

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA: 20 ANOS DE DADOS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

Camila Dalla Porta Mattiuzi¹; Walter Collischonn²

Abstract: The Urucuia Aquifer System is one of the most important groundwater sources in Brazil; in recent decades changes in land use, increase in water demands and changes in the hydrological regime of the region have been observed. Due to the regional importance of this aquifer system, in the present work it was estimated the water balance and real evapotranspiration in the region of the Urucuia Aquifer System for the period from 2002 to 2022 using remote sensing and in situ datasets, and trends analysis of the components of the hydrological cycle. Results showed a downward trend in all analyzed water balance components, being significant for runoff and storage; also, runoff, storage and evapotranspiration values were close to the average and similar at the beginning and end of the analyzed series; in addition, modifications in land use were observed with a 15% decrease in natural forest formations and a 15% increase in agricultural uses between 2002 and 2021.

Resumo: O Sistema Aquífero Urucuia é um dos mais importantes mananciais de água subterrânea do Brasil; nas últimas décadas foram observadas mudanças no uso e cobertura do solo, aumento nas demandas hídricas e mudanças no regime hidrológico da região. Portanto, devido à importância regional deste sistema aquífero, neste trabalho foi realizado o cálculo do balanço hídrico e a estimativa de evapotranspiração real na região do Sistema Aquífero Urucuia para o período de 2002 a 2022 utilizando dados de sensoriamento remoto e in situ e analisadas as tendências das componentes do ciclo hidrológico. Os resultados apontaram tendência de redução em todas as componentes do balanço hídrico analisadas, sendo significativas para a vazão e o armazenamento, além de valores de vazão, armazenamento e evapotranspiração real próximos à média e semelhantes no início e final da série analisada, além de modificações no uso e ocupação do solo com diminuição de 15% das formações florestais naturais e aumento de 15% dos usos agropecuários entre os anos 2002 e 2021.

Palavras-Chave – Sistema Aquífero Urucuia; Balanço Hídrico

INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Urucuia é um dos mais importantes mananciais de água subterrânea do Brasil (Barbosa, 2016; Gaspar, 2006), se estendendo por aproximadamente 125 mil km² ao longo de seis estados brasileiros, e é responsável pela manutenção do escoamento de base em cursos d'água nas regiões hidrográficas do São Francisco, Tocantins-Araguaia e Parnaíba (Gonçalves, 2022; Vieira, 2021).

Em decorrência das características físicas e climáticas e da disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, a região do Sistema Aquífero Urucuia vem passando por um crescente desenvolvimento agrícola (SGB/CPRM, 2019) desde as décadas de 1970 e 1980 (Silva *et al.*, 2021; Vieira, 2021). O oeste da Bahia é considerado um importante polo nacional de agricultura irrigada

1) Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM; camila.mattiuzi@sgb.gov.br

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Instituto de Pesquisas Hidráulicas; collischonn@iph.ufrgs.br

(ANA, 2020), sendo que em torno de 10% da área irrigada utiliza água subterrânea, e os 90% restantes utilizam água superficial (AIBA, 2019). Entretanto, diversos estudos vêm apontando declínio dos níveis fluviométricos dos cursos d'água que tem suas nascentes na área do Sistema Aquífero Urucuia (Silva *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2020, Marques *et al.*, 2020; Genz & Maia, 2018) e declínio dos níveis d'água subterrâneos monitorados através de poços piezométricos e no armazenamento subterrâneo (SGB/CPRM, 2021; Andrade *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2020; Fontes, 2020; Marques *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2019; Cunha, 2017).

Frente às mudanças no uso e cobertura do solo nas últimas décadas, ao aumento nas demandas hídricas, às mudanças nos regimes hidrológicos e à importância regional deste sistema aquífero, o esforço para a compreensão e caracterização da dinâmica hidrológica na região do Sistema Aquífero Urucuia se torna relevante. Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar o cálculo do balanço hídrico e a estimativa de evapotranspiração real na região do Sistema Aquífero Urucuia para o período de 2002 a 2022 utilizando dados de sensoriamento remoto e in situ, e analisar as tendências das componentes do ciclo hidrológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

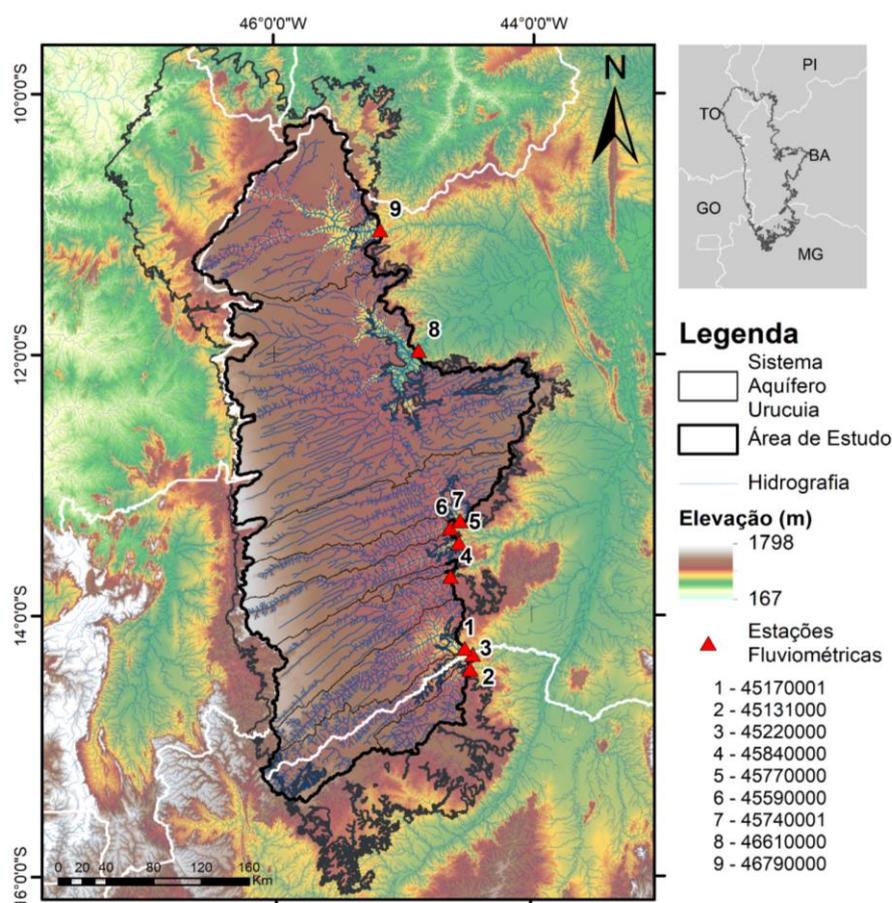
Área de Estudo

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) está localizado na região nordeste do Brasil, tem uma área aproximada de 125 mil km² e se estende através de seis estados: Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Piauí, Maranhão e Goiás. O SAU é composto por um conjunto de aquíferos que ocorrem no subdomínio do Grupo Urucuia, o qual se enquadra na província hidrogeológica São Francisco, sendo do tipo intergranular e composto por uma unidade geológica sedimentar disposta na forma de um espesso tabuleiro (Gaspar & Campos, 2007; Gaspar, 2006). O SAU é uma bacia hidrogeológica assimétrica devido à existência de um divisor longitudinal que separa o fluxo subterrâneo de leste para oeste, contribuindo para as bacias hidrográficas do rio São Francisco e do rio Tocantins-Araguaia, respectivamente (Barbosa, 2016; Gaspar, 2006).

A precipitação média anual varia de 800 a 1.200mm de leste para oeste (SGB/CPRM, 2019), sendo a variação espacial das precipitações atribuída ao controle orográfico (Vieira, 2021). A distribuição da precipitação média mensal também varia de leste para oeste; o período chuvoso vai de outubro até abril, sendo o trimestre mais chuvoso, em geral, de novembro a janeiro, e o mais seco de junho a agosto (SGB/CPRM, 2019). Conforme a classificação climatológica de Köppen-Geiger (Beck *et al.*, 2018) a região do SAU está inserida no subtipo Aw – Tropical Savana (ou úmido e seco), caracterizado por temperaturas médias mensais acima de 18°C, estações úmidas e secas distintas, com a maior parte da precipitação ocorrendo no verão.

A discretização da área de estudo para o cálculo do balanço hídrico foi realizada com base na disponibilidade de séries históricas de vazão e buscando limitar a área de contribuição das bacias para o limite da formação do Grupo Urucuia; portanto foram selecionadas 9 estações fluviométricas que totalizam uma área de 87.224 km². Na Figura 1 estão apresentados os limites do Sistema Aquífero Urucuia, a área de estudo, e os postos fluviométricos selecionados.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Dados de Entrada

Para o cálculo do balanço hídrico foram utilizadas as séries de vazões das estações fluviométricas, séries de precipitação por sensoriamento remoto, e variação do armazenamento da missão GRACE, conforme descrito a seguir.

As séries históricas das estações fluviométricas foram obtidas no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2022); as estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 1 e Figura 1. As séries diárias foram agregadas em nível mensal, e os dados passaram por análise preliminar e preenchimento de falhas; as incertezas das séries de vazão foram obtidas através da análise de incerteza das curvas-chave, sendo consideradas como 10%.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas

Código	Nome	AD (km ²)	Lat	Long	Alt (m)	Rio
45170001	Fazenda Porto Alegre	5.849	-14,2642	-44,5225	520	Itaguari
45131000	São Gonçalo	6.026	-14,3136	-44,4594	449	Carinhanha
45220000	Capitânea	2.393	-14,4236	-44,4831	499	Coxá
45840000	Gatos	7.127	-13,7122	-44,6383	581	Formoso
45770000	Arrojado	5.522	-13,4528	-44,5689	463	Arrojado
45590000	Correntina	3.902	-13,3406	-44,6386	547	Correntina
45740001	Mocambo	8.974	-13,2853	-44,5617	486	do Meio
46610000	São Sebastião	33.068	-11,9794	-44,8772	424	Grande
46790000	Formosa do Rio Preto	14.363	-11,0514	-45,1969	479	Preto

Optou-se pelo uso de precipitação de satélite para facilitar a espacialização dos dados sob a extensão da área de estudo, sendo utilizados os produtos de precipitação de satélite CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) e GPM (Global Precipitation Measurement). As séries de precipitação diárias foram obtidas através da plataforma Google Earth Engine (Gorelick *et al.*, 2017) e agregadas em nível mensal para o cálculo do balanço hídrico. As incertezas da precipitação foram definidas como o desvio padrão das séries de ambos os produtos utilizados neste estudo.

A variação no armazenamento foi obtida através das observações de armazenamento de água (Total Water Storage – TWS) da missão GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) obtidas do laboratório CSR (Center of Space Research from the University of Texas). A variação do armazenamento ΔS foi obtida como a diferença entre o armazenamento em um mês e o mês anterior, ou seja, $TWS_{i+1} - TWS_i$; falhas de um e/ou dois meses foram interpoladas linearmente, a falha entre julho/2017 e maio/2018 foi mantida.

Tabela 2 – Dados utilizados

Variável	Produto	Res. Temporal	Res. Espacial	Referência
Precipitação	CHIRPS	Mensal	0,05° x 0,05°	Funk <i>et al.</i> (2015)
Precipitação	GPM	Mensal	0,1° x 0,1°	Huffman <i>et al.</i> (2019)
Vazão	Hidroweb	Mensal	-	ANA (2022)
Varição no Armazenamento	GRACE CSR	Mensal	0,25° x 0,25°	Save (2020)

Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico corresponde à conservação de balanço de massa em uma bacia hidrográfica; neste estudo, foram utilizados os dados de precipitação, vazão e variação de armazenamento para estimar a evapotranspiração real, conforme a Equação 1:

$$ETR = P - Q - \Delta S \quad (1)$$

onde P é a precipitação, Q é a vazão, ΔS é a variação no armazenamento, e ETR a evapotranspiração real. O balanço hídrico foi calculado para 20 anos de dados para o período entre outubro/2002 a setembro/2022, em intervalos mensais, e agregado em intervalos anuais para redução das incertezas.

Análise de Tendência

Para avaliar a tendência de crescimento ou decréscimo das séries temporais foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Neste estudo foi utilizada a biblioteca *python pymannkendall* (Hussain *et al.*, 2019); os testes foram realizados com nível de significância de 0.05

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Varição temporal nas componentes do balanço hídrico

Na Figura 2 estão apresentados os resultados do balanço hídrico de outubro de 2002 a setembro de 2022, totalizando um período de 20 anos definidos pelo ano hidrológico.

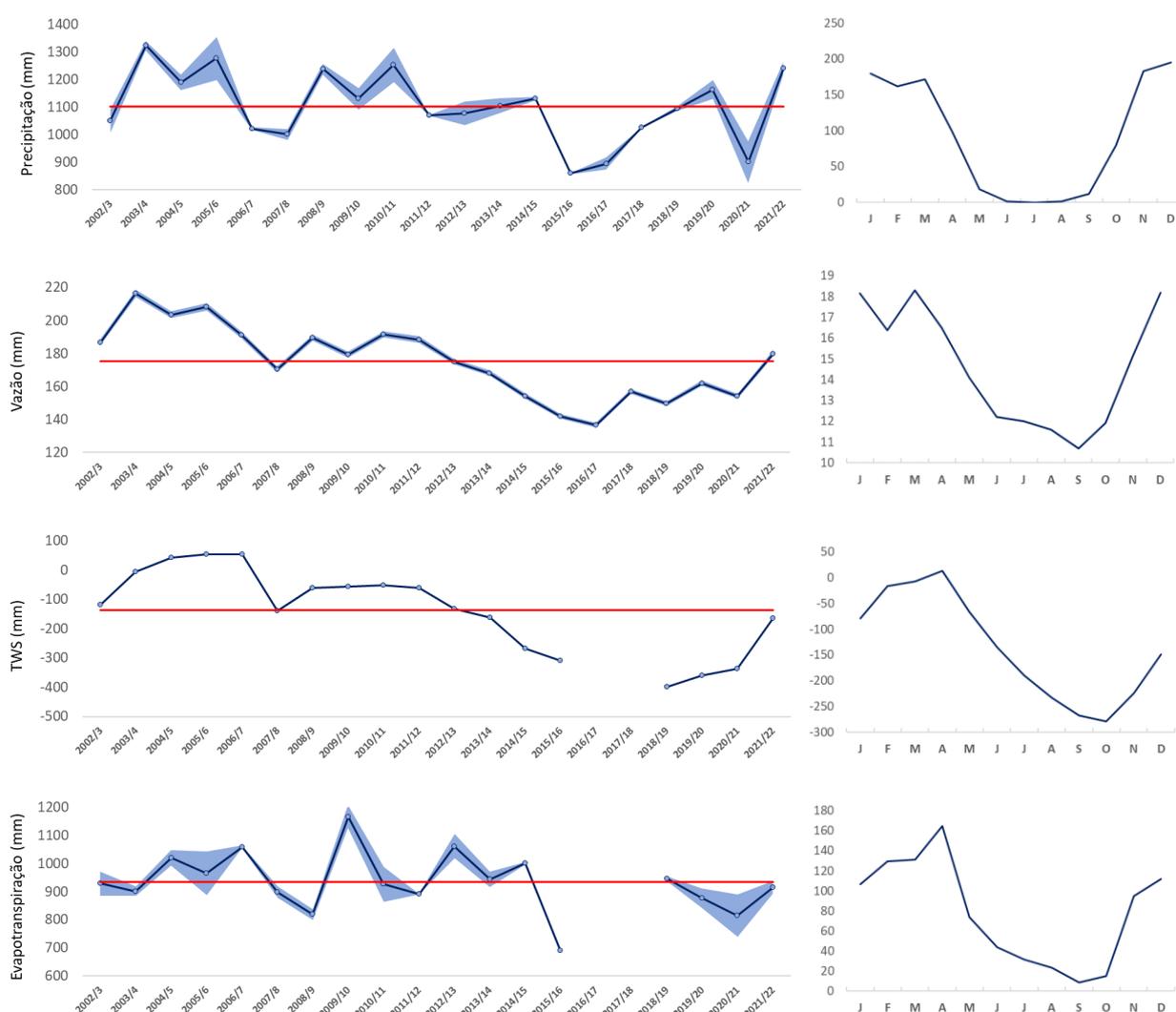
As precipitações anuais variaram entre 858 mm/ano a 1.323 mm/ano, com média de 1.102 mm/ano. Observa-se dois períodos com precipitações acima da média de 20 anos, sendo os anos hidrológicos de 2003/4 a 2005/6 e 2008/9 a 2010/11; após esse período as precipitações anuais ficaram próximas a média, com destaque para o período entre 2015/16 a 2018/19 e 2020/21, nos quais as precipitações foram abaixo da média. A variação mensal da precipitação aponta para os maiores volumes ocorrendo nos meses de outubro a março, sendo próxima a zero nos meses de junho a agosto.

A vazão média anual variou entre 136 mm/ano a 216 mm/ano, com média de 175 mm anuais; observa-se a redução das vazões até ficar abaixo da média em 2012/13 e atingir a mínima em 2016/17, seguido de elevação nos valores anuais no período mais recente. O gráfico mensal aponta para os maiores valores observados em janeiro, março e dezembro, e as menores vazões são observadas em setembro.

O armazenamento variou entre 54 mm/ano até -399 mm/ano, com média de -137 mm anuais. Observa-se um comportamento com elevação dos níveis até 2006/7, seguido de declínio até ficar abaixo da média em 2012/13, e uma elevação nos anos mais recentes, porém sem atingir a novamente média no período analisado. Conforme o gráfico dos valores mensais os maiores valores de armazenamento são observados em abril, e os menores em outubro.

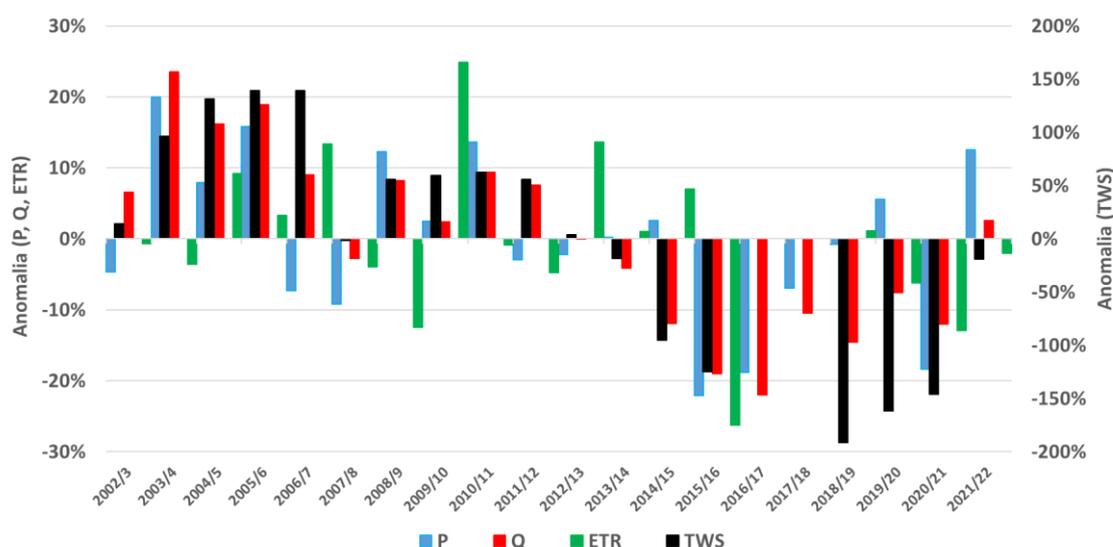
A evapotranspiração real variou entre 690 mm/ano a 1.167 mm/ano, com média de 935 mm anuais; os maiores valores foram observados em 2009/10 e os menores em 2015/16. A variação mensal aponta que o mês com maior evapotranspiração real é abril, menor em setembro.

Figura 2. Séries anuais e médias mensais para o período de outubro/2002 a setembro/2022 de Precipitação, Vazão, Armazenamento e Evapotranspiração Real; sombreado representa o desvio padrão associado e a linha vermelha representa a média de 20 anos



Na Figura 3 estão apresentadas as anomalias anuais em relação à média das componentes do balanço hídrico. Observa-se que no ano 2012/13 ocorre uma inversão na maior parte das observações, que antes desta data apresentavam anomalias, em geral, positivas, e a partir deste ano hidrológico apresentam anomalias majoritariamente negativas. As anomalias variaram da seguinte forma: precipitação entre +20% a -22%; vazão entre +24% a -22%, evapotranspiração real entre +25% a -26%, e armazenamento entre +139% a -191%.

Figura 3. Anomalia em relação à média do período de outubro/2002 a setembro/2022 das componentes do balanço hídrico



Análise de Tendência

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do teste de tendência Mann-Kendall. Os valores z são negativos o que indica que todas as variáveis do balanço hídrico apresentam tendência de declínio, porém somente a vazão e o armazenamento apresentam tendência significativa para o nível de significância de 5%.

Tabela 4 – Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall e valores z

	Valores médios*	Tendência	z
P	1.102 mm/ano	NT***	-1.006
Q	175 mm/ano	DEC***	-3.471
TWS	-137 mm/ano**	DEC***	-3.485
ETR	935 mm/ano**	NT***	-1.212

* valores médios considerando o período do ano hidrológico de out/2002 a set/2022;

** excluindo os anos hidrológicos de out/2016 a set/2018, *** NT = sem tendência e DEC = tendência de declínio para um nível de significância de 5% do teste de Mann-Kendall

O balanço hídrico na região do Sistema Aquífero Urucua também foi analisado por Gonçalves *et al.* (2020) e Andrade *et al.* (2021) nos períodos de 2002 a 2014 e 2002 a 2012, respectivamente; os estudos observaram que o armazenamento e a vazão tinham tendências significativas de diminuição, enquanto a precipitação e evapotranspiração tinham tendências não-significativas de decréscimo e aumento, respectivamente.

Discussão

Diversos autores estudaram a região do Sistema Aquífero Urucua em períodos distintos e, em geral, as principais causas apontadas para as diminuições dos níveis aquíferos e das vazões são utilização dos recursos hídricos subterrâneos, modificações no uso e cobertura do solo, e diminuição nos volumes de precipitação.

Gonçalves *et al.* (2020) apontou as retiradas de água subterrânea para irrigação como um dos fatores para o declínio dos níveis de armazenamento e vazão no período analisado de 2002 a 2014; Marques *et al.* (2020) analisou as variações de nível subterrâneo, vazões e precipitações na bacia do Alto Grande, na região do SAU, e observou que no período de 1990 a 2018 houve redução nos volumes de precipitação e aumento no uso de água subterrânea, o que levou à diminuição dos níveis na bacia; Andrade *et al.* (2021) apontou as mudanças no uso e cobertura do solo e as tendências de crescimento na demanda evaporativa da atmosfera como possíveis causas pela diminuição do armazenamento e vazões observadas no período analisado de 2002 a 2012; Silva *et al.* (2021) analisou séries de vazões e precipitação no período de 1986 a 2018 em uma sub-bacia do rio Corrente, na região do SAU, e apontou que a diminuição das vazões é reflexo das modificações no uso e cobertura do solo, e não somente no declínio da precipitação; Collischonn *et al.* (2021) observou que para o período de 1990 a 2010 houve redução nas vazões do rio Carinhonha, na região do SAU, a qual foi representada pelo modelo MGB a partir de dados de precipitação; Ribeiro & Rodriguez (2021) analisaram dados de 2002 a 2017 em aquíferos da Bacia do Rio São Francisco e observaram diminuição nos níveis de água subterrânea porém não observaram declínio na precipitação ou evapotranspiração, e apontam uma diminuição das áreas naturais e aumento das áreas agrícolas na região; Lucas *et al.* (2021) estudou as reduções de escoamento de base na área da Bacia do Rio São Francisco no período de 1980-2015 e apontou que as reduções ocorreram principalmente devido ao deplecionamento dos aquíferos devido à extração de água subterrânea especialmente em regiões irrigadas.

Conforme apresentado nas Figuras 2 e 3, em relação à média do período de 20 anos entre set/2002 e out/2022, a precipitação esteve acima da média na maior parte dos anos até 2012/13, estando abaixo da média nos anos seguintes até novamente acima da média em 2021/22. A vazão e o armazenamento apresentaram comportamento semelhante, em geral com anomalias positivas até 2012/13 e negativas nos anos seguintes, e em 2021/22 se aproximando do mesmo valor observado no início da série, em 2002/3. O valor de evapotranspiração real no último ano analisado também se aproximou do valor observado em 2002/3.

Para complementar as discussões deste estudo, tendo em vista os resultados dos outros estudos realizados na área do SAU, optou-se por analisar a evolução temporal da cobertura e uso do solo nos limites da área de estudo; foi utilizada a coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil do MapBiomas, a qual compreende o período de 2002 a 2021 (MAPBIOMAS, 2023; Souza *et al.*, 2020); o download foi realizado através do *toolkit* disponibilizado na plataforma Google Earth Engine (Gorelick *et al.*, 2017). Os resultados estão apresentados na Tabela 5: os usos de Floresta (Formação Florestal e Formação Savânica) e Formação Natural não Florestal (Formação Campestre) combinados diminuíram de 81% em 2002 para 66% em 2021, enquanto que os usos de Agropecuária (Pastagem, Mosaico de Usos, Soja, Outras Lavouras Temporárias, Algodão) aumentaram de 17% em 2002 para 31% em 2021.

Tabela 5 – Uso e ocupação do solo do MAPBIOMAS para os anos de 2002 a 2021

Uso e Ocupação	2002	2021	
Formação Florestal	3%	2%	↓
Formação Savânica	56%	47%	↓
Formação Campestre	22%	17%	↓
Pastagem	2%	3%	↑
Mosaico de Usos	2%	2%	
Soja	10%	23%	↑
Outras Lavouras Temporárias	3%	1%	↓
Algodão	0%	2%	↑
Demais Usos	2%	2%	

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o cálculo do balanço hídrico para uma região no Sistema Aquífero Urucuia utilizando dados de precipitação de satélite, vazões de postos fluviométricos e variação de armazenamento do GRACE, para o período de outubro de 2002 a setembro de 2022, totalizando 20 anos de análise de dados.

Os resultados apontaram para uma variação durante o período analisado, com períodos de anomalia positiva em relação à média principalmente entre 2002/3 e 2012/13, seguido de um período de anomalia negativa, até 2020/1. No período mais recente, em 2021/2 os valores observados de vazão, armazenamento e evapotranspiração se aproximam do valor médio dos 20 anos e também do observado em 2002/3, no período inicial da análise, e a precipitação observada no último ano hidrológico foi superior à média. Os resultados do teste de Mann-Kendall apontaram tendência de declínio em todas as componentes do balanço hídrico, conforme os resultados do valor z, porém tendências significativas foram observadas somente na vazão e no armazenamento.

Conforme levantamento bibliográfico, as principais causas apontadas para a redução da vazão e armazenamento foram a extração dos recursos hídricos subterrâneos, as modificações no uso e cobertura do solo, e a diminuição nos volumes de precipitação. No presente estudo os resultados apontaram para (i) tendência de redução em todas as componentes do balanço hídrico analisadas (significativas para TWS e Q); (ii) valores de vazão, armazenamento e evapotranspiração real próximos à média e semelhantes no início e final da série analisada (2002/3 e 2021/22), e (iii) modificações no uso e ocupação do solo com diminuição de 15% das formações florestais naturais e aumento de 15% dos usos agropecuários entre os anos 2002 e 2021.

Os resultados obtidos no presente trabalho são uma caracterização preliminar do estudo das variáveis hidrológicas influenciando as interações entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região do Sistema Aquífero Urucuia, e ainda serão realizados estudos mais aprofundados sobre o impacto de outras variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2020). *Polos nacionais de agricultura irrigada: mapeamento de áreas irrigadas com imagens de satélite*. Brasília/DF, 46p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2022). *HIDROWEB: Séries históricas de estações*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA - AIBA. (2019). *Anuário da região Oeste da Bahia: safra 2016/17*. Disponível em: <http://aiba.org.br/w-content/uploads/2018/06/anuario-16-17.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.

ANDRADE, B.C.C., E.J.A. PINTO, A. RUHOFF, E G.B. SENAY. (2021). *Remote sensing-based actual evapotranspiration assessment in a data-scarce area of Brazil: A case study of the Urucuia Aquifer System*. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, v.98.

BARBOSA, N.S. (2016). *Hidrogeologia do Sistema Aquífero Urucuia, Bahia*. Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado, 170p.

BECK, H.E., N.E. ZIMMERMANN, T.R. MCVICAR, N. VERGOPOLAN, A. BERG, E E.F. WOOD. (2018). *Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution*. Scientific Data, v.12.

COLLISCHONN, W.; JARDIM, P.F.; FONTANA, R.B. (2021). *Redução Da Vazão No Rio Carinhana Nos Últimos Anos Pode Ser Explicada Pela Redução Da Chuva*. Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte/MG, 8p.

CUNHA, V.C.V. (2017). *Avaliação Da Interação Entre Águas Subterrâneas E Superficiais Na Bacia Do Rio Das Fêmeas, Sistema Aquífero Urucuia – Bahia*. Dissertação de Mestrado, CDTN, 135p.

FONTES, J.G. (2020). *Monitoramento e Análise da Variação do Nível d'água Para Estimativa da Recarga do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio Grande- BA: Contribuições Para a Gestão e Uso Sustentável de Águas Subterrânea*. Trabalho de conclusão de curso, UFRJ, 116p.

FUNK, et al. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific Data 2, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66.

GASPAR, M.T.P. & CAMPOS, J.E.G. (2007). *O Sistema Aquífero Urucuia*. Revista Brasileira de Geociências, v.37, p.216-226.

GASPAR, M.T.P. (2006). *Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Proposta de Gestão*. Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 204p.

GENZ, F.; MAIA, P.H.P. (2018). *Declínio Dos Recursos Hídricos Na Bacia Do Rio De Ondas, Região Oeste Da Bahia*. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., v.22.

GONÇALVES, R.R.; STOLLBERG, R.; WEISS, H.; CHANG, H.K. (2020). *Using GRACE to quantify the depletion of terrestrial water storage in Northeastern Brazil: The Urucuia Aquifer System*. Science of the Total Environment, v. 705.

GONÇALVES, R.D. (2022). *Estudo da Recarga Subterrânea de Sistemas Aquíferos em Diferentes Escalas – Aplicações de Modelagem Hidrogeológica*. Tese de Doutorado, UNESP/Rio Claro, 146p.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. Remote Sensing of Environment.

HUFFMAN, G.J., E.F. STOCKER, D.T. BOLVIN, E.J. NELKIN, JACKSON TAN. (2019). *GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06*. Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), doi:10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06

HUSSAIN et al. (2019). *pyMannKendall: a python package for non-parametric Mann Kendall family of trend tests*. Journal of Open Source Software, 4(39), 1556. <https://doi.org/10.21105/joss.01556>

KENDALL, M. (1975). *Rank correlation measures*. Charles Griffin, London, 202, 15.

LUCAS, M.C.; KUBLIK, N.; RODRIGUES, D.B.B.; NETO, A.A.M.; ALMAGRO, A.; MELO, D.C.D.; ZIPPER, S.C.; OLIVEIRA, P.T.S. (2021). *Significant Baseflow Reduction in the Sao Francisco River Basin*. Water, 13, 2. <https://dx.doi.org/10.3390/w13010002>

Mann, H. B. (1945). *Nonparametric tests against trend*. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 245-259. doi:10.2307/1907187

MAPBIOMAS. (2023). *Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>.

MARQUES, A.G.E.; JUNIOR, G.C.S.; EGER, G.Z.S.; ILAMBWETSI, A.M.; RAPHAEL, P.; GENEROSO, T.N.; OLIVEIRA, J.; JUNIOR, J.N. (2020). *Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande*

watershed, Northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences; <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102723>.

OLIVEIRA, L.T.; KLAMMER, H.; LEAL, L.R.B.; GRISSOLIA, E.M. (2019). *Analysis of the long-term effects of groundwater extraction on the water balance in part of the Urucuia Aquifer System in Bahia – Brazil*. Rev. Ambient. Água vol. 14 n. 6.

RIBEIRO, C.M.; RODRIGUEZ, D.A. (2021). *Relações Entre A Variabilidade Climática, A Mudança No Uso E Cobertura Da Terra E Sistemas Aquíferos Na Bacia Do Rio São Francisco*. Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte/MG, 9p.

SAVE, H. (2020). *CSR GRACE and GRACE-FO RL06 Mascon Solutions v02*. doi: 10.15781/cgq9-nh24.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM. (2019). *Aquífero Urucuia: Caracterização Hidrológica com Base em Dados Secundários*. Belo Horizonte/MG, 419p.

SILVA, A.L.; SOUZA, S.A.; FILHO, C.O.; ELOY, L.; SALMONA, Y.B.; PASSOS, C.J.S. (2021). *Water Appropriation on the Agricultural Frontier in Western Bahia and Its Contribution to Streamflow Reduction: Revisiting the Debate in the Brazilian Cerrado*. Water 13, 1054. <https://doi.org/10.3390/w13081054>

SOUZA AT. AL. (2020). *Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine*. Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735.

VIEIRA, M.S.B. (2021). *Estudo das Vazões do Sistema Aquífero Urucuia em Períodos de Recessão Hídrica*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 219p.