

UMA ANÁLISE CLIMÁTICA E ENERGÉTICA SOBRE AS REDUÇÕES DAS VAZÕES DO RIO SÃO FRANCISCO E SEU IMPACTO NO SIN

Patricia Madeira (Climatempo),
Bernardo Bezerra (PSR),
Rafael Kelman (PSR),
Camila Ramos (Climatempo)
Jonathan Mota (Climatempo)

O objetivo deste trabalho é o estudo do clima e da hidrologia da Bacia do Rio São Francisco para compreender as causas que podem ter levado a mudança de padrão da vazão afluente do subsistema Nordeste, que na última década (2006-2015) teve uma redução de 40% da vazão mínima em relação à década de 1986-1995.

E também discutir o uso do modelo Par(p) para projetar o futuro, empregando a premissa da estacionariedade das séries hidroclimáticas.

Na Bacia do Rio São Francisco as principais características das vazões afluentes são:

- (a) forte sazonalidade, com períodos úmidos marcados por maior variabilidade e períodos secos menos voláteis;
- (b) correlação mensal, causada principalmente pelo fenômeno físico do armazenamento da água nos aquíferos durante o período úmido (vazões elevadas no período úmido indicam boas condições hidrológicas no período seco); e
- (c) autocorrelação anual das vazões, fato importante para o planejamento de sistemas com regularização plurianual.

O modelo de séries temporais PAR (p) é capaz de produzir cenários de vazões com estas características, sendo utilizado na programação do despacho hidrotérmico do SIN desde a década de 1990. No caso específico do despacho hidrotérmico, para se determinar o montante de energia que será produzido por cada hidrelétrica no sistema, é fundamental quantificar o volume disponível futuro dos reservatórios.

A utilização deste modelo é baseada na premissa que os registros hidrológicos de precipitação e de vazão são “estacionários”, isto é, com as medições flutuando em torno de um valor médio constante, e com dispersão homogênea. Com aplicação deste método são frequentes os resultados em que a vazão projetada sazonalmente convirja para Média de Longo Termo (MLT).

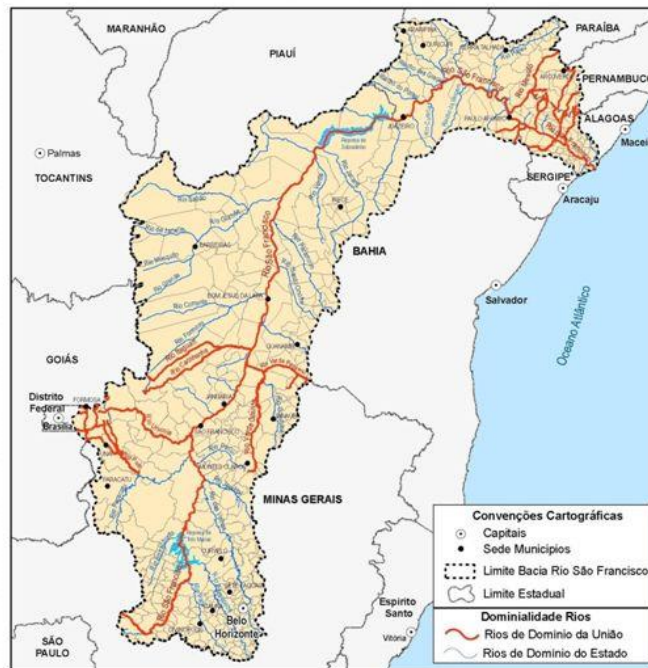
Os dados de precipitação usados como referencia neste estudo são do Climate Prediction Center (CPC). Estes são dados baseados na análise global de precipitação ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de resolução), que é derivada exclusivamente de dados pluviométricos. Os dados diários foram convertidos em acumulados mensais para que fosse extraída a chuva média na área da Bacia do São Francisco. A média climatológica foi calculada utilizando-se dados entre 1979 e 2016.

Os dados de vazão mensal entre 1979 e 2015 estão publicamente disponíveis online no site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). As correlações foram feitas seguindo a fórmula de Pearson.

A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

- Área de drenagem = 636.920 km²
- Número de municípios = 504
- Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal
- População = 18 milhões de habitantes (IBGE 2010)
- Principais Biomas : Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga

CBHSF
Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



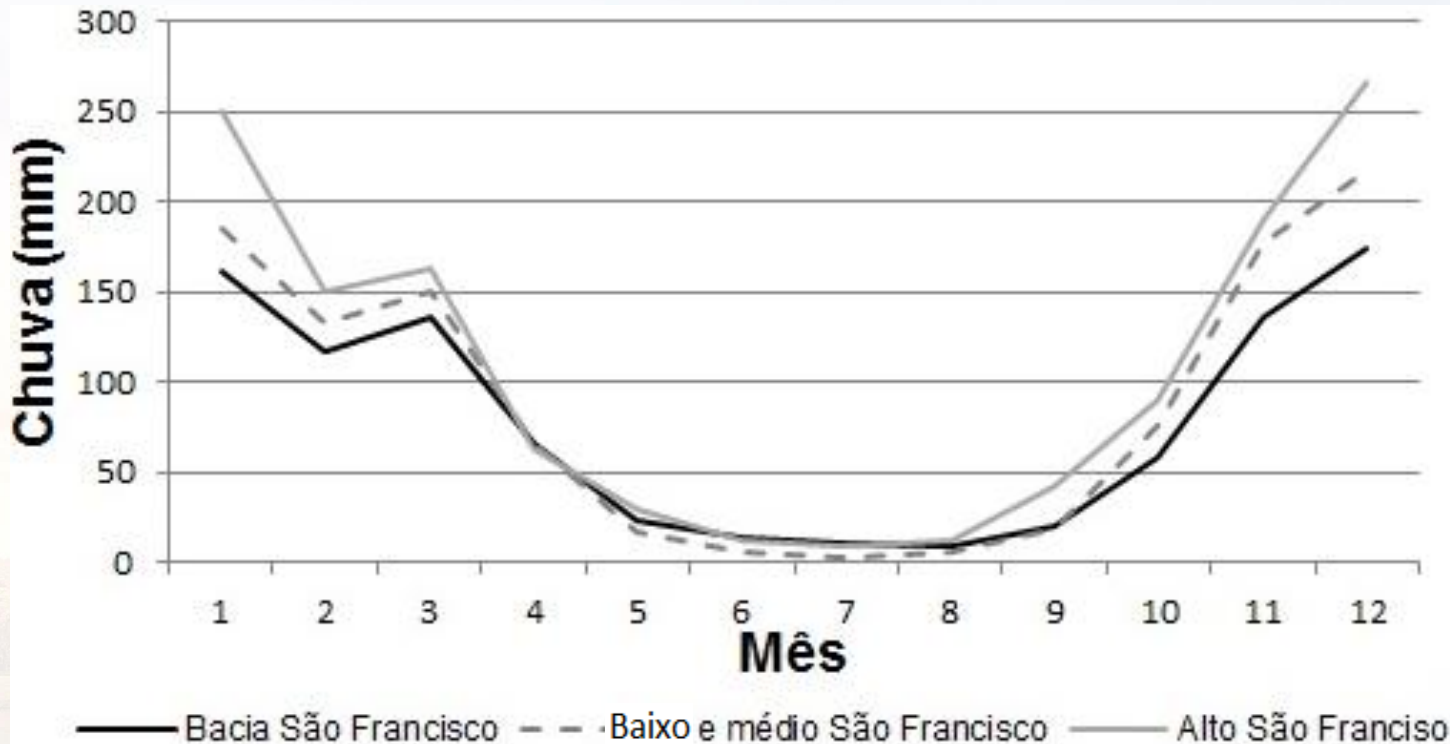
Alto São Francisco: da nascente do rio São Francisco até a cidade de Pirapora (MG) - 110.696 km², 17% da região;

Médio São Francisco: de Pirapora até Remanso (BA) - 322.140 km²; 50% da região;

Sub-médio São Francisco: de Remanso até Paulo Afonso (BA) - 168.528 km²; 26% da região;

Baixo São Francisco: de Paulo Afonso até a foz do São Francisco - 36.959 km²; 6% da região.

Climatologia da Bacia do Rio São Francisco

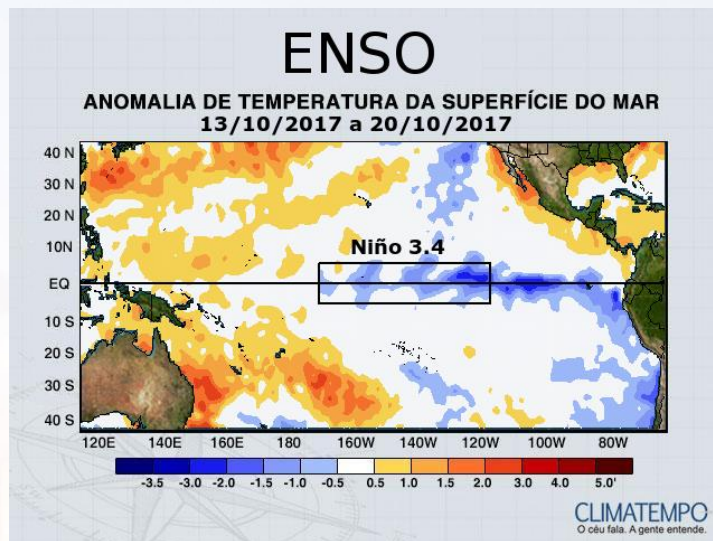


Histograma da Chuva Diaria-Alto SF

Diminuição das vazões mínimas

Vazão mínima (m³/s), calculada a partir do percentil de 5% da vazão diária em no Alto (Três Marias), Médio (Sobradinho) e Baixo (Xingó) São Francisco nas últimas três décadas (1986-2015)

Sub-bacias	1986-1995	1996-2005	2006-2015
Três Marias	143	106	88
Sobradinho	836	615	525
Xingó	918	629	541

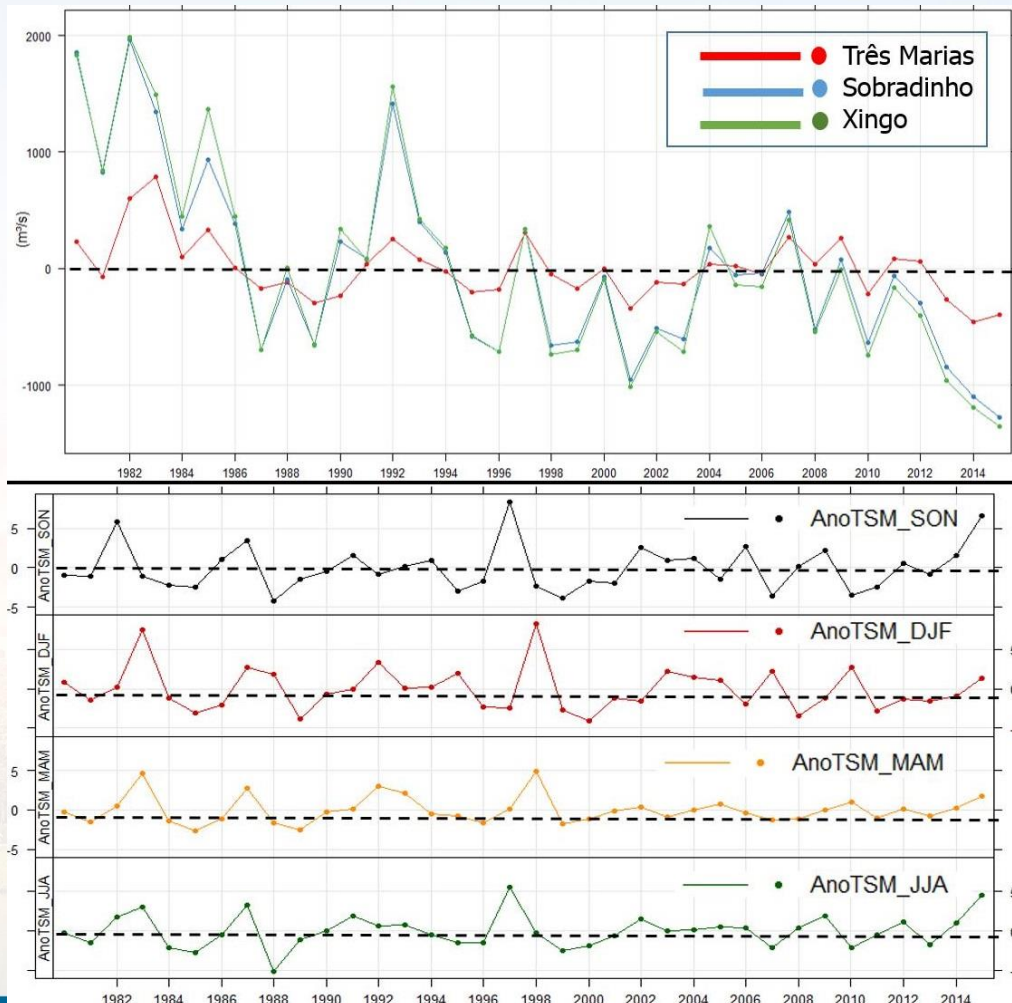


De maneira geral, neste estudo a anomalia negativa da vazão anual estava associada a um leve acréscimo da anomalia da temperatura média superficial (TSM) do Oceano Pacífico do trimestre de Set-Out-Nov do ano anterior e aos demais trimestres do ano corrente, salvo a exceção do período a partir de 2011, onde o padrão da TSM foi anormalmente quente com a vazão anual predominantemente abaixo da média.

Anomalias:

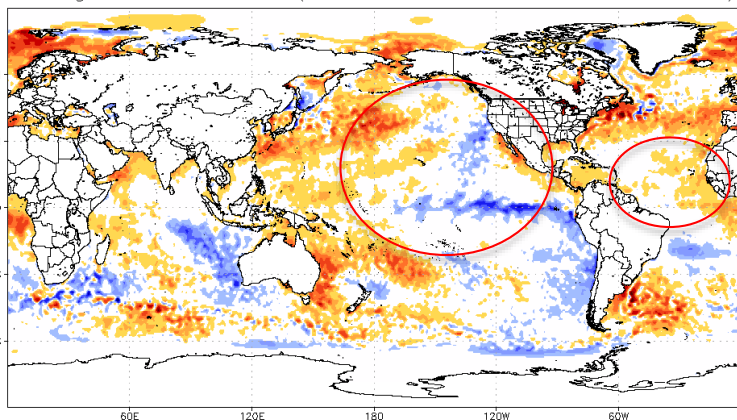
Vazão média anual durante o ano hidrológico (Out a Set) da vazão natural afluente aos reservatórios de Três Marias, Sobradinho e Xingo;

TSM acumulada nos trimestres Set-Out-Nov (SON), Dez-Jan-Fev (DJF), Mar-Abr-Mai (MAM) e Jun-JUL-Ago (JJA) na região do Niño3 do Oceano Pacífico equatorial.



Anomalia ENSO

Average SST Anomalies (00Z13OCT2017 - 00Z20OCT2017)



Outras hipóteses

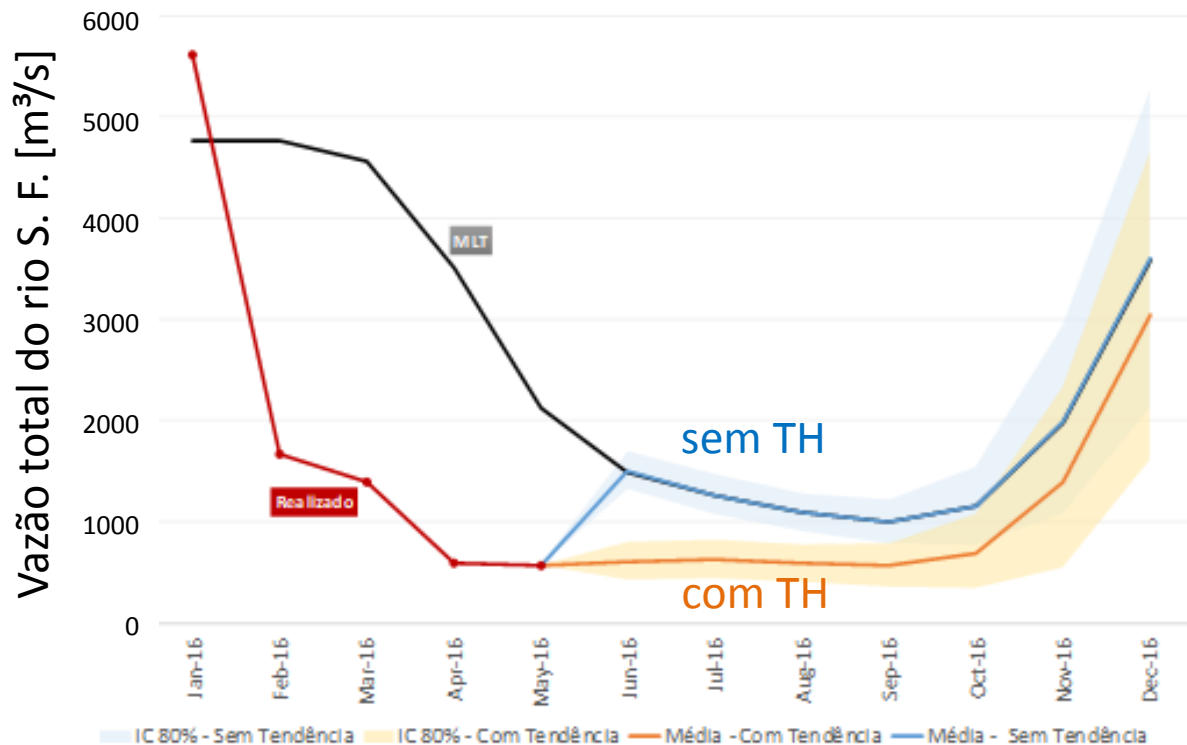
AMO positiva (Oscilação Multidecadal do Atlântico - dipolo do Atlântico) + PDO negativa (Oscilação Decadal do Pacífico) correspondem a ENA (Energia Natural Afluyente) abaixo de 100%

PERÍODO	AMO	PDO	ENA NE (%)
dez51-fev52	0,18	-1,74	68
dez52-fev53	0,27	-0,50	77
dez53-fev54	0,20	-0,65	84
dez54-fev55	0,03	-0,30	81
dez12-fev13	0,14	-1,17	58
dez13-fev14	-0,02	-0,72	65

Utilização do PAR(p) no despacho hidrotérmico

Projeções de vazões ignorando a tendência hidrológica (TH) podem gerar séries irrealistas, com impactos no SIN, tanto no planejamento quanto na operação.

- GFOM
- GF

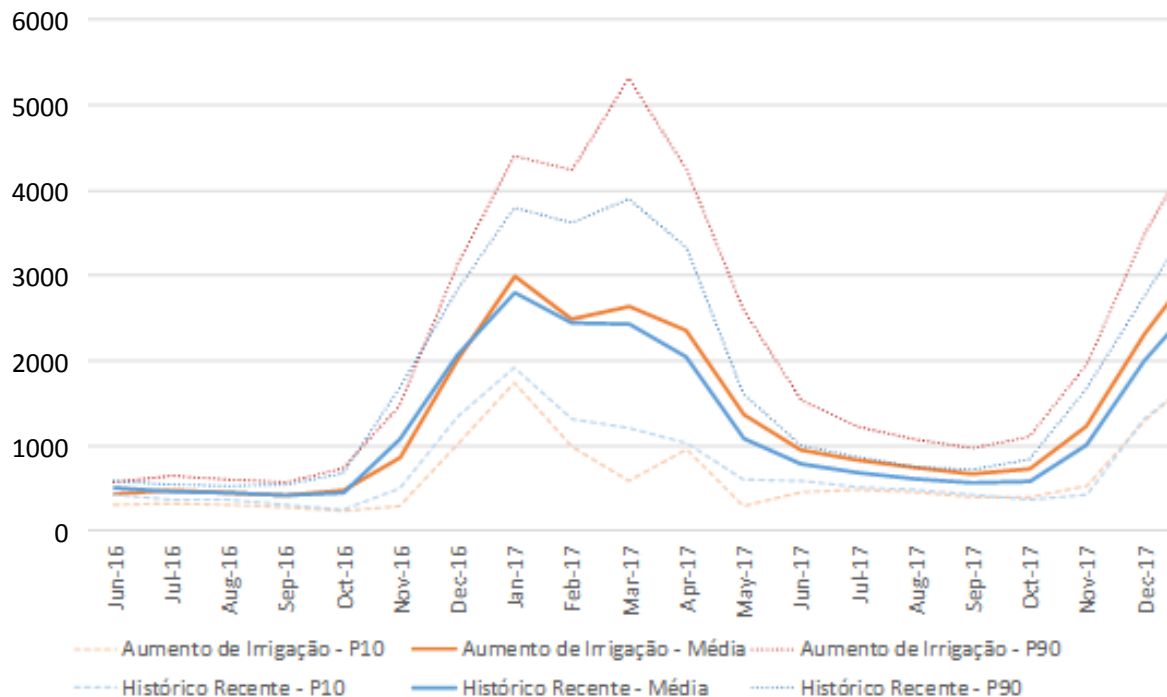


ALTERNATIVAS solução utilizando o modelo $PAR(p)$

(i) corrigir (aumentar) a estimativa de retirada de água a montante de Sobradinho – de modo que a probabilidade de aflúências acima e abaixo da MLT sejam aproximadamente 50%;

(ii) estimar os parâmetros do modelo $PAR(p)$ utilizando apenas o período 1993-2015.

Vazões em Sobradinho [m^3/s]



CONCLUSÕES

- ✓ É inegável a drástica diminuição da vazão ocorrida a partir de 2006 em todo o Rio São Francisco.
- ✓ Mesmo fenômenos que anteriormente contribuíram para o aumento da chuva na Bacia não apresentaram o mesmo efeito a partir de 2011 (aquecimento do Oceano Pacífico na região do Niño 3).
- ✓ A maior parte dos índices oceânicos e oceânicos-atmosféricos insoladamente apresentam baixa correlação com a chuva na Bacia do Rio São Francisco.
- ✓ No entanto, existe correlação entre AMO positiva e PDO negativa com a vazão e, por consequência, no comportamento da ENA na Bacia.
- ✓ Não é possível afirmar com certeza as causas da diminuição da chuva no Nordeste do Brasil nos últimos 10 anos. As hipóteses são: mudança estrutural do regime hidrológico a partir da mudança do uso da água e do solo ou ciclo natural da atmosfera, ou ainda, as duas hipóteses podem ser verdadeiras.

Previsão – não há indicativos oceânicos que indiquem o retorno das chuvas regulares no próximo período úmido.

Não necessariamente o modelo PAR(p) deva ser rejeitado e, muito menos, que devemos passar a realizar análises energéticas sem tendência hidrológica, ou apenas com as séries históricas, que são úteis para diversas análises.

Este artigo propôs ajustes nos dados de entrada do modelo para que este faça projeções mais aderentes à realidade.


Cabe ressaltar que outras deficiências do modelo PAR(p) não foram analisadas nesse artigo, como por exemplo, a não representação de não-linearidades observadas na correlação temporal e na correlação entre as usinas, e a modelagem de antecipações ou atrasos no período úmido.

PATRICIA DIEHL MADEIRA

 (11) 3736-4503

 (11) 99420-5464

 patricia@climatempo.com.br

 www.climatempo.com.br