

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

Caracterização Eco-Hidrológica do Regime de Vazões Naturais do Rio São Francisco na UHE de Xingó

Cledeilson Pereira Santos¹ & Christopher Freire Souza²

RESUMO – O presente trabalho tem o objetivo de caracterizar o regime natural do rio São Francisco na seção da UHE de Xingó, quanto a aspectos do regime relevantes para processos ecológicos, especificamente magnitude, frequência, duração, período de ocorrência e forma de eventos de cheia e estiagem. Para isso foram estimados 33 índices eco-hidrológicos sugeridos no aplicativo IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*). A caracterização eco-hidrológica de regimes enriquece a gestão das águas, ao permitir diagnóstico e previsão de impactos a partir de cenários de alterações do regime, por exemplo, devido ao uso e ocupação do solo e da água.

ABSTRACT– The present work aims to characterize the natural regime of the São Francisco river in the section of UHE Xingó, as aspects of the regime relevant to ecological processes, specifically the magnitude, frequency, duration, time of occurrence and form of flood and dry events. For this it was estimated 33 eco-hydrological indices suggested in the application IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*). The characterization eco-hydrological of regimes enrich the water management, allow the diagnosis and forecast of impacts from the regime change scenarios, for example, due to the landuse and water.

Palavras-Chave – IHA, eco-hidrologia.

INTRODUÇÃO

A abordagem eco-hidrológica se desenvolveu dentro do quadro de trabalho do Programa Hidrológico Internacional da UNESCO (IHP-V) e do Homem e a Biosfera (MAB), inspirada por conclusões da Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin em 1992, onde sistemas fluviais são considerados como “superorganismos” controlados por processos hidrológicos e que em grande medida pode ser modificado por respostas e interações bióticas. Esta conferência destacou a necessidade de novos conceitos e soluções para alcançar a sustentabilidade dos recursos hídricos (Zalewski e McClain (1998); UNESCO (2007)).

O fluxo natural de um rio varia no tempo em escalas de horas, dias, estações do ano e toda a composição biótica e a estrutura de ecossistemas ribeirinhos dependem largamente do regime hidrológico (Gorman e Karr (1978); Poff *et al.* (1997)). Segundo Resh *et al.* (1988), a vazão é uma

1) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1861, cledeilson-ifs@hotmail.com

2) Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1860, cfsouza.ufal@gmail.com

variável mestra, pois está fortemente relacionada com características físico-químicas como temperatura da água, geomorfologia do canal, diversidade de habitats e controle da distribuição e abundância de espécies ribeirinhas. A magnitude e a frequência de altas e baixas vazões regulam numerosos processos ecológicos. Vazões de grandes magnitudes além de remover e transportar sedimentos criam pântanos em áreas de inundações e controlam o avanço da vegetação na calha do rio (Poff *et al.* (1997)). Fluxos de baixa magnitude garantem a oportunidade de recrutamento da mata ciliar em regiões onde as planícies de inundações são frequentemente inundadas (Wharton *et al.* (1981) *apud* Poff *et al.* (1997)).

Diante disso, o desenvolvimento de índices eco-hidrológicos foi motivado com uma série de objetivos diferentes em mente, pois de acordo com Olden e Poff (2003), esses índices têm sido desenvolvidos para caracterizar regiões particulares em termos de variáveis de fluxo biologicamente relevantes, descrever a variabilidade de regimes hidrológicos regionais ou globais e para quantificar características de fluxos que são sensíveis às diversas formas de perturbação humana. O número de características de fluxo ecologicamente importantes que constituem o regime de escoamento natural inclui o padrão sazonal dos fluxos, tempo de vazões extremas, a frequência, previsibilidade e duração das inundações, secas, e os fluxos intermitentes.

A Usina Hidrelétrica (UHE) de Xingó situa-se na bacia hidrográfica do rio São Francisco (figura 1), principal rio da região nordestina, possui área de drenagem de 609.386 km² e é posicionada a cerca de 65 km à jusante do Complexo de Paulo Afonso, constituindo-se o seu reservatório, face as condições naturais de localização num canyon, onde se explora o turismo na região através da navegação no trecho entre Paulo Afonso e Xingó, além de prestar-se ao desenvolvimento de projetos de irrigação e ao abastecimento d'água para a cidade de Canindé/SE (CHESF, 2012). O clima predominante na região é o semi-árido e as precipitações médias anuais concentram-se abaixo de 600 mm (CBHSF, 2004).



Figura 1- Localização da bacia do rio São Francisco (UHE-Xingó)

Dada à necessidade de implantação de obras hidráulicas para atender aos usos múltiplos da água, tais como abastecimento humano, navegação, geração de energia elétrica e outros usos, o rio São Francisco já não reproduz seu regime hidrológico natural. O desconhecimento e a desconsideração de padrões de fluxo natural inviabilizam o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, afetam ecossistemas fluviais, bem como afasta cada vez mais a possibilidade de mensurar o real potencial de bens e serviços que esse curso d'água pode oferecer para a sociedade. Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de caracterizar o regime natural do rio São Francisco na seção da UHE de Xingó, quanto a aspectos do regime relevantes para processos ecológicos, especificamente magnitude, frequência, duração, período de ocorrência e forma de eventos de cheia e estiagem.

METODOLOGIA

Base de dados

Para a execução do trabalho foi usada uma série de vazões naturais reconstituídas de 76 anos (1931-2006), obtidas do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2007), onde a reconstituição dessas vazões baseia-se na desconsideração dos usos consuntivos e da operação de reservatórios e a evaporação nestes.

Estimativa de índices eco-hidrológicos

Atualmente existem centenas de índices eco-hidrológicos que foram desenvolvidos para caracterizar regimes de rios e apresentar padrões de fluxos naturais. Neste trabalho utilizamos os índices do Indicators of Hydrologic Alteration (IHA; Richter et al. 1996), onde são calculados um total de 33 variáveis hidrológicas biologicamente relevantes (quadro 1).

Quadro 1- Resumo das Variáveis do IHA e suas Influências em Ecossistemas Fluviais. Adaptado de TNC, 2007

Aspecto	Variáveis Hidrológicas	Influência em Ecossistemas
Magnitude	Média ou mediana para cada mês do ano	Disponibilidade de habitats para organismos aquáticos; Umidade do solo para plantas; Influência da temperatura da água nos níveis de oxigênio.
	Subtotal: 12	
Duração	Média das vazões máximas e mínimas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias; Número de dias com fluxo zero e Vazão de base: mínimas médias anuais de 7 dias.	Estruturação dos ecossistemas aquáticos por fatores abióticos vs biótico; Estruturação morfológica do canal do rio e condições físicas de habitats; Distribuição de comunidades de plantas de lagos, lagoas, várzeas; Estresse de umidade do solo em plantas.
	Subtotal: 12	
Período de Ocorrência	Dia Juliano de vazão mínima anual e Dia Juliano de vazão máxima anual	A previsibilidade / esquiva de estresse para organismos; O acesso a habitats especiais durante reprodução ou para evitar a predação; Estímulos de desova para espécies migratórias.
	Subtotal: 2	
Frequência	Número de baixos pulsos de vazões em cada ano hidrológico; Número de altos pulsos de vazões em cada ano hidrológico; Média ou mediana da duração de baixo pulso de vazão (dias); Média ou mediana da duração de alto pulso de vazão (dias).	Frequência e estresse hídrico para as plantas; Trocas de nutrientes e matéria orgânica entre rio e planície de inundação; Acesso para alimentação, repouso e locais de reprodução para aves aquáticas
	Subtotal: 4	

Gradiente de Vazão	Taxa de ascensão de Vazões; Taxa de recessões de Vazões; Número de reversões anuais	Determina a conexão de rio com área ripária ou lagos marginais, ou a capacidade de raízes manterem contato com o lençol freático
	Subtotal: 3	
	Total: 33	

Para estimar esses índices usamos a primeira abordagem do software LOU, programa computacional composto de estatísticas paramétricas (média / desvio padrão) e não-paramétricas (percentil), desenvolvido no escopo do trabalho de Souza (2009), onde as variáveis hidrológicas apresentadas na tabela 1 se encaixam em cinco grupos (magnitude, duração, período de ocorrência, frequência e gradiente de vazões) para caracterizar estatisticamente a variação hidrológica (Richter *et al.* (1996); TNC, 2007) intra-anual. Vale destacar que as análises foram baseadas no ano hidrológico de cheia, onde o ano tem seu início no mês que apresenta as menores magnitudes de vazões.

Para a aplicação do IHA foram necessários os seguintes passos:

- 1- Definição da série de dados;
- 2- Escolha de limites para a definição de eventos de cheia e estiagem. Neste estudo foram adotados os valores padrões sugeridos no IHA, onde a ocorrência de fluxos inferiores ao percentil 25 (P-25) são classificados como de estiagem enquanto que fluxos superiores ao percentil 75 (P-75) classificam-se como de cheia;
- 3- Cálculo de valores anuais de 33 variáveis que caracterizam aspectos do regime;
- 4- Computar índices que medem tendência central e variação para cada variável, baseada nos valores calculados no passo 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na série diária de vazões naturais da UHE-Xingó, foram obtidos os percentis que definem os pulsos de cheias e de estiagens, onde o P-75 é da magnitude de 3855,5 m³/s e o P-25 da ordem de 1210,5 m³/s (figura 2). Nota-se também que 98,69% das máximas anuais estão acima do P-75; 85,62% das médias anuais estão entre P-75 e P-25 e 88,15% das mínimas anuais estão abaixo do P-25 (figura 3).

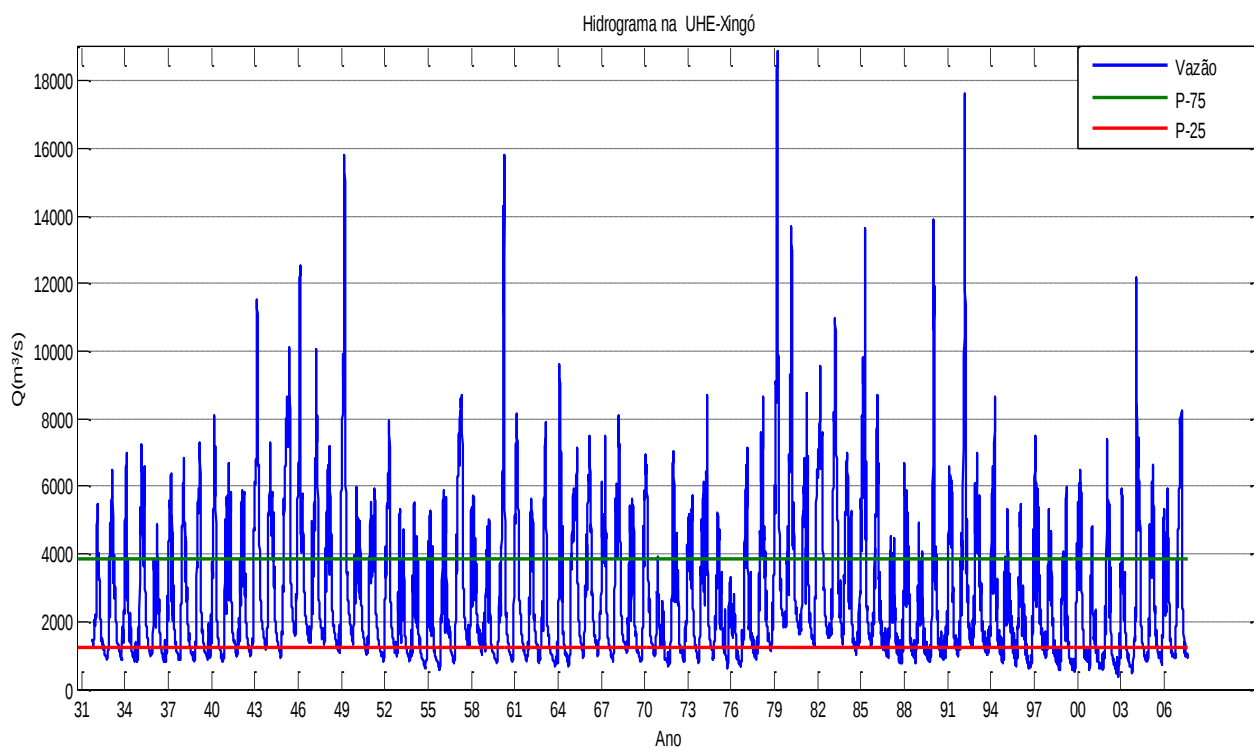


Figura 2 – Série de vazões naturais na UHE-Xingó (1931-2006)

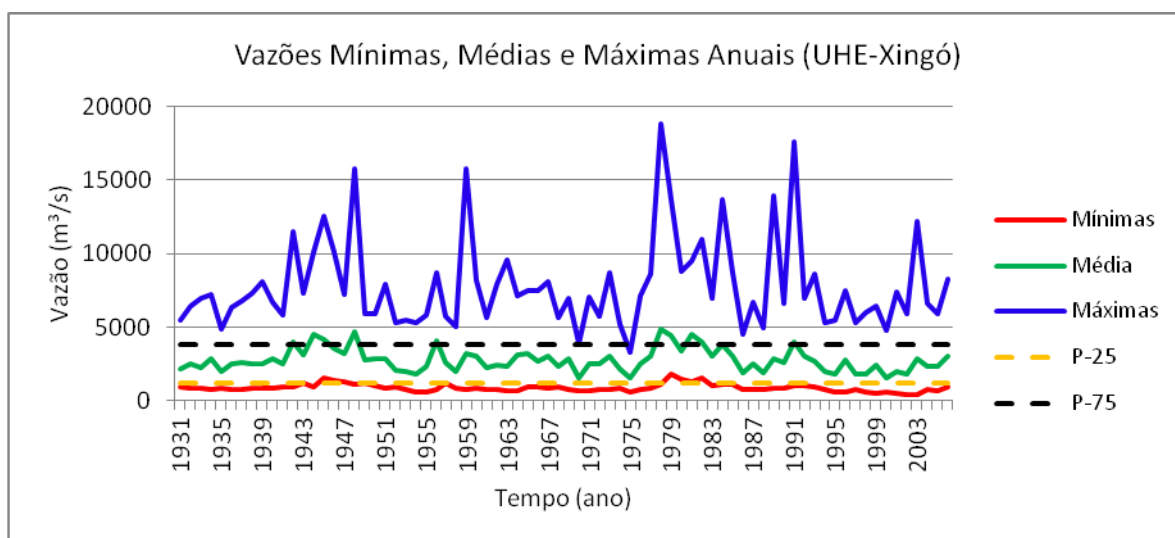


Figura 3 – Vazões mínimas, médias e máximas anuais- UHE-Xingó (1931-2006)

O ano hidrológico na UHE-Xingó é bem definido (figura 4), onde as cheias variam de Setembro a Agosto e as estiagens iniciam com 6 meses de defasagem, ou seja, de Março a Fevereiro.

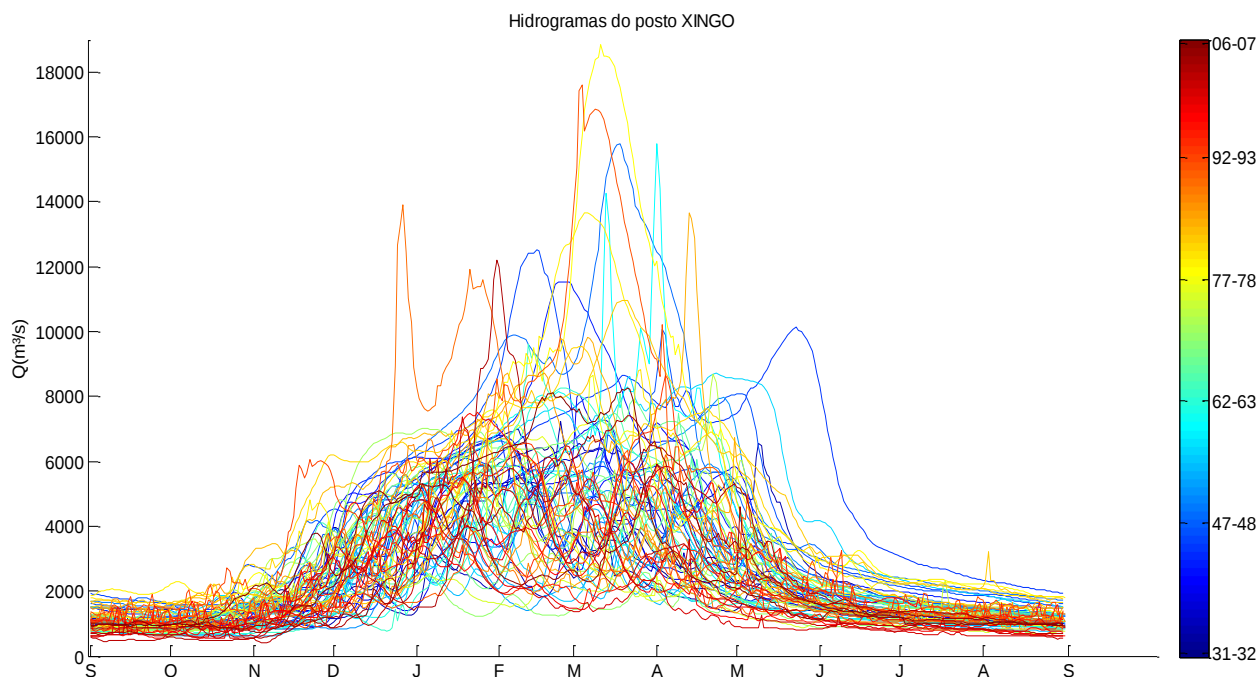


Figura 4 – Variação sazonal de vazões na UHE-Xingó

As médias móveis anuais máximas e mínimas de 3, 7, 30 e 90 dias apresentam padrões semelhantes aos das máximas e mínimas anuais, porém vale destacar que as médias móveis mínimas e máximas de 90 dias (figura 5) exibem uma leve tendência de aproximação das médias anuais.

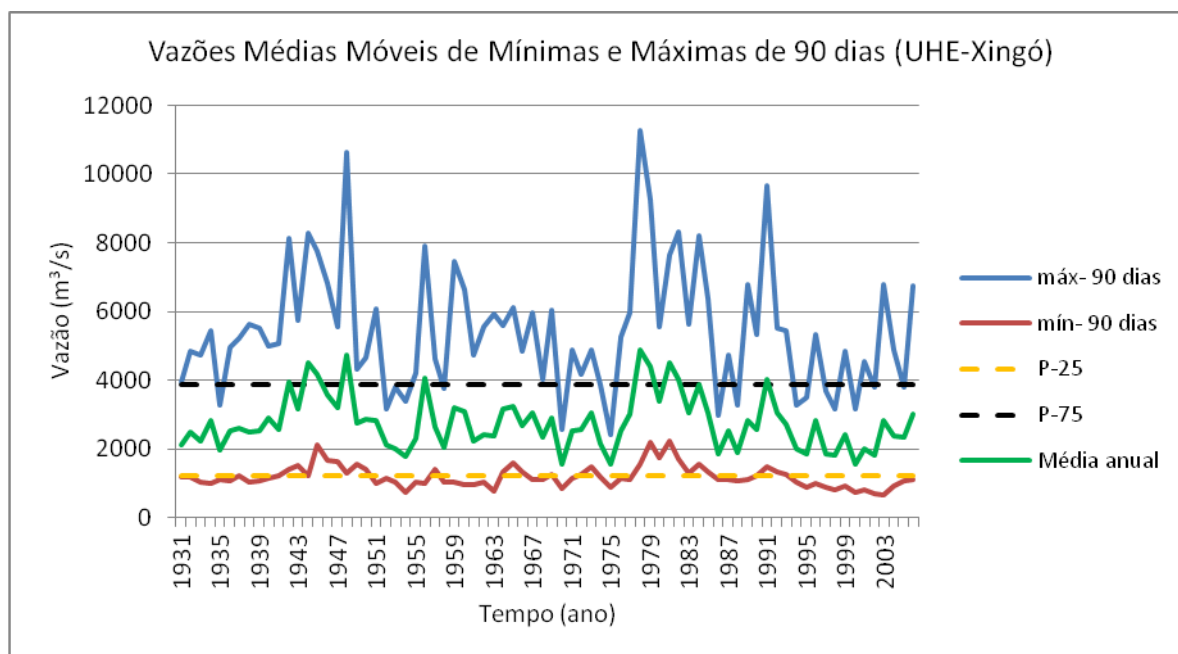


Figura 5 – Vazões médias móveis de mínimas e máximas anuais

Após as análises do IHA foram estimados os 33 índices eco-hidrológicos que representam a variabilidade natural na seção da UHE-Xingó (tabela 2). Como descrito anteriormente na introdução

do presente trabalho, tais índices servem de referência para o entendimento das relações diretas e indiretas entre processos hidrológicos e ecológicos, bem como suporte para tomada de decisões em órgãos que lidam com os recursos naturais.

Tabela 2- Índices eco-hidrológicos estimados (UHE-Xingó)

Aspecto		Média	D. Padrão
Magnitude	Janeiro	4809,92	1615,07
	Fevereiro	5164,14	2247,85
	Março	5194,91	2871,18
	Abril	4134,83	2064,42
	Maio	2531,92	1409,11
	Junho	1656,77	645,91
	Julho	1359,55	405,88
	Agosto	1189,18	340,64
	Setembro	1072,34	300,64
	Outubro	1148,07	390,53
	Novembro	1810,52	887,47
	Dezembro	3346,24	1462,44
Duração	Min anuaisméd mov 1 dia	894,58	257,64
	Min anuaisméd mov 3 dias	899,73	259,01
	Min anuaisméd mov 7 dias	910,91	260,07
	Min anuaisméd mov 30 dias	970,37	267,68
	Min anuaisméd mov 90 dias	1195,47	316,73
	Máx anuaisméd mov 1 dia	7833,95	3114,03
	Máx anuaisméd mov 3 dias	7722,42	3026,91
	Máx anuaisméd mov 7 dias	7492,37	2873,74
	Máx anuaisméd mov 30 dias	6662,40	2483,87
	Máx anuaisméd mov 90 dias	5428,72	1822,35
	Num de dias com fluxo zero	0,00	0,00
	Q de base: Min med 7dias	2379,65	516,13
Período de ocorrência	Dia juliano de mínima anual	270,32	24,47
	Dia juliano de máxima anual	68,72	65,79
Frequência	Nº de baixos pulsos de vazões	2,42	1,73
	Dur. de baixos pulsos	67,07	74,52
	Nº de altos pulsos de vazões	2,36	1,30
	Dur. de altos pulsos	38,60	42,84
Gradiente de vazão	Taxa de ascensão de vazão	100	33,44
	Taxa de recessão de vazão	-69	29,35
	Nº de reversões anuais	49,46	29,80

Os aspectos magnitude e duração caracterizam a sazonalidade natural do rio, onde a fauna e a flora de ecossistemas fluviais montam estratégias de sobrevivência para suportar as perturbações hidrológicas. Outro fator de grande importância é a duração de eventos extremos, pois são responsáveis pela morfologia do canal e estruturação de ecossistemas.

As vazões mínimas anuais ocorrem em média no dia Juliano 270,32, que corresponde aproximadamente ao dia 26 de Setembro (figura 6).

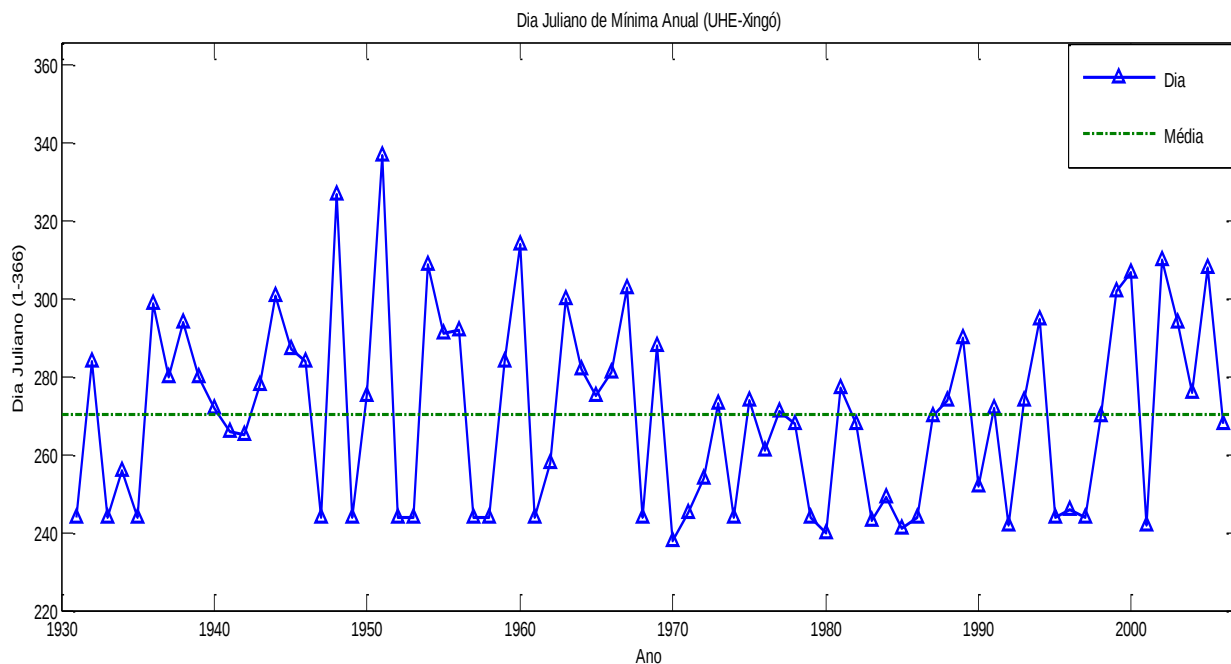


Figura 6 – Dia Juliano de mínima anual (UHE-Xingó)

Quanto aos maiores picos de vazões anuais, ocorrem em média no dia Juliano 68,72, que equivale aproximadamente ao dia 9 de Março (figura 7).

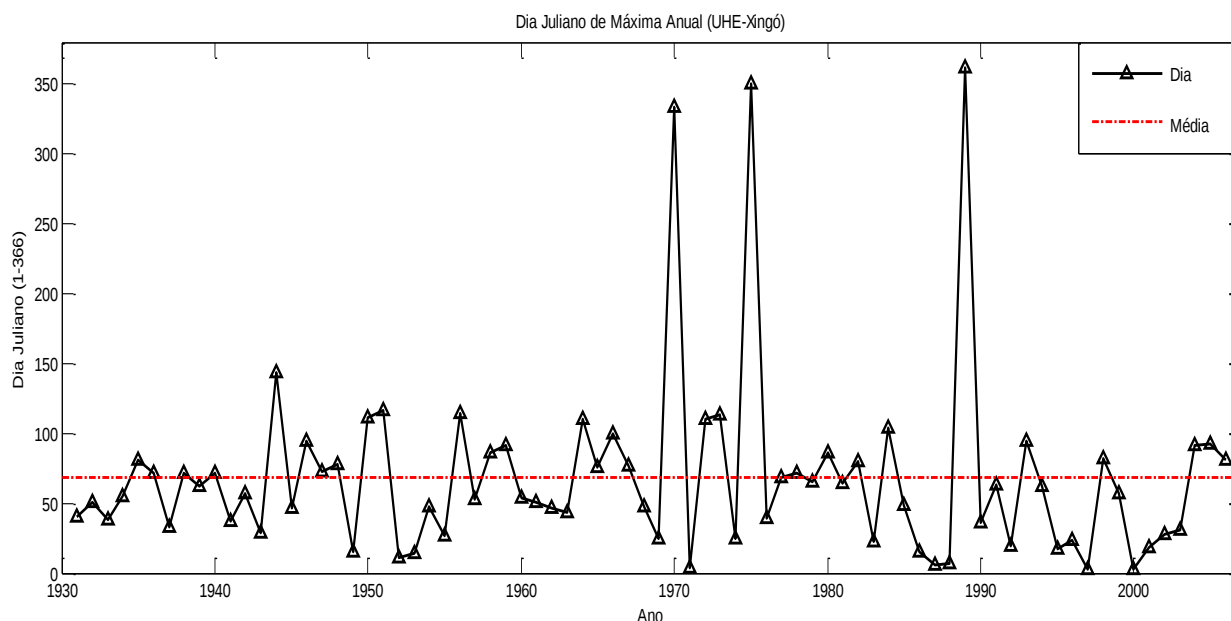


Figura 7 – Dia Juliano de máxima anual (UHE-Xingó)

O período de ocorrência das vazões mínimas e máximas anuais estimulam a reprodução de espécies migratórias de aves, peixes e outros seres vivos que dependem do ecossistema fluvial, bem como aponta o momento de esquia de predadores. A previsibilidade desses eventos também é fundamental para as comunidades ribeirinhas, pois grande parte da sustentabilidade econômica dessas comunidades dependem dos bens e serviços produzidos pelo corpo d'água.

O número de pulsos de estiagens é de 2,42 ao ano, onde cada pulso tem duração média de 67,07 dias consecutivos. O número de pulsos de cheias não é muito diferente, pois é da ordem de 2,36 ao ano, porém com duração média de 38,60 dias. Esses índices proporcionam a troca de nutrientes entre o corpo hídrico e a planície de inundação, bem como permitem o controle e o recrutamento de vegetação ripária.

A taxa de ascensão de vazão reflete a velocidade de subida do hidrograma. Na seção da UHE-Xingó, essa taxa varia em média 100 m³/s/dia (figura 8).

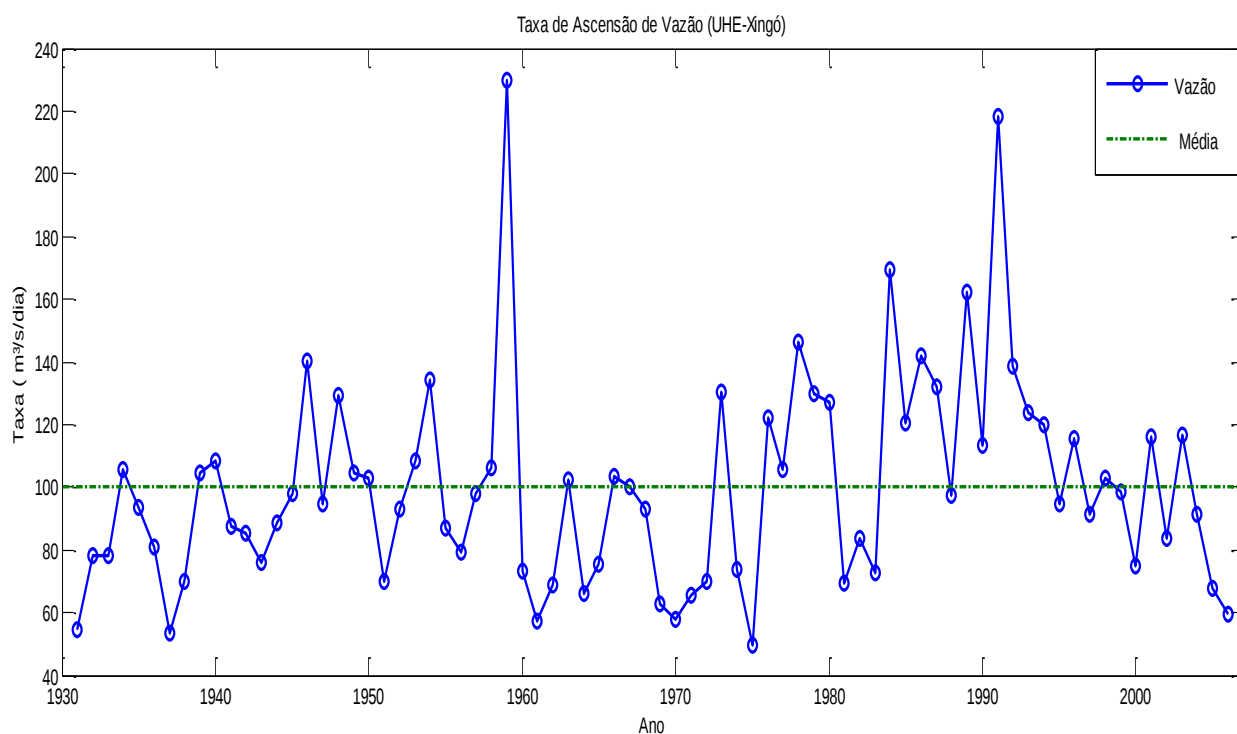


Figura 8 – Taxa de ascensão de vazão (UHE-Xingó)

Quanto à taxa de recessão, reflete o inverso da anterior, onde a velocidade do decaimento do hidrograma varia em média – 69 m³/s/dia (figura 9).

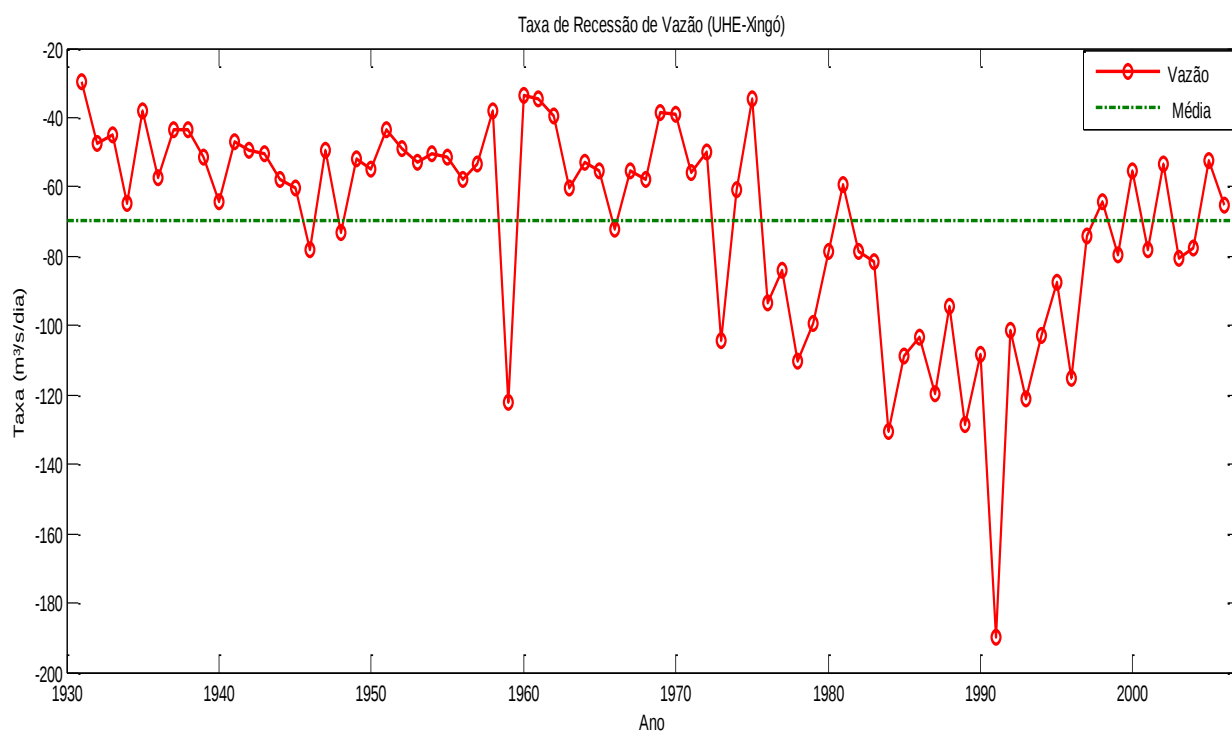


Figura 9 – Taxa de recessão de vazão (UHE-Xingó)

O número de reversões de vazões é em média de 49,46 vezes ao ano (figura 10).

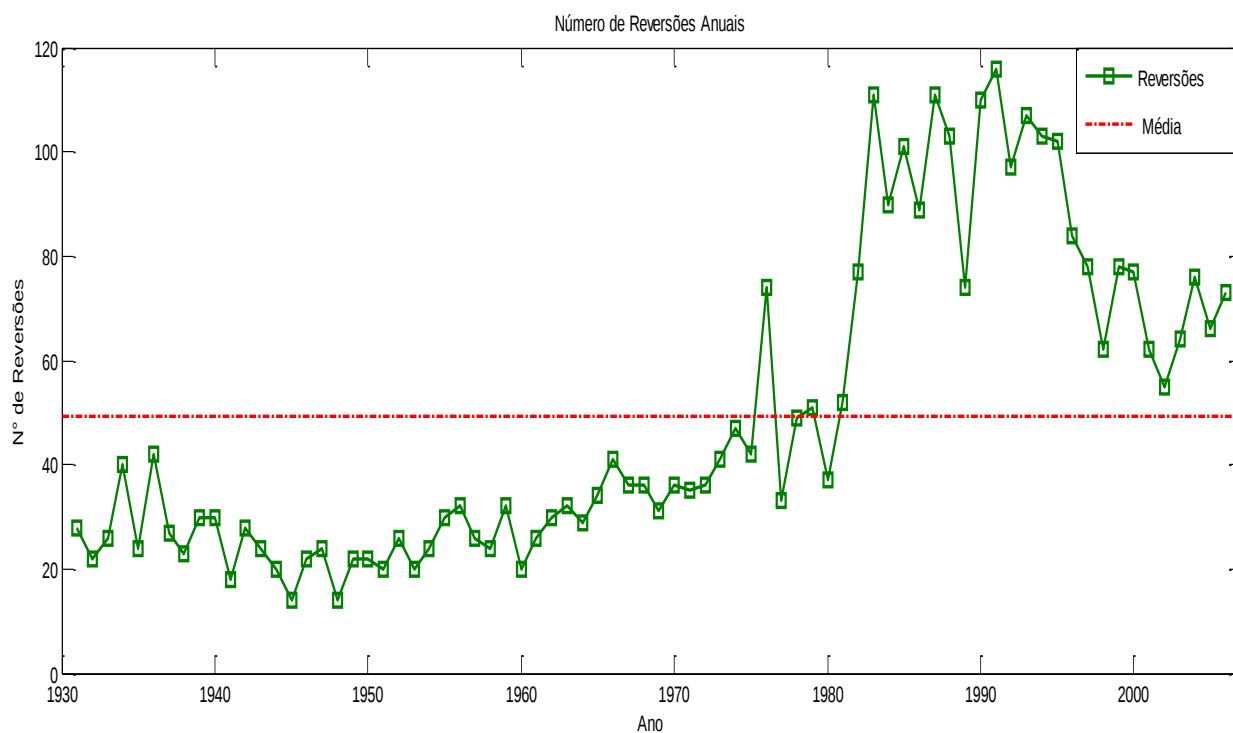


Figura 10 – Número de reversões (UHE-Xingó)

Convém observar que tanto a taxa de recessão de vazão quanto o número de reversões, aumentaram significativamente entre a década de 70 e meados da década de 90, portanto é um

intervalo de tempo relevante para avaliar a magnitude e o tipo de perturbação hidrológica que gerou esse tipo de comportamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Convém notar que os limites padrões (P-25 e P-75) adotados para definir cheias e estiagens se adequaram bem a seção da UHE-Xingó, visto que 98,69% das máximas anuais estão acima do P-75 e 88,15% das mínimas anuais estão abaixo do P-25, porém recomenda-se o levantamento de níveis e de outras informações na calha do rio para obter maior precisão na escolha desses limites.

O intervalo de tempo entre a década de 70 e meados da década de 90 é de grande relevância para avaliar a magnitude e o tipo de perturbação hidrológica que gerou o aumento significativo da taxa de recessão de vazão e do número de reversões anuais.

A caracterização eco-hidrológica do regime natural do rio São Francisco é de grande relevância para instituições que gerenciam os recursos hídricos, pois o conhecimento de índices que representem os padrões de fluxo natural para a seção de interesse, enriquecem a gestão das águas, bem como permitem a previsão de possíveis cenários de alterações hidrológicas e suas consequências em ecossistemas fluviais, devido ao uso e ocupação do solo de forma inadequada e efeitos dos usos múltiplos da água.

AGRADECIMENTOS - Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (UFAL) e a FAPEAL pelo apoio ao desenvolvimento de pesquisas científicas e manutenção da bolsa de estudos.

BIBLIOGRAFIA

CBHSF. (2004). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Módulo 1-Resumo Executivo, Salvador.

CHESF. (2012). *Usina Hidrelétrica de Xingó*. Disponível em: www.chesf.gov.br/portal/page/portal/_chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_bacias/cont_einer_bacias

GORMAN, O. T., KARR, J.R. (1978). *Habitat Structure and Stream Fish Communities*. Ecology. 59: 507- 515.

ONS. *Séries Históricas de Vazões*. 2007, disponível em: www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx

OLDEN, J. D. e POFF, N. L. (2003). *Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes*. River Research and Applications 19(2): 101-121

POFF, N. L., ALLAN, D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R.E. e STROMBERG, J. C (1997). *The Natural Flow Regime*. Bioscience 47(11): 769-784.

RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., POWELL, J. (1996). *A Method for Assessing hydrologic Alteration Within Ecosystem*. Conservation Biology, pages 1163-1174 Volume 10 N° 4.

SOUZA, C.F. (2009). *Vazões Ambientais em Hidrelétricas: Belo Monte e Manso*. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

TNC, The Nature Conservancy. (2007). *Indicators of Hydrologic Alteration :Version 7 User's Manual*.

UNESCO. (2007). *Ecohydrology: An Interdisciplinary Approach for the Sustainable Management of Water Resources*. International Hydrological Programme and the Man and the Biosphere (MAB) Programme.

ZALEWSKI, M., McCLAIN, M. (1998). *"Ecohydrology: A List of Scientific Activities"*. International Hydrological Programme. Technical Documents in Hydrology, N° 21 UNESCO, Paris.

RESH, V. H., BROW, A.V., COVICH, A.P., GURTZ, M.E., LI, H.W., MINSHAL, G.W., REICE S.R., SHELDON, A.L., WALLACE, J.B., WISSMAR, R. (1988). *The Role of Disturbance in Stream Ecology*. Journal of the North American Benthological Society, 7: 433-455s.