

# RELAÇÕES ENTRE A VARIABILIDADE CLIMÁTICA E A MUDANÇA NO USO DO SOLO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE EVENTOS DE SECA

Caroline Melo Ribeiro, Daniel Andres Rodriguez

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia

**RESUMO:** Os recursos hídricos subterrâneos se encontram em declínio em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, mais especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF). A depleção nos níveis de água subterrânea pode estar relacionada a variabilidade climática e também ao uso e cobertura da terra. Em 2012 começou um período de seca na BHRSF, causada pela queda nos níveis de precipitação. Isto pode ser detectado em dados de armazenamento total de água e de nível de água subterrânea. Porém, apesar da clara interferência climática, é necessário investigar como a mudança no uso e cobertura da terra pode também ter atingido os sistemas aquíferos da região, dado que, desde 2002 as áreas naturais estão sendo suprimidas, ao passo que se tem desenvolvido agricultura, que é irrigada em alguns locais, e pastagens.

**Palavras-chave:** Água subterrânea; Seca; Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

**ABSTRACT:** The subterranean water resources are decreasing in different parts of the world, including in Brazil, specifically at the São Francisco River Hydrographic Basin (SFRHB). The groundwater levels depletion can be related to climatic variability and also to land use and cover change. In 2012, a drought period started at the SFRHB, caused by a shortfall in the precipitation levels. This drought can be detected in total water storage and groundwater level data. However, despite the clear climatic interference, it is necessary to investigate how the land use and cover change could also have reached the region's aquifer systems, given that, since 2002 natural areas are being suppressed, while pasture and agriculture, which is irrigated in many places, are being developed.

**Keywords:** Groundwater; Drought; São Francisco River Hydrographic Basin

## INTRODUÇÃO

Em muitos lugares no mundo, principalmente nas regiões semiáridas e áridas, a água subterrânea é o principal recurso hídrico, seja para uso doméstico, seja para atividades industriais ou agricultura (UNESCO, 2004). No entanto, é perceptível que em alguns locais, principalmente onde há agricultura irrigada, este recurso hídrico se encontra em declínio (DÖLL, SCHMIED, *et al.*, 2014, RODELL, FAMIGLIETTI, *et al.*, 2018, SCANLON, FAUNT, *et al.*, 2012, SIEBERT, BURKE, *et al.*, 2010). Diversas investigações a respeito deste fenômeno estão sendo encaminhadas, e, de forma geral, apontam que um maior consumo dos recursos hídricos subterrâneos pode tanto ser causado por um evento climático de seca quanto pode também ser um dos fatores que causam uma seca (APPLEYARD, COOK, 2009, SCANLON, FAUNT, *et al.*, 2012).

Um desafio à investigação dos níveis de água de aquíferos está no fato de que os poços de monitoramento se encontram dispersos espacialmente, principalmente no Brasil. Então, como ferramenta auxiliar, dados de armazenamento total de água, total water storage (TWS), numa seção vertical, disponíveis através da missão Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), da agência espacial americana, NASA, são utilizados. Estes são correlacionados com dados de poços de monitoramento e analisados conjuntamente a séries de precipitação e mudança no uso e cobertura da terra.

No Brasil, alguns poços de monitoramento de água subterrânea da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF) apresentam quedas consideráveis em seus níveis. Isto também é perceptível quando são observadas séries de armazenamento total de água

para a mesma região a partir de 2012, ano em que se inicia um período de seca prolongada nesta área (MARENGO, TORRES, *et al.*, 2017).

Esta seca iniciada em 2012, aumentou a pressão nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, afetando a agricultura, pecuária, geração de energia elétrica e uso para consumo humano (MAGALHÃES, MAGALHÃES, 2019, MARENGO, TORRES, *et al.*, 2017). Porém, é importante também avaliar a possibilidade da interferência da mudança do uso e cobertura da terra nos sistemas aquíferos da BHRSF, que poderia tornar um evento episódico numa depleção continuada da água subterrânea.

Assim, este estudo propõe compreender as relações entre o clima e a mudança no uso e cobertura da terra e a interferência que estes podem causar no armazenamento de água em sistemas aquíferos na BHRSF.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados e metodologia aplicados foram feitos na área da bacia do Rio São Francisco que abrange as unidades hidrogeológicas granulares correspondentes ao aquífero Urucuia, no oeste da Bahia e noroeste de Minas Gerais, e unidades hidrogeológicas cársticas aflorantes e subterrâneas presentes em parte do oeste e norte de Minas Gerais e oeste da Bahia (Figura 1).

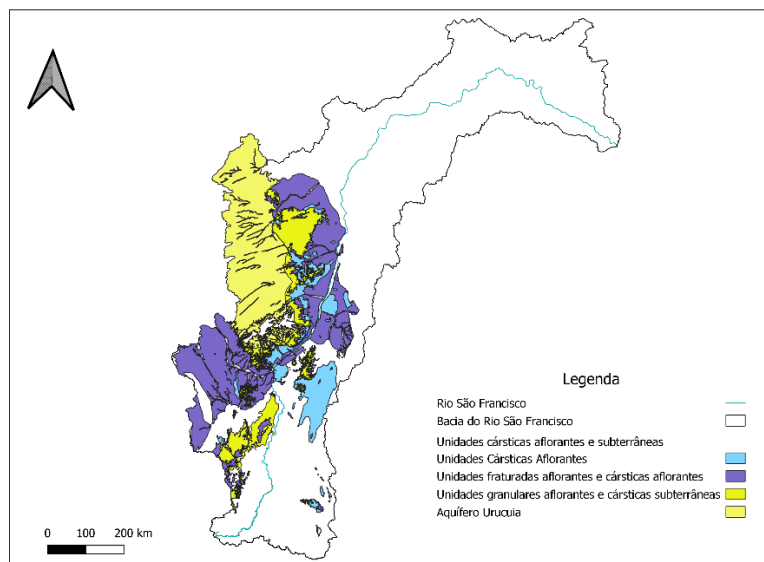


Figura 1 - Mapa com a localização da região de estudo.

Para a investigação das questões propostas, foram utilizadas séries temporais de dados de TWS da missão GRACE para a seção vertical da área de estudo, dados de uso e cobertura da terra obtidos na base do projeto Mapbiomas, dados de precipitação do produto MERGE, do INPE, e dados locais de nível de água subterrânea da Rede Integrada de Monitoramento de Água Subterrânea (RIMAS), do Serviço Geológico do Brasil.

As séries dos produtos citados foram analisadas em Python, com apoio das bibliotecas Numpy, Pandas, Xarray, Scikit Learn, Xgrads e Matplotlib. Foi decidido trabalhar com uma série temporal de 2002 a 2017, período escolhido de acordo com a disponibilidade dos dados de armazenamento de água. Tanto para o armazenamento de água quanto para a precipitação foi realizada a média de todos os pixels localizados na área de interesse e também foi calculado um valor de anomalia. Para as séries de armazenamento de água, uso e cobertura da terra e precipitação foram feitos testes de detecção de mudanças e tendências, os testes Pettitt e Mann-Kendall respectivamente. Além disso, quando detectadas tendências crescentes ou decrescentes, sua magnitude foi estimada com o teste Sen Slope.

As séries de nível de água subterrânea obtidas pela RIMAS iniciam entre o período de 2011 e 2014, e então foram correlacionadas, através de uma regressão linear, com os dados de armazenamento total de água para o período em que começam as medições do nível de água subterrânea até 2017. Além

disso, foram escolhidos poços de monitoramento em que o nível de água apresentasse uma resposta mais imediata às variações sazonais de água que ocorrem em resposta a precipitação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises foram iniciadas com os dados de armazenamento de água, onde o teste Pettitt apontou para uma mudança em 2012. Na região onde se localiza o aquífero Urucuia na BHRSF, a mudança na média foi em abril, para a média em toda a região, e março do mesmo ano quando se considera a série de anomalia. Já para a região que contempla as unidades hidrogeológicas cársticas e a união entre estas e as unidades granulares que compõem o Urucuia, o ponto de mudança para a média regional é no mês de junho, e na anomalia é para o mês de novembro.

Em todos estes casos, o teste de Mann-Kendall aponta que não há tendência no período entre o início da série e o ponto de mudança, mas que, a partir do ponto de mudança, é observada tendência decrescente. Para a região do aquífero Urucuia, essa tendência foi quantificada, pelo Sen's slope, em -0,487 cm e -0,587 cm para a média regional e a anomalia, respectivamente. Já na área onde há unidades cársticas, as descidas são de -0,575 cm para a média regional e -0,708 cm, enquanto que para a área total as tendências são -0,539 cm e -0,681cm para a média regional e anomalia, respectivamente.

As séries de classes de uso e cobertura da terra para o mesmo período apresentam, de uma forma geral, tendências de queda para as classes naturais, e tendências crescentes para as classes antrópicas em toda a região estudada.

Nas séries de precipitação foi identificado um ponto de mudança em janeiro de 2012. Tal resultado se encontra então de acordo com o consenso de que a seca se iniciou a partir de 2012 com a queda nos níveis de precipitação neste ano (MARENGO, TORRES, *et al.*, 2017, TARGA, BATISTA, 2015).

Para a correlação dos níveis de água subterrânea e o armazenamento de água, foram escolhidos cinco poços da RIMAS, todos eles no domínio do aquífero Urucuia. Três deles localizados no oeste da Bahia, os poços 2900020679, 2900020688 e 2900021800, e identificados como aquíferos porosos no ponto. E dois localizados no noroeste de Minas Gerais, o poço 3100020883, identificado pontualmente em área de aquífero fissural, e o poço 3100020985, em área de aquífero poroso. O nível da água nestes poços varia entre as profundidades de 4m e 7m, e apresentam variações sazonais no nível.

A regressão linear feita entre esses e os dados de TWS apresenta um coeficiente de correlação,  $R^2$ , de 0,8299, 0,8803, e 0,8031 para os poços 2900020679, 2900020688 e 2900021800 respectivamente, e um  $R^2$  de 0,1504 e 0,3390 para os poços 3100020883 e 3100020985, respectivamente.

Os anos de 2012 a 2015 são parte de um período documentado de seca, causada principalmente por um déficit de precipitação na região (MARENGO, TORRES, *et al.*, 2017, TARGA, BATISTA, 2015), porém, também é importante avaliar a influência que a mudança no uso e cobertura da terra pode ter no agravamento das condições de seca, principalmente para a região oeste da Bahia. As tendências decrescentes nos dados de armazenamento de água, sua boa correlação com os níveis de água em poços de monitoramento, e supressão da vegetação natural em detrimento do desenvolvimento da agricultura, que em alguns casos é irrigada, indicam que deve também ser considerada a interferência da mudança no uso e cobertura da terra neste evento.

Além disso, é interessante investigar quais fatores são responsáveis pelas boas correlações entre os postos do oeste da Bahia e o TWS e a má correlação entre os poços do noroeste de Minas Gerais e o TWS. Dados dos perfis litológicos dos poços apontam diferenças entre a litologia de cada área, onde, no oeste da Bahia predominam rochas arenosas, enquanto que no noroeste de Minas Gerais também são presentes rochas argilosas e, no poço 3100020883, rocha calcária.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como em outros locais do mundo, observa-se no Brasil uma queda considerável nos níveis de água subterrânea, principalmente em locais onde há agricultura irrigada. Esta queda é observada principalmente a partir do ano de 2012, quando começou uma seca climática na região.

Para que este evento de seca e a mudança na cobertura e uso da terra e suas interferências na

água subterrânea fossem melhor compreendidas, foi feita uma análise de dados de armazenamento total de água, nível de água em poços de monitoramento de água subterrânea, precipitação, e mudança no uso e cobertura da terra. Esta análise foi feita para a região do Aquífero Urucuia na Bacia do São Francisco, e onde há unidades hidrogeológicas cársticas aflorantes e subterrâneas. Foi identificado um ponto de mudança na média da precipitação em 2012, e uma queda nos níveis de água subterrânea, que se correlacionam com o declínio no armazenamento total de água. Além disso, há evidências de supressão de áreas naturais, e, em contrapartida, o desenvolvimento de agricultura e pastagens nas áreas de interesse.

A seca climática iniciada em 2012 de fato foi um episódio extremo que marcou a BHRSF, porém é preciso também considerar os efeitos da mudança no uso e cobertura da terra na região. Há de se levar em conta que a BHRSF apresenta historicamente áreas com uma maior vulnerabilidade (ANA, 2019). Portanto, o caso de uma depleção continuada da água subterrânea poderia causar uma série de problemas adicionais como redução da vazão de rios e níveis de reservatórios, supressão de vegetação, subsidência e intensificação de processos de carstificação (UNESCO, 2004).

## INSTITUIÇÃO FINANCIADORA E AGRADECIMENTOS

Este trabalho conta com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -CNPq.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. . [S.l.: s.n.], 2019.

APPLEYARD, S., COOK, T. "Reassessing the management of groundwater use from sandy aquifers: Acidification and base cation depletion exacerbated by drought and groundwater withdrawal on the Gngangara Mound, Western Australia", **Hydrogeology Journal**, v. 17, n. 3, p. 579–588, 2009. DOI: 10.1007/s10040-008-0410-2. .

DÖLL, P., SCHMIED, H. M., SCHUH, C., *et al.* "Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions: Combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites", **Water Resources Research**, p. 5375–5377, 2014. DOI: 10.1002/2013WR014979.Reply. .

MAGALHÃES, A. R., MAGALHÃES, M. C. "Drought preparedness and livelihood implications in developing countries: what are the options?—Latin America and Northeast Brazil", p. 55–66, 2019. DOI: 10.1016/b978-0-12-814820-4.00004-3. .

MANN, H. B. . "Nonparametric Tests Against Trend", **The Econometric Society**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945. .

MARENGO, J. A., TORRES, R. R., ALVES, L. M. "Drought in Northeast Brazil—past, present, and future", **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8. .

PETTITT. "A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem Published by : Wiley for the Royal Statistical Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2346729> A Non-parametric Approach to the Change-point Problem", **Jstor**, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979. DOI: 10.1016/j.epsl.2008.06.016. .

RODELL, M., FAMIGLIETTI, J. S., WIESE, D. N., *et al.* "Emerging trends in global freshwater availability", **Nature**, v. 557, n. 7707, p. 651–659, 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0123-1. .

SCANLON, B. R., FAUNT, C. C., LONGUEVERGNE, L., *et al.* "Groundwater depletion and

sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley", **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 24, p. 9320–9325, 2012. DOI: 10.1073/pnas.1200311109. .

SEN, P. K. "Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau", **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1968.10480934>.

SHAH, T. **Groundwater Governance and Irrigated Agriculture**. [S.l: s.n.], 2014. Disponível em: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BAHRI%5Cn2009%5CnManaging%5Cnthe%5Cnother%5Cnside%5Cnof%5Cnwater%5Cncycle%5CnMaking%5Cnwastewater%5Cnan%5Cnasset\\_2.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BAHRI%5Cn2009%5CnManaging%5Cnthe%5Cnother%5Cnside%5Cnof%5Cnwater%5Cncycle%5CnMaking%5Cnwastewater%5Cnan%5Cnasset_2.pdf).

SIEBERT, S., BURKE, J., FAURES, J. M., *et al.* "Groundwater use for irrigation - A global inventory", **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 10, p. 1863–1880, 2010. DOI: 10.5194/hess-14-1863-2010. .

TARGA, M. dos S., BATISTA, G. T. "Benefits and legacy of the water crisis in Brazil", **Revista Ambiente e Agua**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2015. DOI: 10.4136/1980-993X. .

UNESCO. **GROUNDWATER RESOURCES OF THE WORLD AND THEIR USE**. 2004.