

# Variabilidade Climática das Vazões em Bacias Brasileiras

Daniel Andres Rodriguez<sup>1</sup>, José Lázaro Siqueira Junior<sup>1</sup>, Rita de Cassia Silva von Randow<sup>1</sup>, Rochane de Oliveira Caram<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciência do Sistema Terrestre – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE), <sup>2</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)

daniel.andres@inpe.br

---

## Resumo

O Brasil conta com mais de 12% da água doce do planeta, o que lhe confere uma posição privilegiada quanto à disponibilidade hídrica. Com o aumento da população e o desenvolvimento econômico, a pressão sobre o recurso hídrico tem aumentado, evidenciando a necessidade de monitoramento que sirva ao prognóstico e planejamento da disponibilidade dos recursos hídricos. Esta necessidade é ainda acentuada pela distribuição espacial irregular das águas superficiais. Dada a extensão continental do Brasil, que apresenta um grande gradiente climático associado com diferentes biomas, o comportamento hidrológico é diferenciado nas bacias das diversas regiões. Séries históricas de vazões naturais do período 1970-2013 nos principais reservatórios de bacias brasileiras mostram os diferentes regimes ao longo do país.

**Palavras chave:** Bacias Brasileiras, Monitoramento Hidrológico, Variabilidade Hidrológica

---

## 1. Introdução

O desenvolvimento das sociedades humanas tem estado atrelado com a disponibilidade e o acesso à água. Através da história, as diferentes civilizações lidaram com a variabilidade do recurso, desenvolvendo diferentes métodos para captura de águas de diversas fontes, seu armazenamento, condução e tratamento. Com o aumento da população e o desenvolvimento econômico, a pressão sobre este recurso tem aumentado, evidenciando a necessidade de monitoramento que sirva ao prognóstico e planejamento da disponibilidade dos recursos hídricos. Esta necessidade é ainda acentuada pela distribuição espacial irregular das águas superficiais.

O Brasil conta com mais do 12% da água doce do planeta, o que lhe confere uma posição privilegiada quanto à disponibilidade hídrica. Não obstante, a maior parte deste volume se encontra na Região Norte, enquanto que menos de 20% dos recursos hídricos do país se concentra nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, onde se encontra a maior porcentagem da população. No país, os usos da água para irrigação, abastecimento urbano e industrial representam 46%, 28% e 18% do consumo total. Ainda, a matriz energética do país é baseada majoritariamente na produção de energia hidroelétrica, o que acentua a importância do monitoramento do recurso.

A limitação do recurso hídrico, exacerbada ainda pela degradação da qualidade das águas e gestão ineficiente, tem levado a conflitos entre os diversos usuários do recurso. O abastecimento de água para o consumo humano, a agricultura, a produção de energia, a prevenção de inundações e a recreação representam interesses conflitantes na hora de dividir um recurso limitado. Ainda, a interdependência entre água, agricultura e energia, a qual torna-se mais complexa sob as mudanças ambientais globais e o incremento acentuado da população, condiciona o êxito de práticas sustentáveis em algum destes âmbitos à sua integração com os restantes (Gulati et al, 2013).

## 2. Variabilidade das vazões

Dada a extensão continental do Brasil, que apresenta um grande gradiente climático associado com diferentes biomas, o comportamento hidrológico é diferenciado nas bacias das diversas regiões (Figura 1, Tabela

1). Séries históricas de vazões naturais (ONS, 2016) do período 1970-2013 nos principais reservatórios de bacias brasileiras mostram os diferentes regimes ao longo do país (Figura 2).

Tabela 1: Estações fluviométricas com vazões naturais (ONS, 2016)

Bacia	Estação
Amazonas	1. Samuel - RO
Tocantins	2. Tucuruí - PA
São Francisco	3. Sobradinho - BA
	4. Três Marias - MG
Paraná	5. Água Vermelha - SP
	6. G. B. Munhoz - PR
	7. Salto Santiago - PR
Atlântico Sudeste	8. Passo Fundo - RS
Uruguai	9. Passo Real - RS

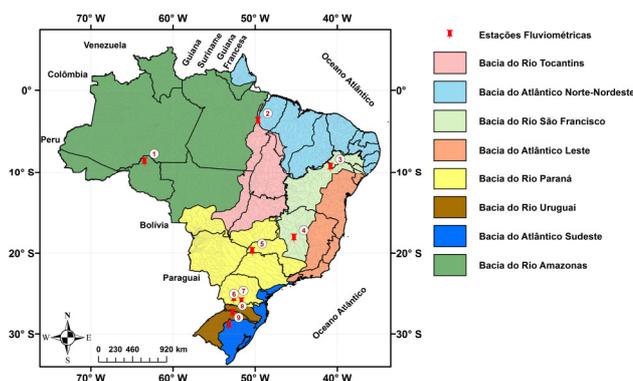


Figura 1: Localização das estações fluviométricas

O comportamento climatológico das vazões é representado pelas Médias de Longo Termo (MLT). Na bacia da estação de Samuel, na bacia Amazônica, a cheia acontece entre fevereiro e abril, com o máximo da MLT em março, enquanto que entre julho e outubro é o período de estiagem, com o mínimo em setembro. O ciclo anual da MLT das vazões em Tucuruí, na bacia do Tocantins, apresenta uma variabilidade similar. A cheia em Tucuruí acontece entre janeiro e maio, com o máximo em março e abril, e a estiagem entre agosto e outubro, com o mínimo em setembro. Na bacia do São Francisco, o ciclo anual é mais pronunciado em Sobradinho, na parte baixa da bacia, do que em Três Marias, na alta bacia. Em sobradinho, o período de cheia vai de dezembro até abril, com o máximo em fevereiro, e a estiagem acontece entre junho e outubro, com o mínimo em setembro. Em Três Marias o ciclo é similar, com o máximo em janeiro e o mínimo em setembro. Na bacia do Paraná, a estação de Ilha Solteira junta as águas da região nordeste da bacia, com um ciclo anual similar ao observado na bacia do São Francisco, enquanto que as estações de Munhoz e Salto Santiago, que drenam regiões mais ao sul, apresentam um ciclo diferenciado. Em Ilha Solteira a cheia acontece entre dezembro e abril, com o máximo em fevereiro, e a estiagem entre julho e outubro, com mínimo em setembro. Por outro lado, em Munhoz e Salto Santiago, o hidrograma da MLT apresenta o máximo em outubro, com um pico secundário entre junho e julho, e o mínimo em abril. Na bacia do Atlântico Sudeste, na estação de Passo Real, a cheia na MLT acontece entre maio e novembro, com o máximo entre setembro e outubro, enquanto que o mínimo é contabilizado em março. Passo Fundo, na bacia do Uruguai, apresenta um ciclo anual da MLT similar ao sudeste, com máximo em outubro e mínimo em março.

As séries históricas de vazões naturais apresentam grande variabilidade interanual em todas as estações (Figura 2). Esta variabilidade está associada a anomalias de temperaturas oceânicas que regem a variabilidade

climática nas diferentes bacias (Espinoza Vilar et al 2009). As séries de vazões anuais médias, máximas e mínimas apresentam, em algumas estações, tendências significativas entre 1970 e 2013 (Tabela 2). Em Samuel, no Amazonas, as vazões máximas anuais apresentam uma tendência positiva, enquanto que em Tucuruí, no Tocantins, há tendências negativas nas séries de vazões mínimas e médias. Na bacia do São Francisco, as tendências são negativas nas vazões mínimas, máximas e médias em Sobradinho e nas vazões mínimas em Três Marias. A Estação de Água Vermelha, na parte nordeste da bacia do Paraná, apresenta também tendências negativas nas vazões mínimas, enquanto que em Salto Santiago, mais ao sul, há tendências positivas nas vazões máximas e médias. Nesta mesma bacia, na estação de Munhoz, as tendências são negativas nas vazões mínimas e positivas nas máximas. No Atlântico Sudeste, na estação de Passo Fundo, as vazões mínimas e máximas apresentam tendências positivas, da mesma forma que as vazões mínimas em Passo Real, na bacia do Uruguai.

Tabela 2: p-values do Teste de Mann-Kendall. Os valores sombreados representam tendências positivas (laranja) ou negativas (azul) com 5% de significância.

Bacia	Estação	Qmin	Qmax	Qmed
Amazonas	Samuel - RO	-	0.001968	0.584949
Tocantins	Tucuruí - PA	0.000003	0.663625	0.346896
São Francisco	Sobradinho - BA	0.000048	0.148082	0.020549
	Três Marias - MG	0.010810	0.649007	0.530604
Paraná	Água Vermelha - SP	0.073418	0.959667	0.723339
	G. B. Munhoz - PR	0.460307	0.131804	0.557454
	Salto Santiago - PR	1.000000	0.244773	0.306998
Atlântico Sudeste	Passo Fundo - RS	0.217225	0.153836	0.919437
Uruguai	Passo Real - RS	0.119329	0.564269	0.738553

### 3. Produção de energia

A variabilidade das vazões nos reservatórios é refletida na produção de energia. A variabilidade na produção de energia é evidenciada através do indicador de Energia Armazenada divulgado pelo Operador Nacional do Sistema Eléctrico (ONS) para cada um dos subsistemas que compõem o Sistema Integrado Nacional (SIN). Os maiores valores de Energia Armazenada correspondem ao subsistema Sudeste-Centro Oeste, baseado principalmente nas bacias do Paraná e Paraguai, seguido pelo subsistema Nordeste, baseado principalmente na bacia do São Francisco (Fig. 3). Ambos os subsistemas mostram uma queda acentuada em 2001, ano em que o fornecimento de energia no país foi afetado. As séries também apresentam um declínio a partir de 2011 até 2014, ano de seca extrema na região Sudeste do Brasil caracterizado por uma crise hídrica estabelecida nessa região.

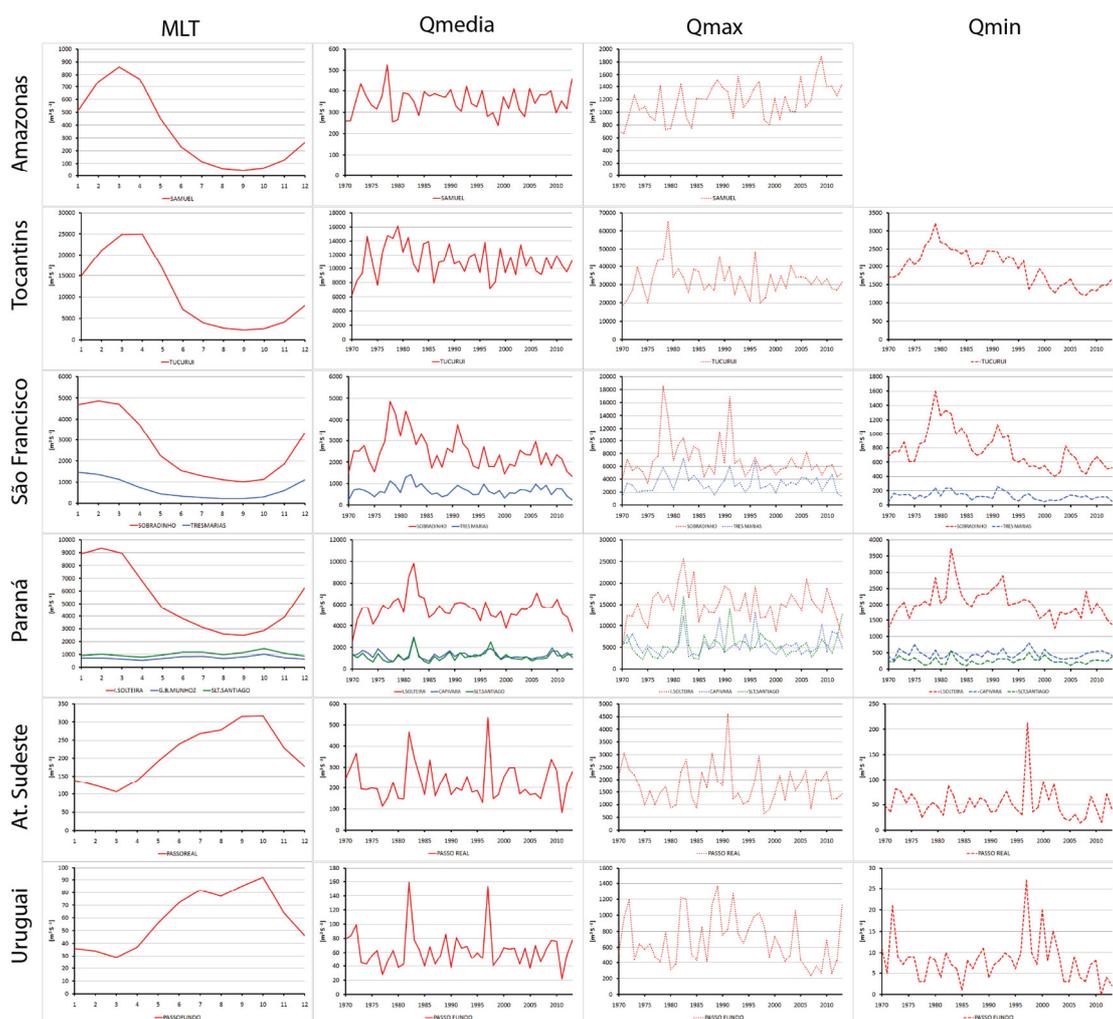


Figura 2: Médias de Longo Termo e séries de vazões naturais médias, máximas e mínimas

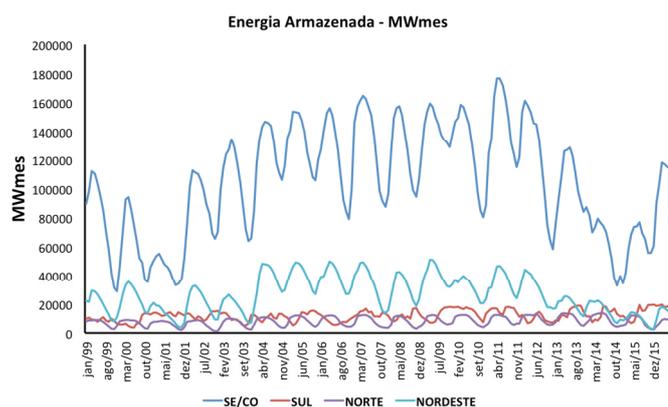


Figura 3: Energia Armazenada nos subsistemas do SIN

#### 4. Mudanças Climáticas

Projeções climáticas até o final do século indicam que as Mudanças Climáticas afetarão a disponibilidade de recursos hídricos nas bacias brasileiras em diferentes graus. As potenciais mudanças no regime hidrológico afetarão a disponibilidade hídrica podendo exacerbar os conflitos pelo uso da água. Em geral, os diferentes

cenários de projeções hidrológicas diferem entre si, formando um leque de potenciais impactos nos recursos hídricos. No Brasil, estudos de impactos das mudanças climáticas têm mostrado esta dispersão entre cenários e modelos (Mohor et al., 2015, Siqueira Junior et al., 2015). Alguns estudos apontam a um incremento das vazões na Região Sul do Brasil e na parte sul da bacia do Paraná, enquanto que na região Amazônica, um maior número de projeções indica a diminuição das vazões (Collischonn et al., 2015).

Projeções de mudanças nas vazões sob o efeito das mudanças climáticas, obtidas como modelo MHD-INPE (Rodríguez e Tomasella 2016) utilizando projeções climáticas de diversos modelos atmosféricos mostram uma redução das vazões na bacia do Tocantins, na Região Norte, e na bacia do Parnaíba, na Região Nordeste (Fig. 4). Nas bacias do Rio Madeira e Xingu, no Amazonas, existe maior discrepância quanto ao impacto nas vazões de cheia. Na Região Sudeste, na bacia do Rio Paraíba do Sul, a dispersão entre projeções afeta tanto as vazões de cheia quanto as estiagens.

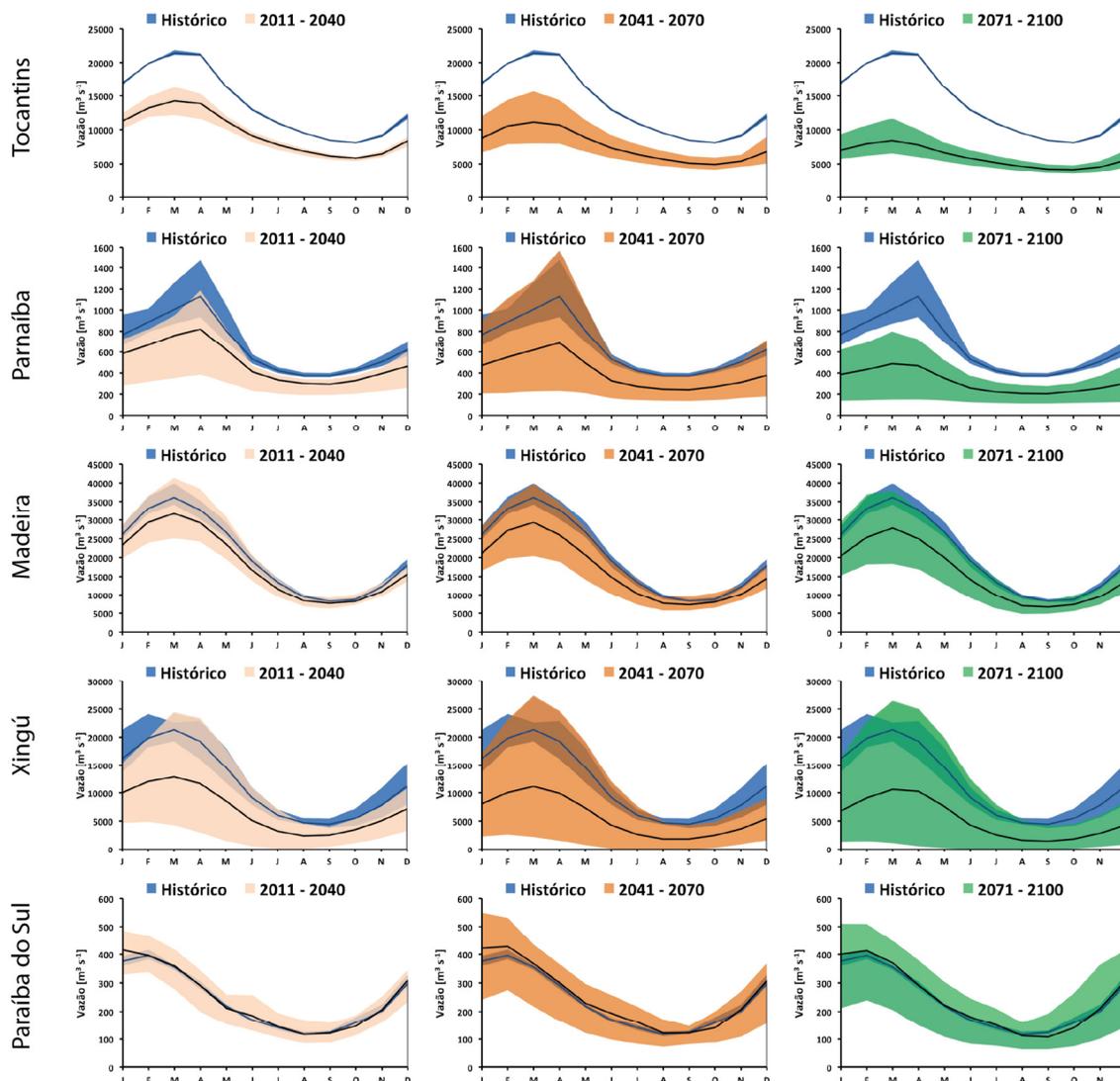


Figura 4: Impactos das mudanças climáticas nas vazões médias mensais em diferentes bacias Brasileiras. O sombreado azul corresponde à variabilidade inter-modelos no período histórico (1970-1990). A variabilidade inter-modelos no futuro é apresentada pelo sombreado rosa (2011-2040), laranja (2041-2070) e verde (2071 – 2100).

## 5. Referências

- Collischonn W, Bravo JM, Silva BC, Rodriguez DA. 2015. Impactos nas Afluências das principais Bacias In: Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. 1 ed. São Paulo : AES Tietê, 2015, v.1, p. 245-346.
- Gulati M, Jacobs I, Jooste A, Naidoo D, Fakir S. 2013. The water-energy-food security nexus: Challenges and opportunities for food security in South Africa. *Aquatic Procedia* **1** : 150-164. doi: 10.1016/j.aqpro.2013.07.013. 0.1016/j.ejrh.2015.04.003.
- Mohor, GS, Rodriguez DA, Tomasella, J, Siqueira Júnior JL. 2015. Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant. *Journal of Hydrology*, **4**: 41-59.
- ONS, 2016. Operador Nacional do Sistema Elétrico. <http://www.ons.org.br/home/> . Acessado em 19 de Agosto de 2016.
- Rodriguez DA, Tomasella J. 2016. On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. *Hydrological Sciences Journal* **61**:1831-1846. doi: 10.1080/02626667.2015.1051979.
- Siqueira Júnior, JL, Tomasella J, Rodriguez DA. 2015. Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. *Climatic Change*, **129** :117-129. doi: 10.1007/s10584-015-1338-x.
- Espinoza-Villar JC, Guyot JL, Ronchail J, *et al.* 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004) *J. Hydrol.*, **375** : 297–311.