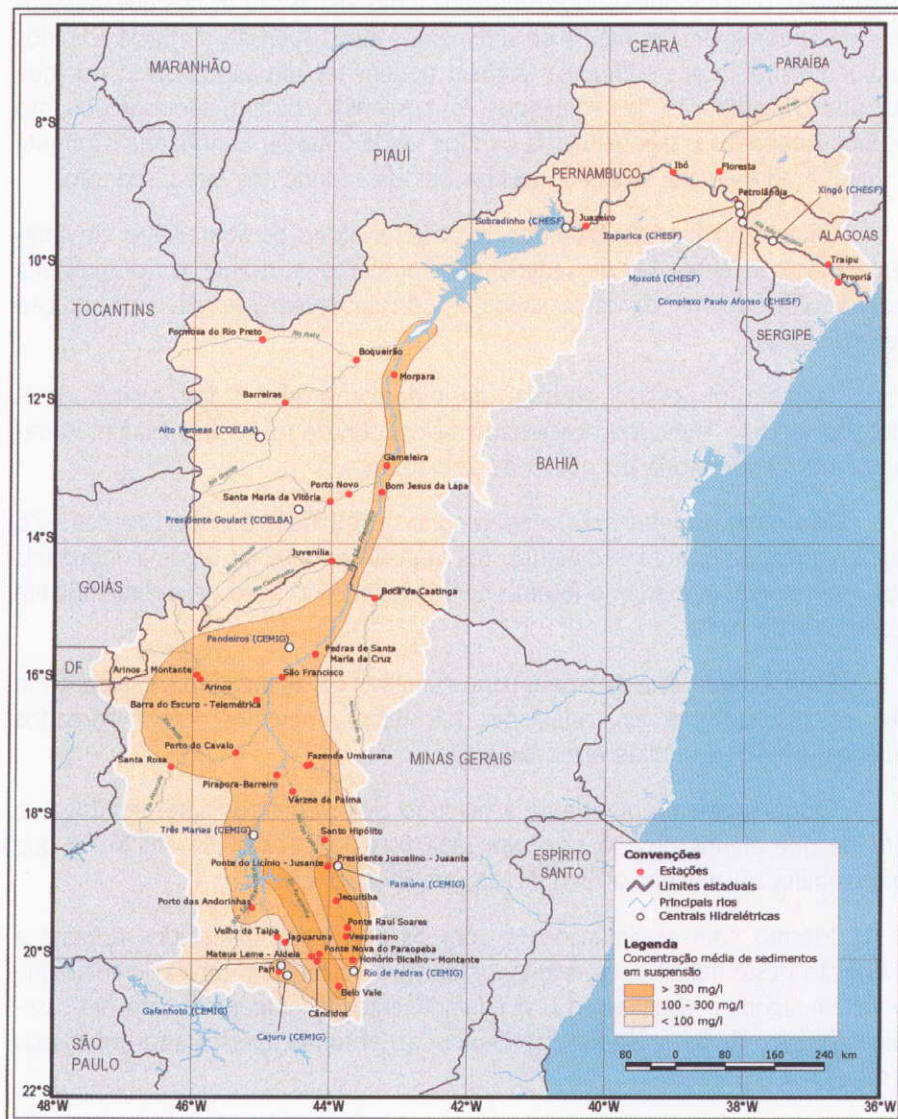
Tendo em vista que após o reservatório de Sobradinho o Rio São Francisco segue carreando pouco sedimento, foi impossível detectar alguma influência dos reservatórios que estão a jusante de Sobradinho no fluxo de sedimentos em suspensão da bacia.

É importante salientar que, para a análise de algumas das estações em que os resultados e as correlações não eram coerentes, foram adotados critérios diversos e, muitas vezes, subjetivos.

Outro problema que limita a precisão dos resultados apresentados é o fato de que alguns rios só possuem uma estação passível de análise, o que impossibilita ou dificulta a identificação de incoerências.

Mesmo com as limitações e com os problemas detectados durante a realização deste trabalho, os resultados obtidos apresentam uma coerência que permitem, agora, a visualização e o entendimento do comportamento hidrossedimentológico da Bacia do Rio São Francisco, conforme apresentado nos mapas a seguir.

5.1. Mapa de visualização da análise individualizada da concentração média de sedimentos em suspensão em cada estação hidrossedimentométrica da Bacia do Rio São Francisco.



5.2. Mapa de visualização regionalizada dos dados de concentração média de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco.



**REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. **Tabela de dados e informações sobre usinas hidrelétricas brasileiras**. Brasília, 2001. material institucional.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM/Eletrobrás, 1994, 372p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Aneel, 2000, 132p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: Aneel, 2000, 154p.
- CENSO DEMOGRÁFICO. Rio de Janeiro: IBGE, 1996.
- CODEVASF. **Mapa de áreas irrigadas no vale do rio São Francisco**. Brasília, 1999.
- DADOS hidrológicos. Séries históricas. Disponível em <<http://hidroweb.aneel.gov.br>>. Acesso em 20 set. 2001.
- ELETROBRÁS. **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, , 1992, 100p.
- FILIZOLA JR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; CARVALHO, N.O.; LIMA, J.E.F.W.; SCILEWSKI, L.R.; REGO, A. Informações hidrossedimentométricas no Brasil. In. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 4., 2000, Santa Maria, RS. **Anais**. Santa Maria: CES/ABRH, 2000. p.20-30.
- FILIZOLA JR, N.P. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia brasileira**. Brasília: Aneel, 1999, 63p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Plano nacional de recursos hídricos**: versão preliminar. Brasília: MMA-SRH, 1999. CD ROM
- LIMA, J.E.F.W.; SANTOS, P.M.C.; SCILEWSKI, L.R. **Relatório de situação do banco de dados sedimentométricos do sistema HIDRO 1.0**. Brasília: Aneel/SIH, 2001, 53p. (no prelo).
- PLANO DIRETOR PARA O DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Programa para o desenvolvimento da irrigação (1989-2000)**. Brasília: CODEVASF/SUDENE/OEA, 1989. 203p.

PROGRAMA ESTADUAL DE INVESTIMENTOS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL. **Condições hidrossedimentológicas do Paraíba do Sul e seus afluentes.** Disponível em: < www.hidro.ufrj.br/pqarj/geral/hidrosed/texto.htm >. Acesso em 19 jul. 2001.

SIPOT. Brasília: Eletrobrás, 1996. CD-ROM.

VALE do São Francisco. Disponível em < <http://www.codevasf.gov.br/vale/identificacao.htm> >. Acesso em 19 mar. 2001.

Embrapa

Cerrados

ANEEL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

ISBN 85-7075-016-1



**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**

**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**

**MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil