

Avaliação do acoplamento hidráulico entre as águas superficiais e subterrâneas do aquífero Urucuia, na sub-bacia do rio Arrojado, Bahia, Brasil

Evaluation of hydraulic coupling between surface waters and groundwater of the Urucuia aquifer, in the Arrojado river sub-basin, Bahia, Brazil

Mário Jorge De Souza Gonçalves¹, Leanize Teixeira Oliveira², Tiago Ribeiro Santos³

¹Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Bahia – Brasil, mariotaboca@gmail.com

²Serviço Geológico Brasileiro, Estado? – Brasil, leanize.oliveira@sgb.gov.br

³Prefeitura Municipal de Salvador, Bahia – Brasil, tiago-ribeiro07@hotmail.com

Recebido:

17 de junho de 2025

Recebido no formato de revisão:

06 de dezembro de 2025

Aceito:

14 de dezembro de 2025

Disponível online:

XX de janeiro de 2026

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Aquífero Urucuia.

Curvas integradas médias acumuladas de precipitação vazão (CIMA_{pv}).

Razão precipitação/vazão (R_{pv}).

Diferença da Razão precipitação vazão (DR_{pv}).

Hidrologia Avançada Experimental (HAE).

Keywords:

Urucuia Aquifer.

Accumulated Integrated Curves of Precipitation-Flow (CIMA_{pv}).

Precipitation-to-flow ratio (R_{pv}).

Difference in Precipitation-Flow Ratio (DR_{pv}).

Experimental Advanced Hydrology (EAH).

RESUMO

A avaliação quantitativa dos volumes hídricos disponíveis em corpos d'água superficiais e em reservas subterrâneas é fundamental para a determinação dos parâmetros métricos que subsidiam a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos. Essa avaliação deve passar por análises consistentes, principalmente, em bacias nas quais as águas superficiais são muito dependentes das águas subterrâneas, como é o caso da sub-bacia hidrográfica do rio Arrojado e do aquífero Urucuia, localizados na região Oeste do estado da Bahia. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é a avaliação do acoplamento hidráulico entre as águas superficiais do rio Arrojado e do aquífero Urucuia. O método utilizado foi a Hidrologia Avançada Experimental (HAE), associada à interpretações de análises isotópicas de Oxigênio e Hidrogênio das águas do rio Arrojado. Os resultados mostram que existe o acoplamento hidráulico entre as águas superficiais do rio Arrojado e do aquífero Urucuia, com um tempo de retardo médio de 60 dias, entre as precipitações registradas na Estação pluviométrica 1446008 (nascente) e as vazões observadas na Estação fluviométrica 45760000 (a jusante), caracterizando, assim, uma sub-bacia hidrográfica permeável.

ABSTRACT

The quantitative assessment of water volumes available in surface water bodies and underground reservoirs is fundamental for determining the metric parameters that support the granting of water use rights. This assessment must be based on consistent analyses, especially in basins where surface water is very dependent on groundwater, which is the case of the Arrojado River sub-basin and the Urucuia Aquifer, located in the western region of the state of Bahia. Thus, the main objective of this work is the evaluation of the hydraulic coupling between the surface waters of the Arrojado River and the Urucuia Aquifer. The method used was Experimental Advanced Hydrology (EAH), associated with interpretations of isotopic analyses of Oxygen and Hydrogen of the waters of the Arrojado River. The results show that there is hydraulic coupling between the surface waters of the Arrojado River and the Urucuia Aquifer, with an average delay time of 60 days, between the rainfall at Station 1446008 (spring) and the flows at Station 45760000 (downstream), thus characterizing a permeable watershed.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i1.30335>



1. INTRODUÇÃO

Os distintos componentes que integram a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas estão interconectados de maneira sistêmica, de modo que qualquer discrepância ou modificação nos parâmetros físicos, hidrológicos ou de uso e ocupação do solo resulta em alterações na área de captação e, conseqüentemente, nas vazões dos cursos d'água. Nesse contexto, os múltiplos usos dos recursos hídricos exercem influência significativa sobre a dinâmica hidrológica das bacias, impactando a disponibilidade e a distribuição dos fluxos hídricos. O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) é caracterizado pela presença de arenitos com granulometria muito finos, finos a médios, bem selecionados, com lentes de conglomerados e apresentando níveis silicificados descontínuos, de espessuras e posicionamento estratigráficos variados. De extensão regional e espessuras de até 600 m, no SAU ocorrem aquíferos predominantemente livres, podendo localmente ocorrer confinamento a semiconfinamento, com alto potencial hidráulico. Atualmente, suas reservas alimentam poços de irrigação com vazões superiores a 350 m³/h, além disso, suas reservas contribuem para perenização de rios e também são por eles recarregados, entre os quais se destaca o rio Arrojado, objeto deste estudo.

Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), entre 2005 e 2021, apresentam um aumento de 481% na ocorrência de conflitos hídricos no Brasil (Santos; Farias; Bronzatto, 2023). Segundo Neiva e Gomes (2019) "nos municípios de Correntina e Jaborandi interesses conflitantes entre comunidades locais e o agronegócio têm sido reportados e ambos vêm gerando impactos sobre o sistema hídrico, fazendo dessa região um lugar de lutas e enfrentamentos entre camponeses e empresas".

Eventos conflitantes como o ocorrido na Fazenda *Igarashi*, Correntina - BAHIA, em 2017, com invasão de terras e depredação de sistemas de captação de água ilustram o stress hídrico na região (Monteiro, 2017; Rigonato, L. et al., 2021, Santos, 2025).

Entidades do sistema de gestão dos recursos hídricos regionais vêm atuando no sentido de dirimir conflitos e regular a demanda. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Corrente emitiu a Deliberação 01/2015 dispoendo sobre a outorga e monitoramento para a racionalização do uso das águas do rio Corrente e do aquífero Urucuia (Cavalcante, 2020). O documento apontava que o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia (INEMA) deveria se abster de autorizar novas outorgas até a definição dos critérios e diretrizes gerais determinadas pelo plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Corrente e dos riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho. Contudo, essa recomendação não foi acatada pelo órgão. Nesta época, a bacia passava por uma crise hídrica, causada por um período de redução no regime de chuvas na região: conforme dados da ANA, na Estação Pluviométrica 1446008, localizada em Jaborandi/BA, em que se observa uma precipitação média anual histórica de 1358,1 mm no período de 2006 a 2023, nos anos mais recentes foram observadas precipitações de 914,1 mm (em 2015), 724,3 mm (em 2016) e 881 mm (em 2017) (ANA, 2025).

Os constantes conflitos pelo uso das águas na sub-bacia do rio Arrojado justificam a realização do presente trabalho, pois a sub-bacia possui grandes projetos de irrigação instalados, a demanda de novos projetos de irrigação e as alterações climáticas vem se configurando como uma realidade. Desta forma o objetivo do trabalho é o estudo do acoplamento hidráulico das descargas fluviais e suas relações com as águas subterrâneas e as chuvas, associadas ao uso agrícola existente, visando subsidiar os órgãos gestores para o uso sustentável e racional dos recursos hídricos e a prevenção de conflitos pelo uso da água.

No Brasil diversos estudos foram realizados visando compreender a interação das águas superficiais com as águas subterrâneas, utilizando metodologias diversas. Arantes, Chaudlhry e Marcussi (2006) realizaram um estudo para quantificar o escoamento de água na interação entre rio e aquífero, através da utilização de infiltrômetros e de poços de observação do nível freático

Soares et al. (2011) utilizaram medições de nível em poços tubulares (em regiões de nascentes) e medições de vazão em regiões situadas a jusante dos poços com o objetivo principal de compreender a dinâmica hídrica superficial e subterrânea, além de sua relação com uso e ocupação do solo, visando promover a otimização da recarga dos aquíferos locais e regionais.

Barbosa (2016) interpretando análises isotópicas de águas do rio Arrojado, concluiu que existem águas no rio de origem de chuva e de aquífero na estação seca e de aquífero na estação chuvosa.

Oliveira (2020) relatou que os efeitos da extração de águas subterrâneas sobre a vazão de base nas sub-bacias dos rios arrojado/formoso decorrem da redução do armazenamento subterrâneo e do rebaixamento regional associado, e que a resposta do comportamento hidráulico do sistema hídrico, a diminuição súbita de 10% na recarga, em um cenário futuro hipotético, necessitaria de no mínimo uma década para se reequilibrar.

Oliveira, Rodrigues e Grissolia (2025) realizaram um estudo da geometria do aquífero Urucuia e descrevem o comportamento da variação temporal dos níveis d'água subterrâneos, a partir dos poços de monitoramento, entre 2011 e 2023.

Sabendo-se que os rios podem se comportar como influentes (cedem água para o aquífero), efluentes (recebem água do aquífero) ou mistos (têm períodos influentes ou efluentes), optou-se nesta pesquisa pelo uso da metodologia de Gonçalves (2023), através do Diferença da Razão precipitação-vazão (DRpv), que faz uma abordagem mais aprofundada sobre o tema, quando delimita nos rios mistos, qual período o rio é influente, efluente ou se encontra em transição.

A localização da sub-bacia do rio Arrojado, no Oeste da Bahia, bem como das estações pluviométricas e fluviométricas, além do ponto de coleta das amostras para realização de análises isotópicas, utilizadas no estudo, podem ser observadas na Figura 1.

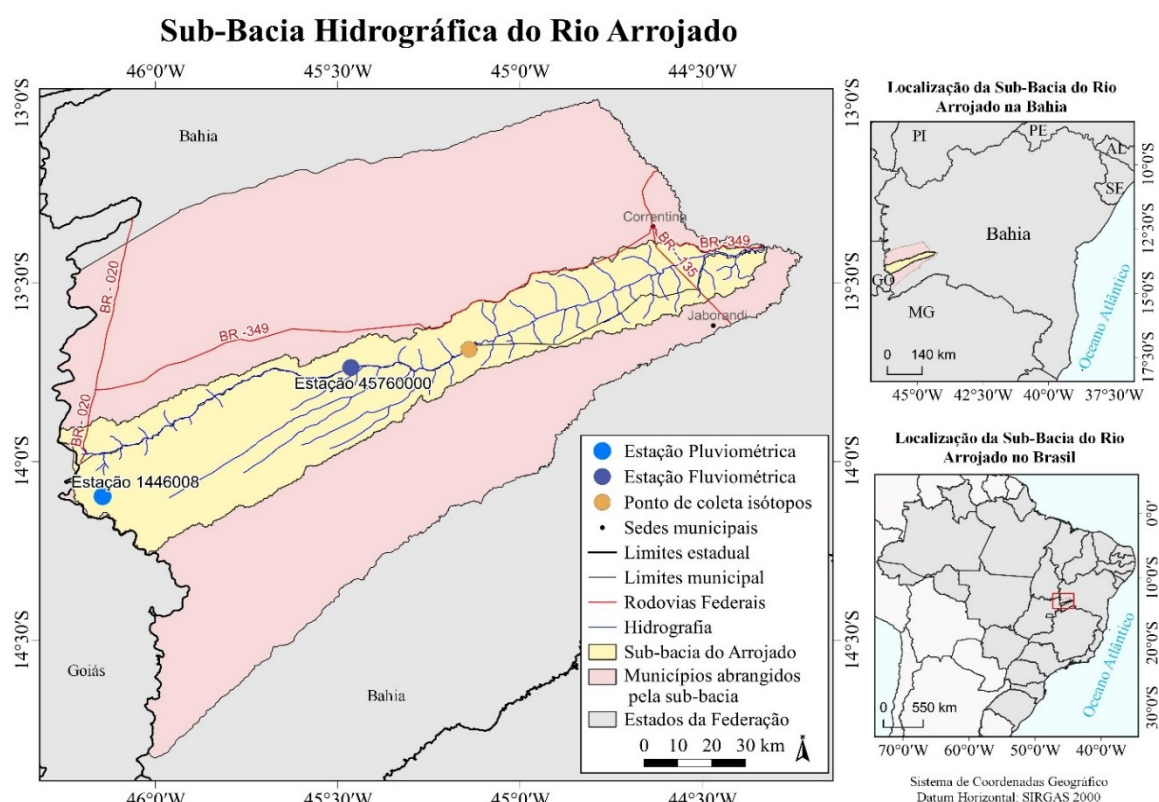


Figura 1. Mapa da sub-bacia hidrográfica do rio Arrojado.

Fonte: Adaptado de Santos, Gonçalves e Torres (2020). Produção própria dos autores, 2025.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O rio Arrojado pertence à sub-bacia hidrográfica do rio Corrente (SBHRC), o qual é tributário da bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHRSF) no estado da Bahia. A Sub-bacia hidrográfica do rio Arrojado (SBHRA) se encontra localizada entre os meridianos $-43^{\circ}20'02,05''\text{O}$ e $-46^{\circ}15'49,32''\text{O}$ e os paralelos $-13^{\circ}22'46,42''\text{S}$ e $-14^{\circ}15'19,15''\text{S}$, Datum SIRGAS 2000, com 5.588 km^2 de área, na região Oeste da Bahia, nos municípios de Correntina e Jaborandi.

2.2. Hidrologia avançada experimental (HAE)

Foi utilizada a metodologia da hidrologia avançada experimental (HAE), desenvolvida por Gonçalves (2014), que consiste num agrupamento de modelos: precipitação-vazão e cota-vazão. A série histórica dos dados de entrada (precipitação) e de saída (vazão) equivale ao período de 2006 a 2023 (18 anos). Esta proposta metodológica consiste na avaliação do tempo de retardo médio (TRM) (Gonçalves, 2014), da Razão de precipitação-vazão (Rpv) (Gonçalves, 2014), da Diferença entre a Razão precipitação-vazão (DRpv) (Gonçalves, 2019b) e das Curvas Integradas Médias Acumuladas de precipitação e vazão (CIMApv) (Gonçalves, 2022), Permanência Hídrica, e Garantia de vazão. Adicionalmente foi utilizada a análise isotópica das águas do rio Arrojado no intuito de corroborar com o modelo conceitual de fluxo, a partir de amostra coletada nas coordenadas $-13^{\circ}41'12,95''S$ e $-45^{\circ}14'08''O$ (*Datum* Sirgas 2000) correlacionando-os com dados de: precipitação (mm), no mês da coleta na Estação 1446008; vazão média (m^3/s), no mês da coleta na Estação 45760000; TRM; Rpv; DRpv; CIMApv; Permanência de vazão e Garantia Hídrica. Dados de outorga também foram utilizados no trabalho. Embora Gonçalves (2014), considere que: "a avaliação quantitativa tenha condições de avaliar mudanças ao longo do tempo, seja necessário um tempo amostral mínimo de 30 anos", regiões que possuem pouca variação de vazão em rios perenes, como é o caso do Oeste da Bahia, apresentam resultados satisfatório com séries históricas menores, mesmo assim deve ser usada com cautela em tempos menores do que 30 anos. Isso se deve ao fato da metodologia ter sido desenvolvida numa bacia de região semiárida (bacia hidrográfica do rio Paraguaçu), a qual possui grandes variações de vazão. Entretanto essa redução de tempo só é válida para avaliação da Garantia hídrica, Permanência, do TRM, CIMApv, Rpv e DRpv, não sendo válida para o Fator hidrológico (FH), Detalhamento do fator Hidrológico (DFH), Razão de fluxo (Rf) e Evolução da razão de fluxo (ERf), que também fazem parte da Hidrologia Avançada Experimental (HAE). No caso da SBHRA, os dados foram utilizados com tempos menores do que 30 anos, pois existem vários trabalhos publicados no Oeste da Bahia que corroboram com esse TRM encontrado, entre eles o "Mapa do zoneamento do sistema aquífero Urucuia-SAU na Bahia", baseado no Tempo de Retardo Médio (TRM) de Gonçalves e Reis (2019). Neste trabalho foram utilizados dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que foram consolidados utilizando a metodologia HAE, onde lacunas foram preenchidas e dados consistidos utilizando para isso a curva-chave da estação analisada por subperíodo indicado na curva de descarga (ANA, 2025).

Tempo de retardo médio (TRM)

Foi utilizada o TRM, que segundo Gonçalves (2019a), "representa o tempo no qual as precipitações pluviométricas médias, de uma determinada estação pluviométrica ou média de uma região, interferem nas vazões médias de jusante, de uma determinada estação fluviométrica, numa bacia hidrográfica, num determinado período". Ainda segundo Gonçalves (2019a), o TRM pode ser < 30 dias ou ≥ 30 dias, de modo que, caso o TRM seja ≥ 30 dias é necessário realizar sua correção, pois, os maiores valores da precipitação média mensal não coincidem com os maiores valores da vazão média mensal. A correção do TRM é realizada comparando os valores médios de precipitação e de vazão para um mesmo período amostral.

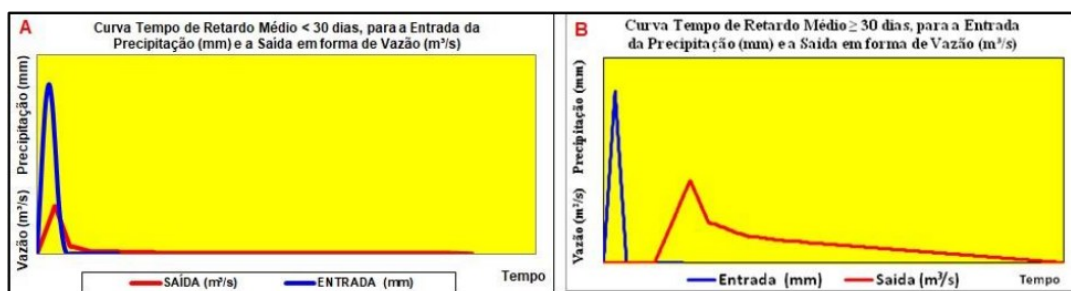


Figura 2. Curvas dos TRM < 30 dias (2A) e TRM ≥ 30 dias (2B), para bacias hidrográficas impermeáveis e permeáveis, respectivamente. Fonte: Gonçalves (2019b).

Segundo Gonçalves (2014), o gráfico do TRM permite conhecer o tempo médio necessário para que a água oriunda de uma precipitação média leve para que toda a bacia contribua para o deflúvio no exutório. Gonçalves (2019b) aponta a existência de dois tipos de bacias hidrográficas: Tipo 1 (TRM < 30 dias, impermeáveis) e Tipo 2 (TRM ≥ 30 dias, permeáveis). A Figura 2A e 2B, apresenta o comportamento da vazão em função da precipitação, respectivamente, nos Tipos 1 e 2 de bacias hidrográficas. Essa avaliação só é possível pois leva em consideração a maior precipitação média e a maior vazão média e neste período, as interferências são mínimas, uma vez que

não é necessário o uso de bombeamento para irrigação ou ele acontece de forma pontual. Nesta metodologia e nas seguintes, que usam precipitação e vazão de forma conjunta, os dados de precipitação são da estação pluviométrica localizada mais a montante e os dados de vazão da estação fluviométrica localizada mais a jusante na sub-bacia hidrográfica, para poder avaliar melhor o tempo de retardo médio (TRM). As águas utilizadas na irrigação deixam de chegar à estação fluviométrica e desta maneira, sua ausência também é contemplada no estudo, indicando redução de vazão.

Razão de precipitação-vazão (Rpv)

Os valores mensais para confecção da curva Rpv, segundo Gonçalves (2014), são obtidos pela divisão dos valores da precipitação média mensal da estação pluviométrica de montante pelos valores médios da estação fluviométrica de jusante. No caso da sub-bacia do rio Arrojado foram utilizados os dados da estação pluviométrica de montante (1446008) e da estação fluviométrica de jusante (45760000). Esta curva nos mostra a necessidade, em mm, de precipitação média mensal, para produzir 1 m³/s de vazão média mensal, numa estação fluviométrica localizada a jusante. Assim, é possível verificar a situação do armazenamento no aquífero Urucuia, se suas águas se encontram numa cota que permita uma relação de influência (influyente, efluente ou mista), ao longo do ano, com o rio Arrojado.

Diferença entre a Razão precipitação-vazão (DRpv)

Os valores do DRpv são obtidos pela subtração dos valores obtidos da Rpv com correção do TRM pelos valores obtidos da Rpv sem correção do TRM, para bacias com TRM \geq 30 dias. Estas curvas nos proporcionam avaliar a relação de influência do rio com o aquífero, ou seja, permitem inferir também em qual relação de influência o rio se encontra (influyente, efluente ou em transição).

Curvas Integradas Médias Acumuladas de precipitação e vazão (CIMApv)

Os valores mensais do CIMApv, descrita por Gonçalves (2023), são obtidos a partir da soma dos valores percentuais de precipitação e de vazão para cada mês, exceto o valor para janeiro, que é já o próprio acumulado, por ser o primeiro mês da sequência, segundo a metodologia utilizada. Esta curva nos permite avaliar o predomínio do maior contribuinte para a formação da vazão existente no rio, se é a água proveniente das precipitações ou da água acumulada no aquífero, ou se existe uma participação igualitária (momento de transição). O CIMApv, em rios com TRM \geq 30 dias, é calculado segundo o descritivo:

- 1.º mês = (vazão média de janeiro x 100)/ somatório da vazão anual.
- 2.º mês = ((vazão média de janeiro + vazão média de fevereiro) x 100)/ (somatório da vazão anual).
- 3.º mês = ((vazão média de janeiro + vazão média de fevereiro + vazão média de março) x 100)/ (somatório da vazão anual). Os outros meses seguem a sequência (procedimento similar é realizado para a precipitação).

Permanência Hídrica

O gráfico da curva de permanência diária possibilita inferir o percentual de dias no ano em que podemos encontrar no rio determinados valores de vazões. Os dados envolvidos nessa etapa são as vazões organizadas em ordem decrescente. Essas vazões serão expostas em forma de percentuais. Assim, o gráfico externará o percentual mensal da permanência anual de cada vazão, dentro do período analisado (Gonçalves; Marques, 2024).

Garantia Hídrica

De posse dos dados da curva de permanência iniciou-se os cálculos para produção da curva de garantia de vazões, que permite avaliar a probabilidade sobre a quantidade de água disponível no leito do rio. Para isso foram selecionados e organizados em uma planilha todos os valores diários de vazão, os quais foram organizados em ordem decrescente. A partir daí iniciou-se o tratamento dos dados, com seleção dos valores de 0% (maiores vazões) a 100% (menores vazões) em intervalos de 10% em 10%, se iniciando em 0 (zero), e por fim, a geração da curva de garantia de vazões. Em sequência, para avaliar o aumento ou redução da garantia hídrica, foi realizado o gráfico da comparação da vazão garantida, o qual indica se a garantia percentual está tendo incremento ou redução.

Análise Isotópica

A SBHRA foi escolhida para este estudo por além de possuir dados de isótopos de $^2\text{H}/^1\text{H}$ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, coletados nas estações seca e chuvosa, também possui dados de precipitação na área da nascente (Estação 1446008) e de vazão (Estação 45760000, coordenadas $-13^\circ 44' 14''\text{S}$ e $-45^\circ 27' 50''\text{O}$) localizada nas proximidades do ponto de amostragem para as análises isotópicas, os quais permitem apoiar a análise deste estudo. Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico que têm o mesmo número de prótons no núcleo (número atômico), mas um número diferente de nêutrons. Isso significa que isótopos possuem massas diferentes. A análise isotópica é uma técnica metodológica utilizada para determinar a composição isotópica de uma amostra, ou seja, a proporção de isótopos de um elemento químico presente nessa amostra, no nosso caso de hidrogênio e oxigênio da água.

2.3. Dados utilizados

Para avaliar a relação causa-efeito do binômio precipitação-vazão, buscando analisar a influência das águas subterrâneas nesta relação, foi utilizada a estação pluviométrica Flor da Serra I (1446008), localizada no município de Jaborandi-BA, situada nas proximidades da nascente, e a estação fluviométrica Bebedouro (45760000), localizada no município de Correntina-BA. Embora a Estação 45760000 tenha dados de vazão a partir de 2003, a estação 1446008 só possui dados de precipitação entre 2006-2023 e, por esta razão, as comparações usam o período de 2006 a 2023 (dados da ANA, 2025).

As outorgas no rio Arrojado, disponíveis em Bahia (2024), concedidas no período de 2013 a 2018, foram utilizadas para auxiliar a caracterização do fluxo na bacia, representando a saída de água do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados médios mensais de precipitação e de vazão, no período de 2006 a 2023, das Estações 1446008 e 45760000, respectivamente, foram dispostos em forma de quadro, sendo a Tabela 1 os valores sem correção do TRM e a Tabela 2 os valores com correção do TRM (nos quais podemos identificar o mês com maior precipitação média com o mês de maior vazão média), tendo em vista que na Tabela 1 ocorre uma discrepância entre os maiores valores de precipitação média mensal e de vazão média mensal (ambos em verde). Os menores valores médios mensais de precipitação e de vazão estão em vermelho.

Tabela 1 – Comparação entre os valores de precipitação e de vazão das Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023, sem correção do TRM

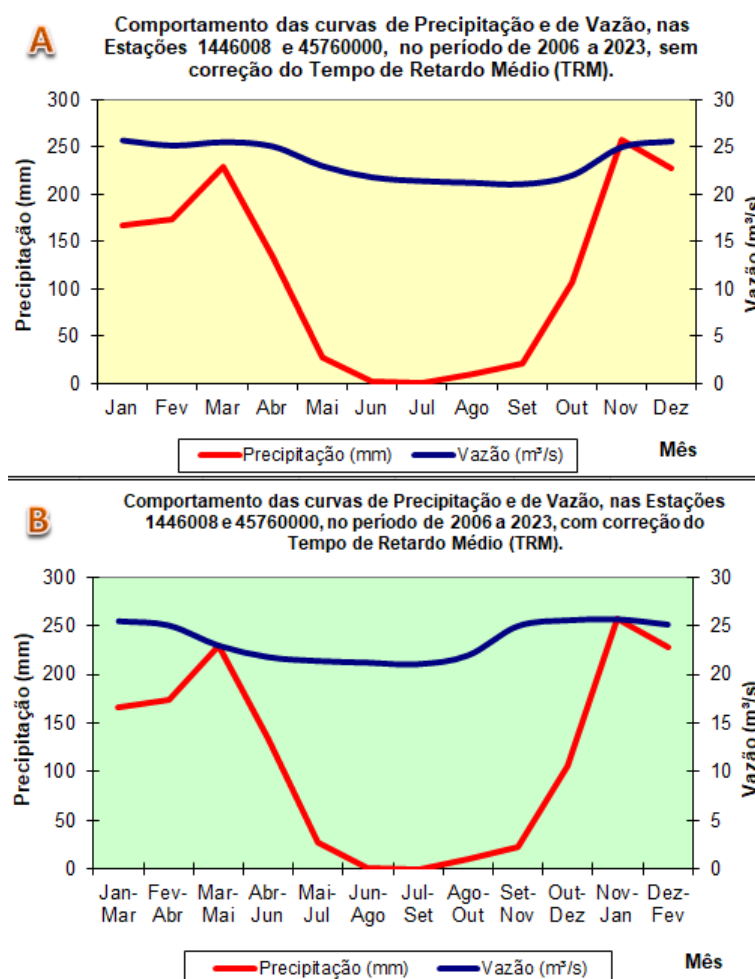
Mês	Precipitação (mm)	Vazão (m^3/s)	Mês	Razão (Rpv) ($\text{mm} / \text{m}^3/\text{s}$)
Jan	166,8	25,7	Jan	6,49
Fev	173,7	25,2	Fev	6,89
Mar	229,6	25,5	Mar	9,00
Abr	133,5	25,1	Abr	5,32
Mai	28,0	23,0	Mai	1,22
Jun	1,7	21,8	Jun	0,08
Jul	0,0	21,4	Jul	0,00
Ago	10,7	21,2	Ago	0,50
Set	22,1	21,1	Set	1,05
Out	106,9	22,0	Out	4,86
Nov	257,0	25,0	Nov	10,28
Dez	228,1	25,6	Dez	8,91

A Tabela 2 apresenta a discrepância entre os maiores valores de precipitação média mensal e de vazão média mensal (ambos marcados em verde) e a discrepância entre os menores valores médios mensais de precipitação e de vazão (ambos marcados em vermelho). A correção do TRM nos mostrou que a discrepância entre a maior precipitação média e a maior vazão média é de 2 (dois) meses, logo estamos tratando de uma bacia hidrográfica do Tipo 2, permeável.

Tabela 2 – Comparação entre os valores de precipitação e de vazão das Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023, com correção do TRM

Mês	Precipitação (mm)	Vazão (m ³ /s)	Mês	Razão (Rpv) (mm / m ³ /s)
Jan-Mar	166,8	25,5	Mar	6,54
Fev-Abr	173,7	25,1	Abr	6,92
Mar-Mai	229,6	23,0	Mai	9,98
Abr-Jun	133,5	21,8	Jun	6,12
Mai-Jul	28,0	21,4	Jul	1,31
Jun-Ago	1,7	21,2	Ago	0,08
Jul-Set	0,0	21,1	Set	0,00
Ago-Out	10,7	22,0	Out	0,49
Set-Nov	22,1	25,0	Nov	0,88
Out-Dez	106,9	25,6	Dez	4,18
Nov-Jan	257,0	25,7	Jan	10,00
Dez-Fev	228,1	25,2	Fev	9,05

De posse dos dados de precipitação e de vazão foi possível construir a curva de precipitação e de vazão depois da correção do TRM. Logo, a Figura 3A representa a curva de comparação precipitação/vazão sem correção do TRM e a Figura 3B representa a curva de comparação precipitação/vazão com correção do TRM. Em ambas as curvas é possível observar um período de menor precipitação, característico de regiões com inverno seco no bioma Cerrado, entretanto na curva sem correção este período compreende os meses de maio a setembro, enquanto que na curva com correção esse período compreende os meses de maio a novembro, em função de anos atípicos nos quais a estiagem se prolonga até novembro, caracterizando um retardo médio de 2 meses, o qual implica no deslocamento das vazões médias mensais, por igual período.

**Figura 3.** Comportamento das curvas de precipitação e de vazão das Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023, sem correção do TRM (3A) e com correção (3B).

Quanto maior o valor do Rpv, maior será a necessidade de precipitação, na Estação 1446008, para gerar 1 m³/s de vazão, na estação fluviométrica 4576000. Logo podemos notar que o nível da água segue uma dinâmica e se apresenta diferente forma ano após ano, uma vez que existe uma sobreposição dos períodos em função da antecipação ou atraso das precipitações em anos distintos. Para observar a quantidade de precipitação necessária para gerar 1 m³/s de vazão na estação estudada, ao longo do ano, foram elaborados os gráficos de razão precipitação/vazão para o período sem e com correção do TRM, conforme o método de Gonçalves (2019). A Figura 4, que representa as curvas do Rpv. A Figura 4B nos indica de forma indireta o momento em que o aquífero possui seu maior ou menor nível d'água, pois os menores valores de Rpv indicam um nível mais altos da água no aquífero.

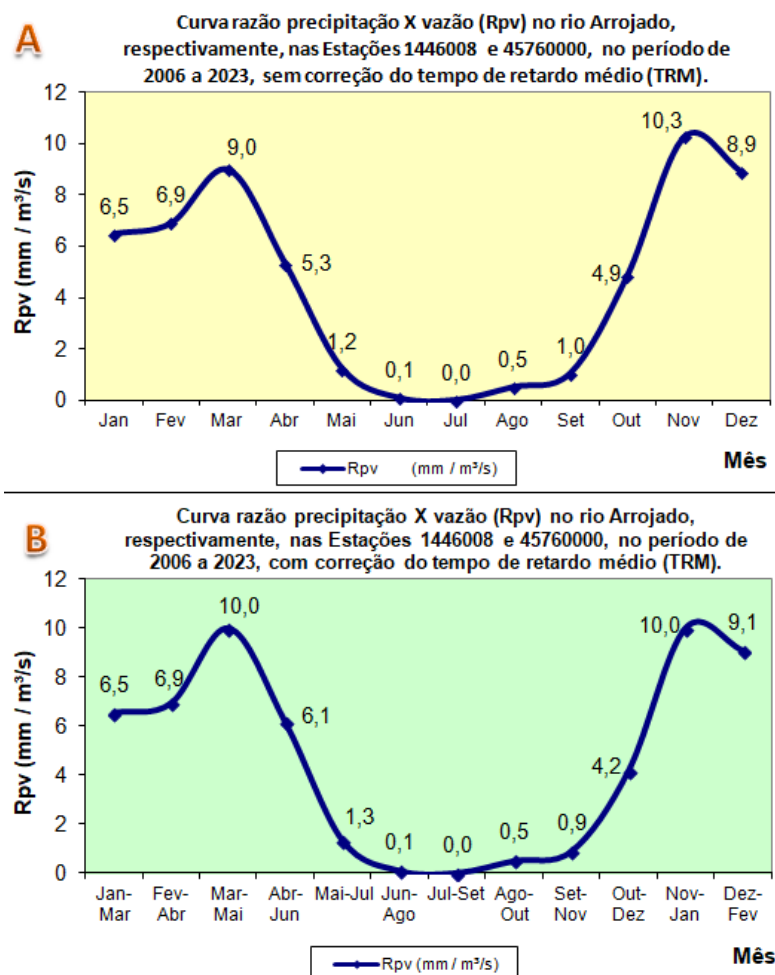


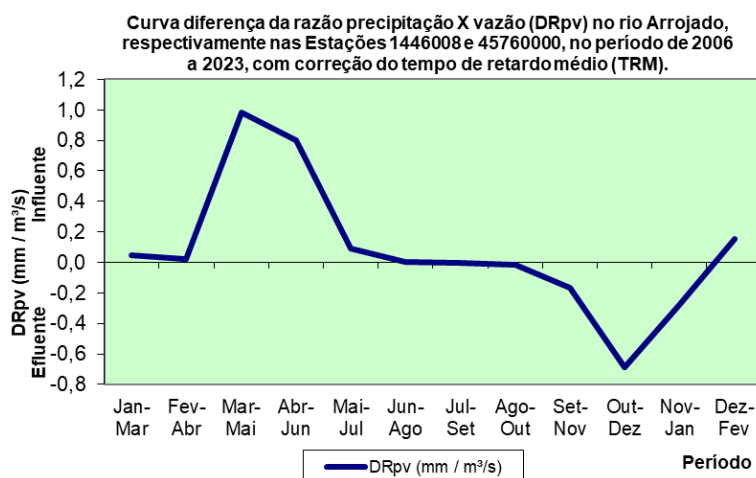
Figura 4. Curva Razão precipitação/vazão (Rpv) das Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023, sem correção do TRM (4A) e com correção do TRM (4B).

O cálculo dos valores da DRpv pode ser observado na Tabela 3, onde foram realizados para uma bacia com correção do TRM ≥ 30 dias, tendo em vista que a sub-bacia do rio Arrojado se apresentou com um TRM de 60 dias, ou seja uma bacia do Tipo 2, permeável. No cálculo do DRpv os valores positivos significam que o rio se encontra num período influente, os valores negativos que se encontram num período efluente e quando é igual a zero que se encontra num período de transição entre influente-efluente ou efluente-influente.

Continuando com a avaliação da interface água superficial subterrânea foi construída também a curva da diferença entre a razão precipitação/vazão (DRpv), na qual é possível observar o período que o rio Arrojado, na Estação 45760000, é influente, efluente ou misto, uma vez que possui um período de transição entre a influência influente e efluente, bem delimitado. O gráfico apresentado na Figura 5 indica que no período de maio a setembro o aquífero não consegue mais receber água, pois se encontra cheio, no final do período das chuvas (caracterizando um período de transição), e passa a fornecer água para o rio e este se torna efluente, na estação estudada e nos seus arredores.

Tabela 3 – Valores da DRpv entre as Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023

Período	Razão (Rpv) (mm / m ³ /s) sem correção do TRM	Razão (Rpv) (mm / m ³ /s) com correção do TRM	Diferença da Razão (DRpv) (mm / m ³ /s)	Relação mensal de influência
Jan-Mar	6,49	6,54	0,05	Influente
Fev-Abr	6,89	6,92	0,02	Influente
Mar-Mai	9,00	9,98	0,98	Influente
Abr-Jun	5,32	6,12	0,80	Influente
Mai-Jul	1,22	1,31	0,09	Influente
Jun-Ago	0,08	0,08	0,00	Transição
Jul-Set	0,00	0,00	0,00	Transição
Ago-Out	0,50	0,49	-0,02	Efluente
Set-Nov	1,05	0,88	-0,16	Efluente
Out-Dez	4,86	4,18	-0,69	Efluente
Nov-Jan	10,28	10,00	-0,28	Efluente
Dez-Fev	8,91	9,05	0,16	Influente

**Figura 5.** Curva diferença da razão precipitação X vazão (DRpv) no rio Arrojado, 2025.

Para avaliar se realmente os períodos descritos nas curvas de Razão precipitação/vazão (Rpv) e da Diferença Razão precipitação/vazão (DRpv) estão corretos buscamos compreender o momento no qual as vazões são constituídas, predominante, pelas águas pluviais ou do aquífero utilizando a CIMApv, a qual nos diz o momento em que existe predomínio das águas superficiais ou subterrâneas na vazão. O predomínio da precipitação pode ser observado quando os valores de precipitação acumulada percentual são maiores do que os valores da vazão acumulada percentual, sendo que esta última representa a água proveniente do aquífero. Esta relação pode ser vista nas Figuras 6A e 6B, nas quais temos, respectivamente, as curvas sem correção e com correção do TRM. Nestas figuras pode ser observado que a água proveniente da precipitação predomina na formação das vazões no primeiro semestre e que as águas provenientes do aquífero predominam no segundo semestre, dado que as precipitações diminuem ou não acontecem no meio do ano e desta maneira a contribuição do aquífero aumenta ou até mesmo se torna única. Observamos ainda que a influência da precipitação sofre um pequeno deslocamento passando de meados de junho, para o início de julho. A predominância das águas do aquífero, no segundo semestre na manutenção das vazões, acontece por causa da redução da precipitação, que chega a 0 mm, mostrando que o acoplamento hidráulico existente entre as águas superficiais do rio Arrojado e do aquífero Urucua, com um tempo de retardo médio de 60 dias, entre as precipitações na Estação pluviométrica 1446008 (nascente) e a Estação fluviométrica 45760000.

Para reforçar as respostas encontradas pela metodologia empregada foi utilizado um estudo existente de isótopos de água coletada no rio Arrojado, para validar os resultados encontrados. Os resultados do trabalho de Barbosa (2016) indicam que as 5 (cinco) amostras coletadas no rio Arrojado, entre os anos de 2005 e 2006, possuem águas provenientes do aquífero Urucua, indicando que a infiltração acontece de forma eficiente na SBHRA e que a água corrente no rio Arrojado, no período que foi coletada, tem como maior contribuinte o aquífero. O resultado de Barbosa (2016) pode ser observado na Figura 7.

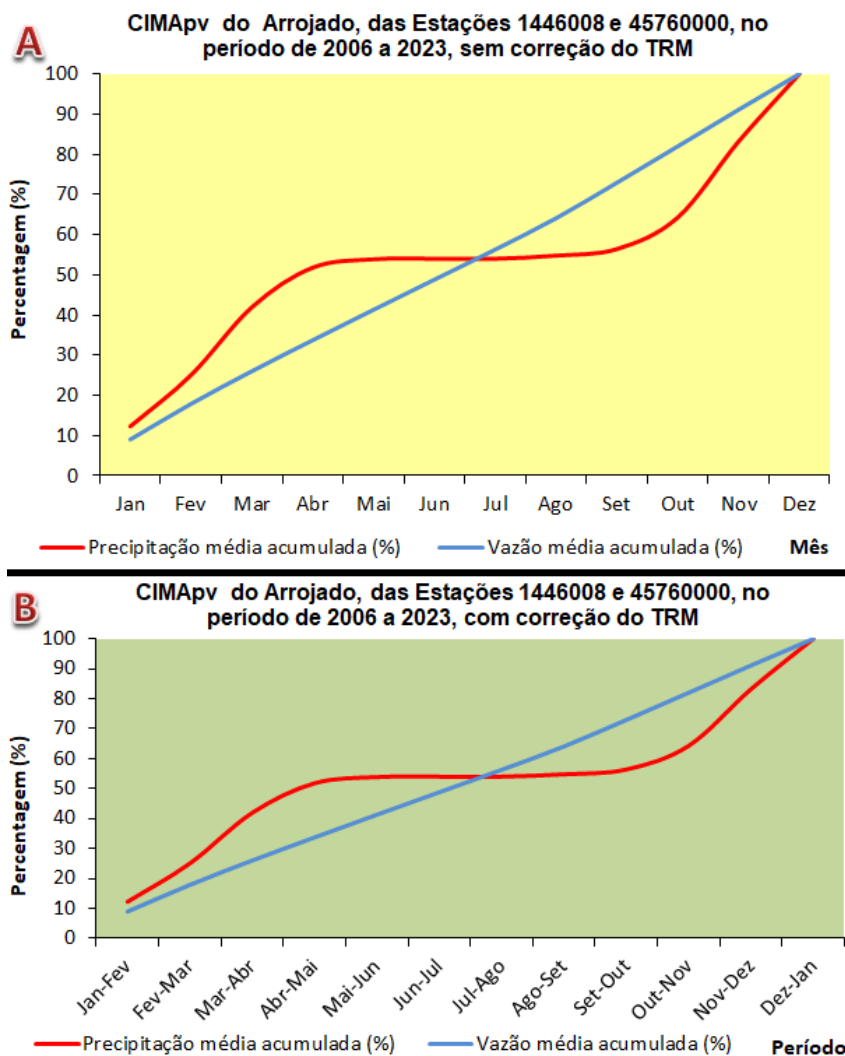


Figura 6. CIMApv no rio Arrojado, respectivamente, nas Estações 1446008 e 45760000, no período de 2006 a 2023, sem correção do TRM (6A) e com correção do TRM (6B).

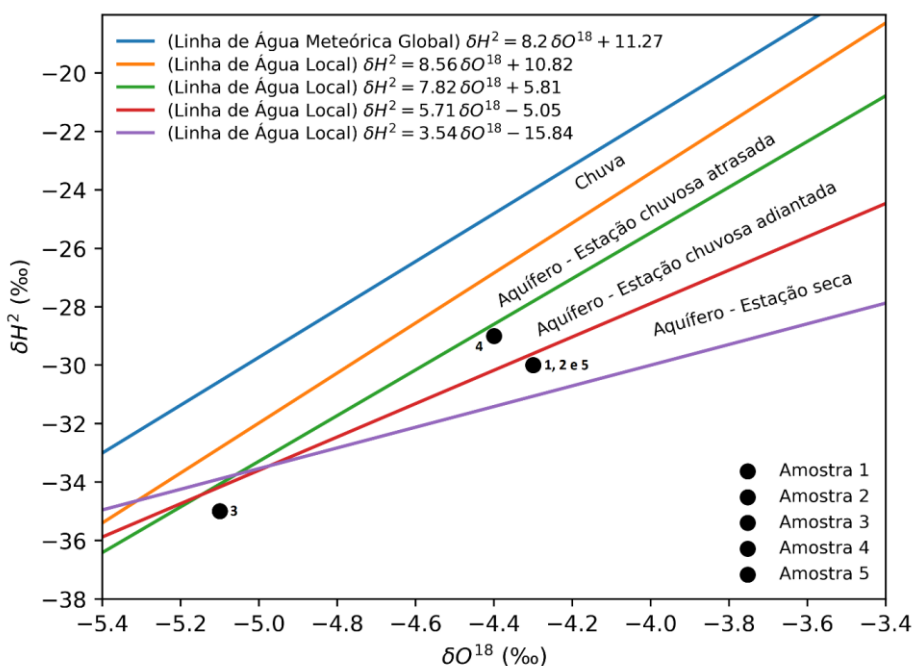


Figura 7. Identificação da origem da água responsável pela manutenção da vazão através da relação existente entre isótopos de Oxigênio e de Hidrogênio.

Na Tabela 4 observamos que os resultados isotópicos das amostras de água do rio Arrojado em dezembro (2005) foram típicos de estação seca, mesmo com uma precipitação de 409,7 mm (estação chuvosa) em maio (2006), fato que pode ser explicado pelo tempo de retardo médio ser 60 dias os resultados isotópicos indicavam uma origem subterrânea na estação chuvosa atrasada, quando a precipitação foi de 6,6 mm.

Tabela 4 – Correlação entre os dados de isótopos de água no rio Arrojado, Diferença da Razão precipitação/vazão-DRpv, Razão precipitação/vazão-Rpv, Curvas integradas médias acumuladas precipitação vazão-CIMApv, além dos dados de Precipitação e de Vazão.

Número da amostra, mês e ano da coleta.	Resultado dos Isótopos ($^2\text{H}/^1\text{H}$ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$).	Influência existente na formação da vazão. DRpv (mm /m ³ /s).	Condição de armazenamento da água no aquífero. Rpv (mm /m ³ /s).	Contribuição principal na vazão no rio. CIMApv.	Precipitação (mm) no mês da coleta na Estação 1446008.	Vazão média (m ³ /s) no mês da coleta na Estação 45760000.
Amostra 1 Setembro (2005)	Aquífero na estação chuvosa adiantada ($\delta^{18}\text{O}=-4,3$; $\delta^2\text{H}=-30$)	Final da transição Influyente para Efluyente/	Aquífero nível alto, mais baixando 2,0	Aquífero	49,2	24,1
Amostra 2 Outubro (2005)	Aquífero na estação chuvosa adiantada ($\delta^{18}\text{O}=-4,3$; $\delta^2\text{H}=-30$)	Efluyente	Aquífero nível alto 0,4	Aquífero	8,7	23,8
Amostra 3 Dezembro (2005)	Aquífero na estação seca ($\delta^{18}\text{O}=-5,1$; $\delta^2\text{H}=-35$)	Final da transição Efluyente para Influyente	Aquífero nível baixo 12,1	Aquífero	409,7	33,8
Amostra 4 Maio (2006)	Aquífero na estação chuvosa atrasada ($\delta^{18}\text{O}=-4,4$; $\delta^2\text{H}=-29$)	Início da transição Influyente para Efluyente	Aquífero nível alto 0,3	Chuva	6,6	26,4
Amostra 5 Novembro (2006)	Aquífero na estação chuvosa adiantada ($\delta^{18}\text{O}=-4,3$; $\delta^2\text{H}=-30$)	Transição Efluyente para Influyente	Aquífero nível baixo, mais aumentando 7,9	Aquífero	214,8	27,3

Fonte: Barbosa (2016) e ANA (2025). Produção própria dos autores, 2025.

A manutenção das vazões pode ser observada pela curva de permanência das vazões diárias do rio Arrojado na Estação 45760000, na qual é possível notar que as vazões se mantêm durante todo o ano, com uma pequena redução (Figura 5A). Entretanto, quando analisamos a curva de permanência das vazões mensais do rio Arrojado na mesma estação, esta redução é menos significativa (Figura 5B). Esta observação indica que a precipitação possui uma influência instantânea que perde rapidamente força, pois a regularização das vazões pelas águas do aquífero é mais significativa, em função de se ter uma infiltração mais eficiente.

As vazões médias do rio Arrojado são influenciadas pelas outorgas tendo em vista que sua maior vazão média, no período de 2003 a 2023, é 34,12 m³/s (dezembro/2005) e sua menor vazão média, no mesmo período, é 17,87 m³/s (setembro/2023). Segundo o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), "as outorgas validas até 2023, no rio Arrojado, totalizam 17,6 m³/s", ou seja, 80,6% da vazão média mínima e 66,79% da vazão média máxima (INEMA, 2024). Desta maneira fica claro que os usos dos recursos hídricos superficiais já ultrapassam 60% da vazão média do rio Arrojado. Essas outorgas superando as vazões médias são um indicativo de conflitos pelo uso da água fluvial na sub-bacia.

O comportamento das vazões máximas anuais e das vazões mínimas anuais no rio Arrojado na Estação 45760000, no período de 2003 a 2024, nos mostra que ocorre um declínio de ambas as vazões a partir de 2014. Os gráficos das vazões máximas e mínimas anuais, com suas, respectivas, médias máximas e mínimas, podem ser observados, respectivamente, nas Figuras 9A e 9B.

Para entender a dinâmica do rio Arrojado foi confeccionada a curva de garantia das vazões médias diárias para o período de 2003 a 2023, a qual indica uma vazão de 18,5 m³/s com uma garantia de 90% (Q90) que é o valor de referência para concessão de outorgas de água no estado da Bahia. Neste mesmo período a maior vazão média diária foi de 42,1 m³/s (Q0), no ano de 2005 e a menor foi de 12,5 m³/s (Q100) e aconteceu no ano de 2023, indicando que existe uma redução de vazão média diária. A curva da garantia das vazões médias diárias, no período de 2003 a 2023, pode ser observada na Figura 10.

Utilizando a curva de Rpv se pôde fazer a atribuição temporal da curva de garantia para o período de 2006 a 2023, na Estação 45760000, considerando que existem dois momentos nos quais a curva Rpv tem valores de 50%, um quando o aquífero estiver em processo de redução do volume armazenado de água e outro quando estiver em processo de incremento do volume armazenado. Desta forma podemos ter uma noção média do mês no qual podemos ter as vazões garantidas. Na Figura 11 podemos observar que o período de maior garantia percentual de vazão compreende o período de junho a outubro, em outras palavras o período que temos a maior disponibilidade hídrica é de novembro a maio, pois as vazões são maiores e coincide com o período chuvoso.

Ressalta-se que a metodologia HAE possui limitações de uso quando a bacia hidrográfica não possui uma série histórica de dados pluviométricos e fluviométricos consistentes ou possui grandes falhas no monitoramento realizado nas estações, o que não ocorreu nesse estudo.

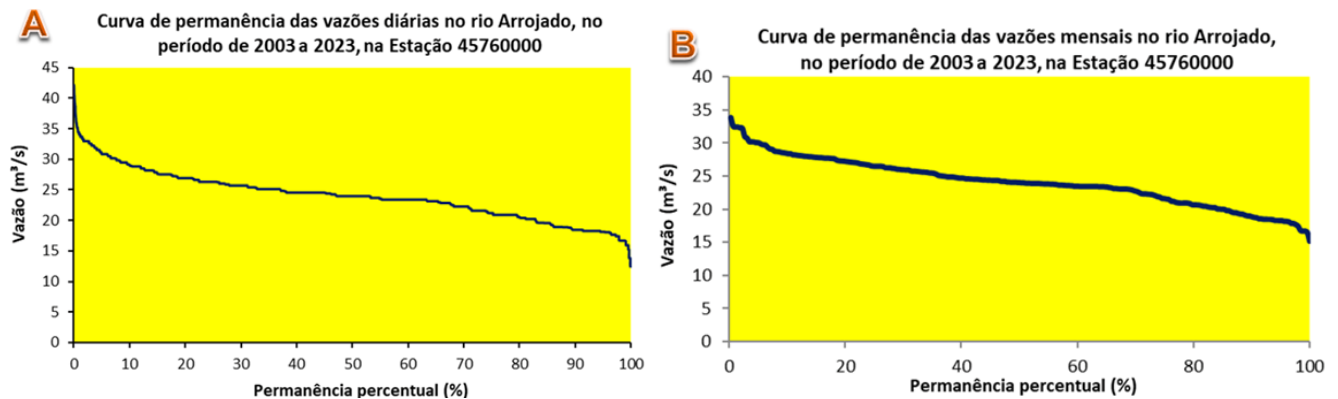


Figura 8. Curva de permanência das vazões diárias (8A) e mensais (8B) no rio Arrojado, no período de 2003 a 2023, na Estação 45760000.

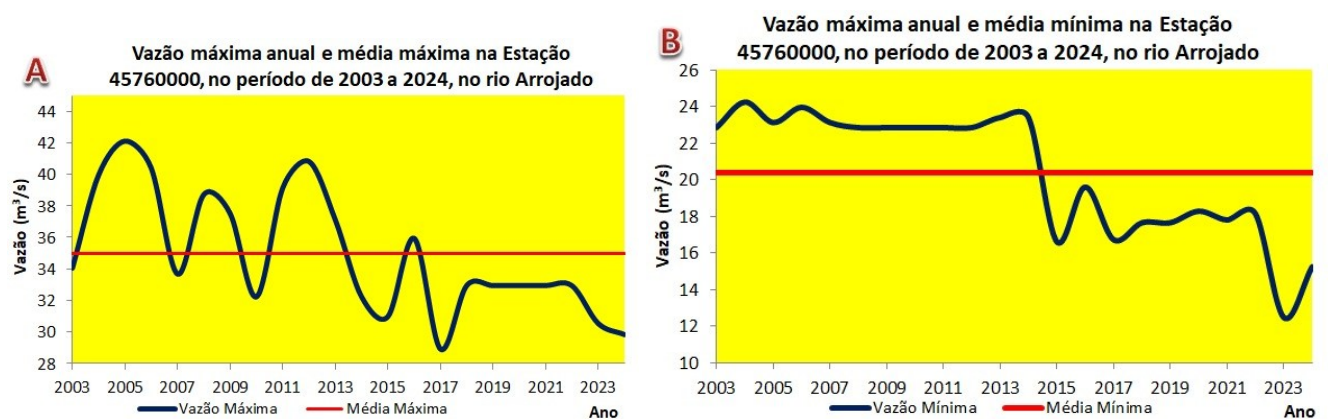


Figura 9. Vazões máximas anuais e média máxima (9A) e mínimas anuais e médias mínimas (9B), na Estação 45760000, no período de 2003 a 2024, no rio Arrojado.

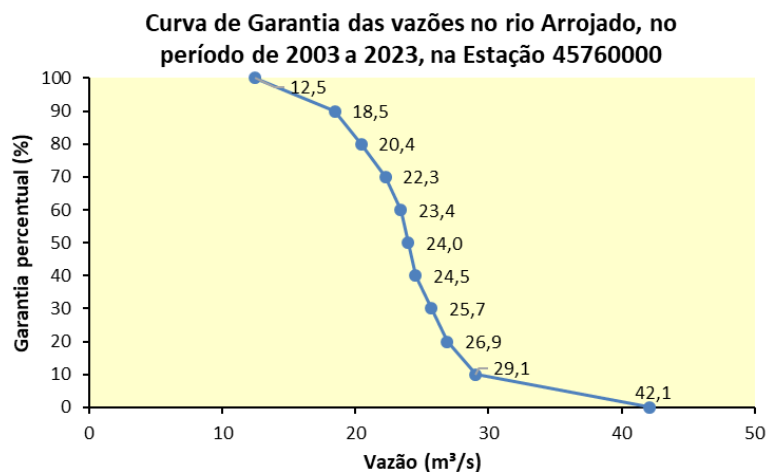


Figura 10. Garantia das vazões na Estação 45760000, no período de 2003 a 2023, no rio Arrojado.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a metodologia utilizada para estudo do sistema hídrico apresenta-se satisfatória e possibilitando conclusões interessantes com potencial utilização pelos órgãos competentes na gestão dos recursos hídricos. Na SBHRA o acoplamento hidráulico entre as águas superficiais do rio Arrojado e subterrâneas do aquífero Uruçuia ficam evidentes, sendo que suas maiores precipitações médias acontecem em novembro e suas maiores vazões médias acontecem em janeiro, representando um TRM de 60 dias entre as estações observadas, caracterizando assim uma sub-bacia permeável, e desta maneira indicando que a captação de águas subterrâneas influencia nas vazões do rio Arrojado.

A CIMApv do rio sugere que a relação água superficial/subterrânea, pois embora a precipitação tenha diminuído na bacia, a vazão não diminui na mesma proporção, evidenciando que existe uma forte contribuição das águas subterrâneas como fluxo de base, sendo responsável pela manutenção das vazões entre novembro e abril. A CIMApv mostra ainda que há uma prevalência no fornecimento de água para a formação das vazões no primeiro semestre, quando ocorrem as maiores precipitações, fato corroborado pelas análises isotópicas, evidenciando que existe uma forte contribuição do fluxo de base no segundo semestre.

A curva DRpv demonstra períodos nos quais o rio Arrojado é influente (dezembro a julho), efluente (agosto a janeiro) e períodos de transição (junho a setembro). O DRpv também nos mostra que existe uma sobreposição nos períodos influente e efluentes com a transição, uma vez que a bacia possui TRM de 60 dias.

Importante ressaltar que a sub-bacia hidrográfica do rio Arrojado apresenta redução das vazões máximas e mínimas anuais. Desta forma sugere-se a limitação de novas outorgas para a mitigação de conflitos, principalmente se considerarmos as populações ribeirinhas.

A análise isotópica corrobora com a metodologia HAE, pois indicam a existência do tempo de retardo, indicando os momentos nos quais as águas que formam as vazões no rio Arrojado são provenientes da precipitação ou do aquífero.

REFERÊNCIAS

- ANA. **HIDROWEB v3.3.8361.0**. Brasília, 2025. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 29 de junho de 2025.
- ARANTES, E. J.; CHAUDLHRY, F. H; MARCUSSI, F. F. N. **Caracterização da interação entre rio e aquífero**. *Revista Águas Subterrâneas*, Belo Horizonte, v. 20 n. 2, 2006. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v20i2.11728>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11728>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- BARBOSA, N da S. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Uruçuia, Bahia**. 2016. 168 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/22502>. Acesso em: 06 out. 2018.
- CAVALCANTE, J. **Assessoria de Comunicação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF)**. Belo Horizonte, 01 jun. 2020, Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/novidades/conflito-pelo-uso-da-agua-no-rio-arrojado-e-tema-de-congresso-virtual/>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- DE ROCCO, L. R. O. **História da Teoria das Probabilidades**. Guarapuava: GPET Física Unicentro, Paraná, 2 abr. 2020. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2020/04/02/historia-da-teoria-das-probabilidades/>. Acesso em: 21 fev. 2025. Não localizada citação
- GONÇALVES, M. J. de S. Curvas Integradas Médias Acumuladas de Precipitação e Vazão (CIMApv) e sua interação com o Tempo De Retardo Médio (TRM), a Identidade Fluvial (IF) e os Biomas Brasileiros. *Cadernos de Geociências*, [S. l.], v. 18, n. esp., 2023. DOI:10.9771/geocad.v18i0.56080. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/56080>. Acesso em: 22 fev. 2025..
- GONÇALVES, M. J. de S. **Gestão quantitativa das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu no estado da Bahia – Brasil**. 2014. 167f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/21527>. Acesso em: 30 out. 2017.

GONÇALVES, M. J. DE. S. (2019 a) **Distinção entre sub-bacias hidrográficas dos rios Carinhanha, Preto e Sapão, localizadas no Sistema Aquífero do Urucuia-SAU, a partir do tempo de retardo médio.** Revista Mercator (submissão em abril de 2019).

GONÇALVES, M. J. S. **Metodologia de avaliação quantitativa das águas superficiais em bacias hidrográficas.** Palestra ministrada no dia 16 de maio de 2019, no auditório da Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia-UFBA, 2019b

GONÇALVES, M. J. S.; MARQUES, E. C. de L. **Estudo hidrológico da sub-bacia hidrográfica do rio São Lourenço, Mato Grosso, Brasil.** Consultoria realizada para a empresa Triade Consultoria Socioambiental Ltda (CNPJ: 31.344.035/0001-71), contratada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), 2024,

GONÇALVES, M. J. S.; REIS, Simony Lopes da Silva. Mapa do zoneamento do sistema aquífero Urucuia-SAU na Bahia, baseado no Tempo de Retardo Médio (TRM). In: SEMINÁRIO ÁGUAS DO URUCUIA: SOBERANIA ALIMENTAR E JUSTIÇA ESPACIAL, 1., 2019, Salvador. **Anais [...].** Salvador: UFBA, 2019c Disponível em: Universidade Federal da Bahia: Mapa do zoneamento do sistema aquífero Urucuia-SAU na Bahia, baseado no Tempo de Retardo Médio (TRM). Acesso em: 01 fev. 2026.

INEMA. **Nota técnica NT12/2018:** Outorgas na Bacia do Rio Corrente para fins de Captação Superficial. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos-INEMA. 2024. Uso restrito.

MONTEIRO, André. **Fundamentalmente, foi a omissão do Estado que levou a isso.** [Entrevista cedida a] Maíra Mathias. Rio de Janeiro: EPSJV/Fiocruz, 16 nov. 2017. Disponível em: <https://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/entrevista/fundamentalmente-foi-a-omissao-do-estado-que-levou-a-isso>. Acesso em: 01 fev. 2026.

NEIVA, A.; GOMES, T. O movimento dos atingidos por barragens/mab na bacia do rio Corrente: lutas e resistências em defesa dos direitos das populações atingidas. **Revista Encantar - Educação, Cultura e Sociedade**, Bom Jesus da Lapa, v. 1, n. 1, p. 73-87, jan./abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/encantar.v1.n1.006>. Disponível em: <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=b37809ece95217b52d7ce868d7588b834c1ac4ab1380fdd7e74dc9095be7b8f3JmldtHM9MTc0MDUyODAwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=1169984a-bb28-6582-2db3-8adaba04648e&psq=colf%c3%a7itos+no+rio+Corrente&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cucmV2aXN0YXMudW51Yi5ici9pbmRleC5w aHAvZw5jYW50YXlvYXJ0aWNsZS9kb3dubG9hZC84MDg1L3BkZg&ntb=1>. Acesso em: 26 fev. 2025.

OLIVEIRA, L. T. **Balanco hídrico transitório e análise das variações de níveis d'água na porção meridional do aquífero Urucuia – Bahia.** 2020. 99f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. 2020. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/22106/1/TESE_DOUTORADO_oliveira_oliveira_atoPublico.pdf. Acesso em: 27 fev. 2025.

OLIVEIRA, Leanize Teixeira; RODRIGUES, Vitor Hugo Serravalle Reis; GRISSOLIA, Eduardo Moussalle. **Análise da geometria do aquífero Urucuia e dinâmica de flutuações de níveis d'água subterrânea: relatório 2022-2023.** Salvador: Serviço Geológico do Brasil, 2025. Programa de Recursos Hídricos. Ação Levantamentos Hidrogeológicos, Estudos Integrados em Recursos Hídricos para Gestão e Ampliação da Oferta Hídrica. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23408>. Acesso em: 10 fev. 2026.

RIGONATO, L. et al. Water Appropriation on the Agricultural Frontier in Western Bahia and Its Contribution to Streamflow Reduction: Revisiting the Debate in the Brazilian Cerrado. **Water**, [s. L.], v. 13, n. 8, p. 1054, 2021. DOI:10.3390/w13081054.

SANTOS, Bianca Suzy dos Reis dos. **O conflito pela água em Correntina (BA):** narrativas e disputas no Vale do Arrojado. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia) - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2020. Disponível em: <https://app.homologacao.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/16176/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20FINAL%20Bianca%20Suzy%20dos%20Reis%20dos%20Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SANTOS, G. R. dos; FARIAS, A. Z.; BRONZATTO, L. A. 2023. Conflitos pela água, leis nacionais e os ODS: monitoramento para uma governança democrática. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 62, p. 919-940, jul./dez. 2023. DOI: 10.5380/dma.v62i0.86826. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/86826/50690>. Acesso em: 27 fev. 2025.

SANTOS, T. R.; GONÇALVES, M. J de S.; TORRES, A. P. Potencial hídrico da sub-bacia hidrográfica do rio Arrojado – BA através da curva de garantia de vazão. In: III SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 3., 2020, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos [...].** Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/IIISBHSF/289657-pontencial-hidrico-da-sub-bacia-hidrografica-do-rio-arrojado--ba-atraves-da-curva-de-garantia-de-vazao>. Acesso em: 21 fev. 2025.