



## Indicadores hidrológicos para gestão de recursos hídricos na Região Hidrográfica Tocantins Araguaia – RHTA

### Hydrological indicators for water resources management in the Tocantins Araguaia Hydrographic Region – RHTA

Sâmira Silva Lima<sup>1</sup>, André dos Santos Araújo<sup>1</sup>, Glauber Epfanio Loureiro<sup>1</sup>

#### RESUMO

A água é um recurso indispensável para sobrevivência da vida na terra. Neste sentido, a análise da circulação de água em quantidade e qualidade em bacias hidrográficas é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Nesse seguimento, o objetivo do estudo foi avaliar o regime de vazões a partir da utilização de indicadores hidrológicos na Região Hidrográfica Tocantins Araguaia - RHTA. Dessa maneira, os dados das estações fluviométricas foram extraídos do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), foi padronizado o período de 1978 a 2017 (30 anos) para a quantificação dos indicadores hidrológicos sendo eles: Rendimento específico médio de longa duração; Rendimento específico máximo; Rendimento específico mínimo; Rendimento específico com 95% de permanência; Rendimento médio com 95% de permanência; Rendimento específico de sete dias e 10 anos de tempo de retorno; Índice de regularização natural; Índice referência mínimo; Índice da vazão média de cheia; e Índice do limite superior da faixa de inundação ribeirinha. Para séries com dados de vazão ( $m^3/s$ ) em 28 estações selecionadas. Diante disso, os resultados indicam, que a estação (23230000) localizada no médio Tocantins no município de Goiatins - TO e (19985000) situada em Pacajás - PA inserida na UPH- Pará possui maior disponibilidade hídrica. Em contrapartida, o posto 26710000 em Sandolândia - TO se encontra no médio Araguaia expressou baixos rendimentos. O indicador (RE95) identificou que exceto o estado do Tocantins, todos os demais Goiás, Mato Grosso e Pará que adentram a bacia utilizam 70% do Q95%, atribuídos aos resultados correspondeu a 134,25  $m^3s^{-1}$ , os quais são destinados aos usos múltiplos. Já os indicadores (Re7,10) e (I7,10) demonstraram que a bacia apresenta médio potencial de regularização natural e baixa capacidade de regularização natural.

**Palavras-chave:** Disponibilidade hídrica; Indicadores de rendimento; Índices Hídricos; Vazão.

#### ABSTRACT

Water is an indispensable resource for the survival of life on earth. In this sense, the analysis of water circulation in quantity and quality in river basins is fundamental for the management of water resources. In this context, the objective of the study was to evaluate the flow regime using hydrological indicators in the Tocantins Araguaia Hydrographic Region - RHTA. In this way, data from fluviometric stations were extracted from the Hydrological Information System (Hidroweb) of the National Water and Sanitation Agency (ANA), the period from 1978 to 2017 (30 years) was standardized for the quantification of hydrological indicators, namely: Long-term average specific yield; Maximum specific yield; Minimum specific yield; Specific performance with 95% permanence; Average performance with 95% retention rate; Specific yield of seven days and 10 years of return time; Natural regularization index; Minimum reference index; Average flood flow index; and Index of the upper limit of the riverine floodplain. For series with flow data ( $m^3/s$ ) at 28 selected stations. Therefore, the results indicate that the station (23230000) located in the middle of Tocantins in the municipality of Goiatins - TO and (19985000) located in Pacajás - PA inserted in UPH- Pará has greater water availability. On the other hand, station 26710000 in Sandolândia - TO, located in the middle of Araguaia, expressed low income. The indicator (RE95) identified that except the state of Tocantins, all other Goiás, Mato Grosso and Pará that enter the basin use 70% of the Q95%, attributed to the results corresponding to 134.25  $m^3s^{-1}$ , which are destined for multiple uses. The indicators (Re7.10) and (I7.10) demonstrated that the basin has a medium potential for natural regularization and a low capacity for natural regularization.

**Keywords:** Water availability; Yield indicators; Water Indices; Flow rate.

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Pará.

Autor correspondente: andre.araujoamb@gmail.com

Recebido em: 05/10/2022. Aceito em: 27/05/2025.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

## 1 INTRODUÇÃO

Se tratando de bacia hidrográfica, entender o ciclo hidrológico e o comportamento dos recursos hídricos é indispensável para a tomada de decisão, planejamento e gerenciamento dos mesmos. Neste sentido, estudos a respeito da demanda de água relacionados aos aspectos da região são fundamentais para garantir a conservação dos recursos naturais.

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei Federal nº 9.433 de 1997, cria instrumentos para efetivar a gestão dos recursos hídricos e um deles é o sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, em busca de otimizar o uso racional da água em todo território Nacional, garantindo oferta em quantidade e qualidade suficientes para os usos múltiplos (Elesbon *et al.* 2014).

No entanto a RHTA é uma fronteira agrícola, mineração, potencial energético com mudanças no uso do solo e cobertura vegetal intensas nas últimas décadas. Desse modo, das atividades de exploração e uso do solo, destaca-se os projetos de irrigação, mineração, garimpos, os aproveitamentos hidrelétricos, dentre outros que potencializam a fragilidade ambiental desta região (MMA, 2006; Falck *et al.*, 2015).

Para Sousa-Filho *et al.* (2016) e Lima e Loureiro (2021), em decorrência disto tem-se a limitação dos recursos hídricos como um importante condicionante ao desenvolvimento econômico e social, resultando em vários desafios ao planejamento e gerenciamento deste recurso.

Nesse seguimento, os estudos de Tucci (2002), Clarke e Tucci (2003) Reis *et al.* (2008), Rodrigues *et al.* (2015) recorrem aos indicadores regionais disponíveis para avaliação do regime da vazão em determinada região, uma vez que, conhecer o desempenho hídrico da bacia é fundamental para o processo de gestão dos recursos hídricos, visando ter água em quantidade e qualidade.

O indicador disponibilizar informações sobre a produção de água na bacia hidrográfica, além de verificar a capacidade de regularização natural de vazões, características da bacia em virtude de análises das vazões médias, máximas e mínimas, visando entender a dinâmica da região hidrográfica bem como observar as possíveis ocorrências de eventos extremos (Rodrigues *et al.* 2015). Diante disso, o presente estudo tem por objetivo avaliar os regimes de vazões a partir da utilização de indicadores hidrológicos na RHTA.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo abrange as Unidades de Planejamento Hídrico (UPH): Alto Araguaia, Alto Mortes Baixo Mortes Alto, Baixo Mortes, Alto médio Araguaia, Médio Araguaia, Submedio Araguaia, Baixo Araguaia, Alto Tocantins, Paraná Tocantins, Alto médio Tocantins, Sono, Médio Tocantins, Itacaiunas, Submédio Tocantins, Baixo Tocantins, Pará e Acará Guamá (Figura 1) que formam a RHTA.

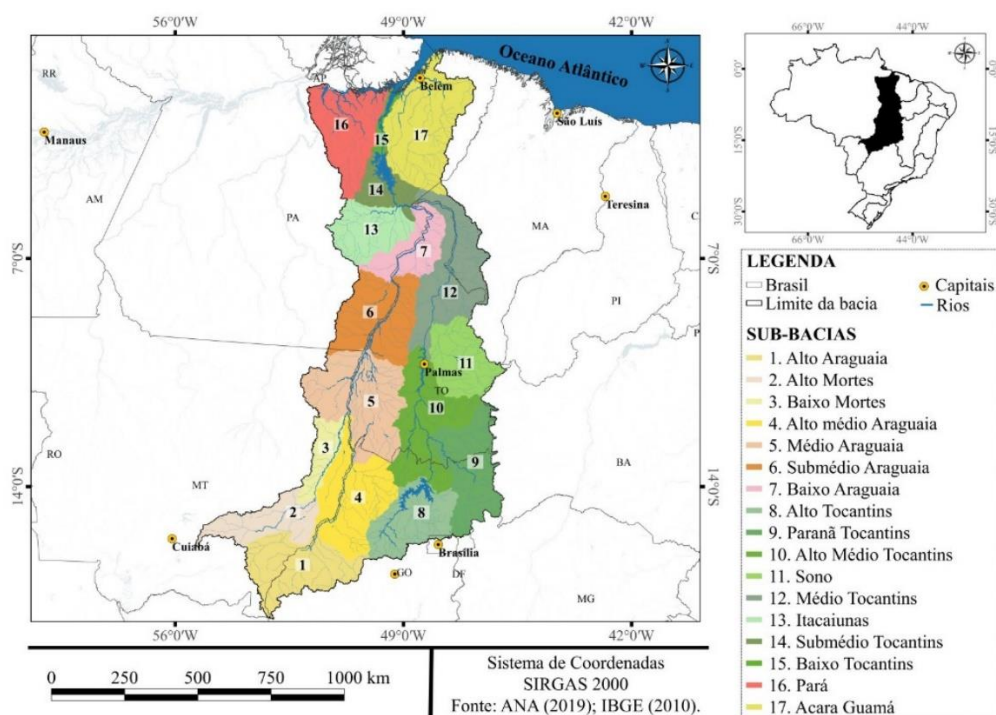


**Figura 1.** Localização das UPH que compreendem a RHTA.

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2024.

A RHTA situa-se entre o paralelo sul  $0^{\circ}30'$  a  $18^{\circ}05'$  e os meridianos de longitude  $45^{\circ}45'$  a  $56^{\circ}20''$ , com forma alongada na direção Norte-Sul os principais cursos d'água são Rio Tocantins e Araguaia apresenta área total de  $918.822 \text{ Km}^2$  abrangendo as regiões: Norte, Nordeste e Centro Oeste do país.

A RHTA apresenta clima tropical com características hidro meteorológicas que variam conforme latitude além de características médias de temperatura anual de  $26^{\circ} \text{C}$  e períodos climáticos definidos como chuvoso de outubro a abril com mais de 70% de precipitação e período menos chuvosos com dias de secas entre os meses de janeiro e fevereiro indicando menor umidade relativa de maio a setembro.

Estima-se que precipitação média anual na área de  $1.837 \text{ mm}$  distribuídas de forma irregular espacial ao longo da bacia. Além disso, a evapotranspiração média é  $1.371 \text{ mm}$  por ano e vazão média de  $14.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os solos são classificados como Latossolos Vermelhos-amarelos. No norte da RHTA a cobertura vegetal é de florestal tropical e nas partes centro-sul prevalece o cerrado brasileiro (ANA, 2008).

Os indicadores hidrológicos foram realizados considerando estações fluviométricas com séries históricas disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA). Foi padronizado o período de 1978 a 2017 (30 anos) para a quantificação dos indicadores hidrológicos para séries com dados de vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Foram encontradas 48 e 4 estações com dados de vazão e cota, respectivamente. Os dados de cota foram convertidos em vazão por meio da curva chave também disponíveis no Hidroweb. Como critério de escolha que priorize a distribuição espacial das estações foram selecionadas apenas as estações com mais de  $3.000 \text{ Km}^2$  de área de drenagem que represente pelo menos rio principal ou único afluente na qual está inserida

pertencente a sub-bacia conforme delimitação DNAEE/ANEEL. Para aquelas sub-bacias com carência de dados foi desconsiderado este critério.

O Tabela 1 apresenta a identificação, código, nome da estação, coordenadas, rio, código sub-bacia DNAEE/ANEEL, UPH e área de drenagem correspondentes para 28 estações selecionadas conforme localização na Figura 2.

**Tabela 1.** Estações fluviométricas selecionadas para compor banco de dados de vazão na geração dos indicadores.

| ID | Cód.     | Estação                   | Longitude | Latitude  | Rio                 | DNAEE | UPH                  | Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> ) |
|----|----------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|-------|----------------------|-------------------------------------|
| 1  | 19985000 | Pacajás                   | 540354,6  | 9573969,9 | Pacajás             | 19    | Pará                 | 2682                                |
| 2  | 20200000 | Uruana                    | 640382,2  | 8286324,4 | Rio Uru             | 20    | Alto Araguaia        | 3700                                |
| 3  | 21300000 | Alvorada do Norte         | 986349,1  | 8394689,1 | Corrente            | 21    | Paraná Tocantins     | 3760                                |
| 4  | 21500000 | Nova Roma                 | 950277,1  | 8474595,2 | Paraná              | 21    | Paraná Tocantins     | 22600                               |
| 5  | 22050001 | Peixe                     | 768583,8  | 8669639,2 | Tocantins           | 22    | Alto Médio Tocantins | 128000                              |
| 6  | 22250000 | Fazenda Lobeira           | 795714,7  | 8723660,5 | Manuel Alves        | 22    | Alto Médio Tocantins | 14500                               |
| 7  | 22900000 | Porto Real                | 837342,4  | 8969708,1 | Sono                | 22    | Sono                 | 44100                               |
| 8  | 23230000 | Jacaré                    | 906809,4  | 9117897,3 | Vermelho            | 23    | Médio Tocantins      | 4100                                |
| 9  | 23250000 | Goiatins                  | 906958,8  | 9146200,9 | Manuel Alves Grande | 23    | Médio Tocantins      | 10100                               |
| 10 | 23700000 | Descarreto                | 891496,6  | 9358811,8 | Tocantins           | 23    | Médio Tocantins      | 297000                              |
| 11 | 24500000 | Tesouro                   | 227355,0  | 8220730,2 | Das Garças          | 24    | Alto Araguaia        | 5280                                |
| 12 | 24800000 | Peres                     | 408656,6  | 8243030,3 | Rio Caiapó          | 24    | Alto Araguaia        | 12000                               |
| 13 | 24850000 | Araguaína                 | 411234,9  | 8259811,3 | Araguaia            | 24    | Alto Araguaia        | 50100                               |
| 14 | 24950000 | Montes Claros de Goiás    | 461690,8  | 8237652,8 | Claro               | 24    | Alto Araguaia        | 10100                               |
| 15 | 25130000 | Travessão                 | 531618,9  | 8282340   | Vermelho            | 25    | Alto Médio Araguaia  | 5310                                |
| 16 | 25700000 | Bandeirantes              | 521579,1  | 8486533,9 | Araguaia            | 25    | Alto Médio Araguaia  | 92300                               |
| 17 | 26300000 | Santo Antônio do Leverger | 503910,3  | 8641120,5 | Mortes              | 26    | Baixo Mortes         | 59300                               |
| 18 | 26350000 | São Félix do Araguaia     | 536743,3  | 8715606,5 | Araguaia            | 26    | Médio Araguaia       | 194000                              |
| 19 | 26710000 | Barreira do Pequi         | 614425,6  | 8662275,6 | Javaés              | 26    | Médio Araguaia       | 8150                                |
| 20 | 26720000 | Praia Alta                | 653304,7  | 8626792,5 | Formoso             | 26    | Médio Araguaia       | 6610                                |
| 21 | 27500000 | Conceição do Araguaia     | 691666,2  | 9085454,8 | Araguaia            | 27    | Submédio Araguaia    | 332000                              |
| 22 | 28240000 | Piraquê                   | 779707,6  | 9261780,5 | Lontra              | 28    | Baixo Araguaia       | 3470                                |
| 23 | 28850000 | Araguatins                | 817625,0  | 9374502,6 | Araguaia            | 28    | Baixo Araguaia       | 388000                              |
| 24 | 29100000 | Fazenda Alegria           | 696997,3  | 9393199,6 | Itacaiúnas          | 29    | Itacaiúnas           | 37500                               |
| 25 | 29200000 | Itupiranga                | 685712,5  | 9432888,9 | Tocantins           | 29    | Submédio Tocantins   | 746000                              |
| 26 | 31490000 | Vila Capoeira             | 939084,9  | 9793115,4 | Guamá               | 31    | Acará Guamá          | 3440                                |
| 27 | 31680000 | Fazenda Maringa           | 824010,8  | 9652747,3 | Capim               | 31    | Acará Guamá          | 25900                               |
| 28 | 31700000 | Badajós                   | 859431,3  | 9721770,9 | Capim               | 31    | Acará Guamá          | 32200                               |

Fonte: ANA (2024). Org.: Autores.

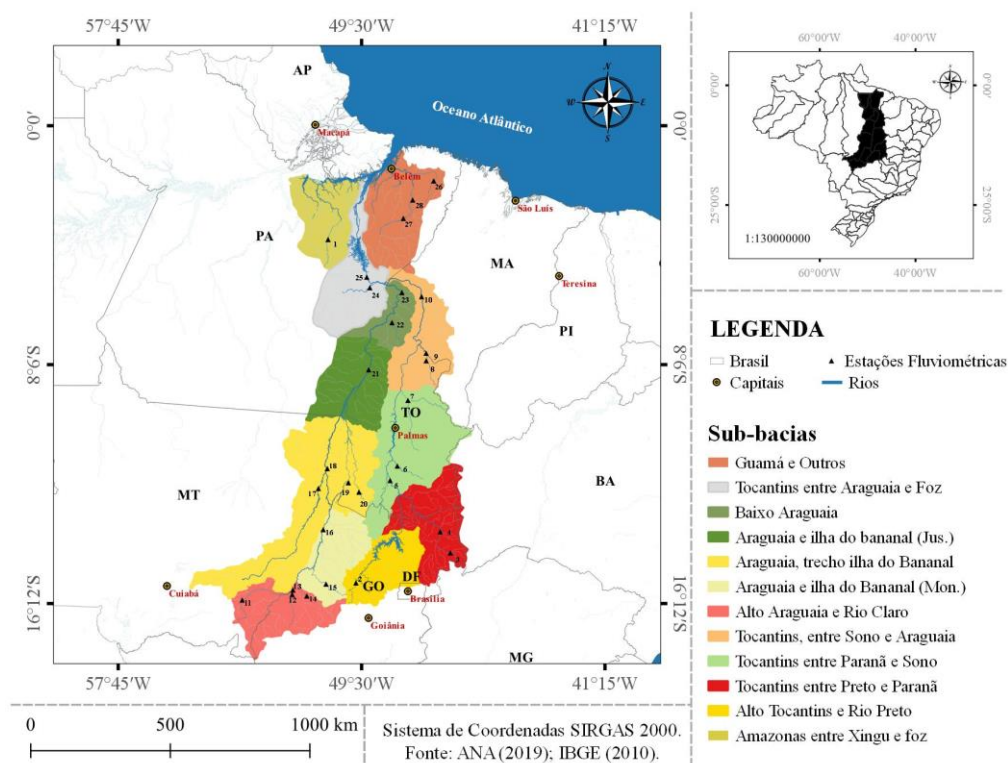


**Figura 2.** Localização das 28 estações fluviométricas conforme delimitação DNAEE/ANEEL.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

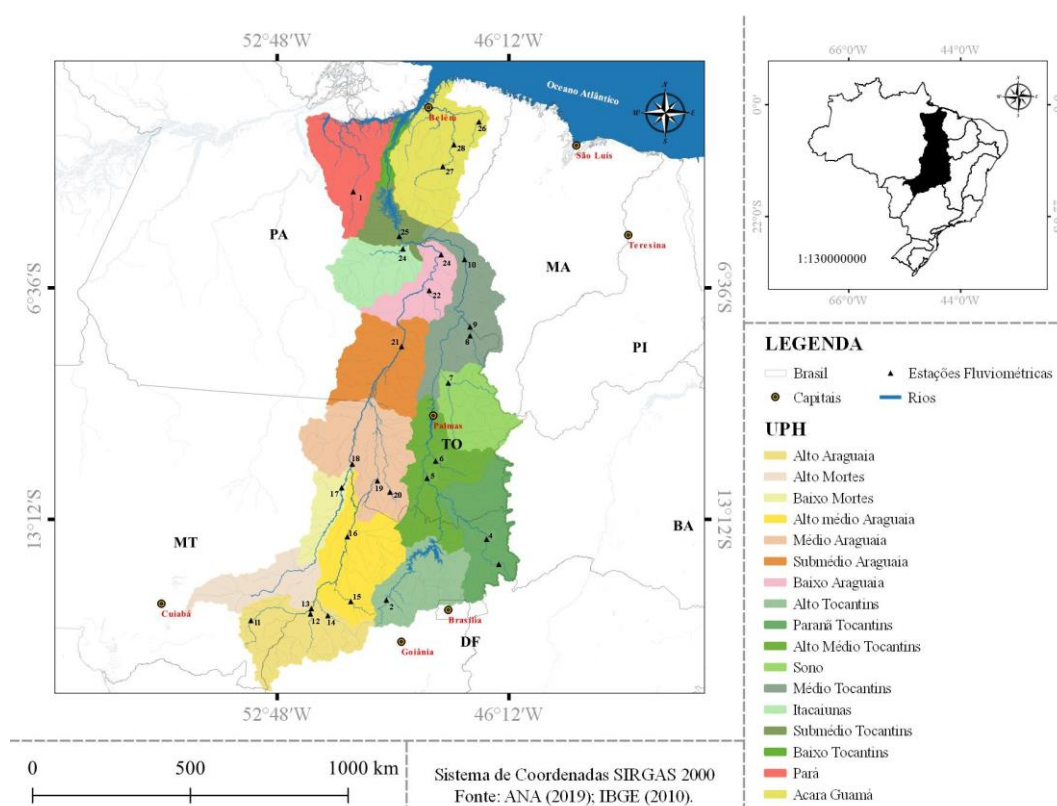


**Figura 3.** Localização das 28 estações fluviométricas conforme delimitação UPH.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

As falhas nos dados foram preenchidas por meio de correlações, utilizando os critérios de regressão linear e potencial, conforme recomendado por Euclydes et al. (1999). A aplicação desses critérios se restringiu às estações mais próximas, localizadas na mesma calha fluvial, e com coeficiente linear de correlação igual ou superior a 0,90.

Após as correções, foram estabelecidos indicadores para a caracterização de vazões médias, mínimas e máximas, além da criação de curvas de permanência. O objetivo era conhecer a disponibilidade hídrica da Região Hidrográfica do Tapajós (RHTA) por meio da avaliação por Unidade de Planejamento Hidrográfico (UPH).

O rendimento específico representa a capacidade de uma bacia hidrográfica em produzir água. Quanto maior esse rendimento, maior a produção de água. O índice de referência, por sua vez, demonstra o comportamento do regime hídrico, permitindo a comparação entre as vazões de referência e o rendimento específico. Ambas as características são importantes para projetos de engenharia que visam o uso múltiplo da água.

Os indicadores de rendimento e índices hídricos foram determinados com base em Tucci (2002) e Clarke & Tucci (2003), conforme detalhado a seguir:

- a) Rendimento específico médio de longa duração ( $RE_{MLD}$ ) em  $ls^{-1}Km^{-2}$  foi obtido pela divisão da vazão média de longa duração  $Q_{MLD}$  em  $m^3s^{-1}$  e área de drenagem ( $A_d$ ) em  $Km^2$ . Sendo  $Q_{MLD}$  a vazão média de longo termo dada pela relação da vazão diária pelo número de observações;
- b) Rendimento específico máximo ( $RE_{max}$ ) obtido pela relação entre a vazão média máxima diária anual ( $Q_{max}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e área de drenagem ( $A_d$ ) em  $Km^2$ ;
- c) Rendimento específico mínimo ( $RE_{min}$ ) obtido pela relação entre a vazão média mínima diária anual ( $Q_{min}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e área de drenagem ( $A_d$ ) em  $Km^2$ ;
- d) Rendimento específico com 95% de permanência (em  $ls^{-1}Km^{-2}$  obtido pela divisão entre a vazão com 95% de permanência ( $Q_{95}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e área de drenagem ( $A_d$ ) em  $Km^2$ ;
- e) Rendimento médio com 95% de permanência ( $RM_{95}$ ) obtido pela divisão entre a vazão com 95% de permanência ( $Q_{95}$ ) e vazão média de longa duração ( $Q_{MLD}$ ) em  $m^3s^{-1}$ ;
- f) Rendimento específico de sete dias e 10 anos de tempo de retorno ( $RE_{7,10}$ ) em  $ls^{-1}Km^{-2}$  obtido pela divisão entre a vazão de sete dias e 10 anos de tempo de retorno ( $Q_{7,10}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e área de drenagem ( $A_d$ ) em  $Km^2$ . Os resultados foram interpretados conforme ZEE-MG (2015);
- g) Índice de regularização natural ( $I_{7,10}$ ) obtido pela relação entre a vazão de sete dias e 10 anos de tempo de retorno ( $Q_{7,10}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e a vazão média de longa duração ( $Q_{MLD}$ ) em  $m^3s^{-1}$ . Os resultados foram interpretados conforme Euclydes et al. (2005);
- h) Índice referência mínimo ( $IR_{min}$ ) obtido pela divisão entre Rendimento específico com 95% de permanência ( $RE_{95}$ ) e Rendimento específico de sete dias e 10 anos de tempo de retorno ( $RE_{7,10}$ );
- i) Índice da vazão média de cheia ( $I_{mc}$ ) obtido pela relação entre a vazão média de enchente ( $Q_{mc}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e a vazão média de longa duração ( $Q_{MLD}$ ) em  $m^3s^{-1}$ . A  $Q_{mc}$  corresponde a vazão máxima associada a um tempo de retorno de 2 anos. Este índice possibilita avaliar a amplitude das cheias com relação às condições médias;
- j) Índice do limite superior da faixa de inundação ribeirinha ( $R_{100}$ ) foi obtido pela relação entre a vazão máxima do tempo de retorno de 100 anos ( $Q_{100}$ ) em  $m^3s^{-1}$  e a vazão média de enchente ( $Q_{mc}$ ) em  $m^3s^{-1}$ . Representa a relação entre a capacidade

de escoamento do leito menor e a capacidade de escoamento do limite de inundação do vale. Ou seja, possibilita avaliar a variação de vazão que delimita a várzea do rio no curso d'água de estudo.

A determinação das vazões mínimas e máximas com estimativa de tempo de retorno ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{mc}$  e  $Q_{100}$ ) foram calculadas por meio software SisCAH 1.0 (UFV, 2009) para escolha do melhor ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Pearson III, Log-Pearson III, Lognormal II, Log-normal III, Gumbel e Weibull a nível de 5% de significância. Para tanto, selecionou-se a que apresentou o menor erro padrão de estimativa como a melhor distribuição de probabilidade para estimativa da vazão para tempo de retorno.

### 3 RESULTADOS

Nas Figuras 4 a 6, são apresentados os indicadores de vazão na RHTA. Os resultados demonstram que o rendimento específico médio ( $RE_{MLD}$ ) na bacia foi de  $17 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$ , alcançando um rendimento específico máximo ( $RE_{max}$ ) de  $75 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  e um rendimento específico mínimo ( $RE_{min}$ ) de  $3,9 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$ . Esses resultados são congruentes com o estudo de Ottoni (2007), no qual os valores médios, máximos e mínimos de rendimento apresentam uma grande variabilidade, refletindo a disponibilidade hídrica na bacia.

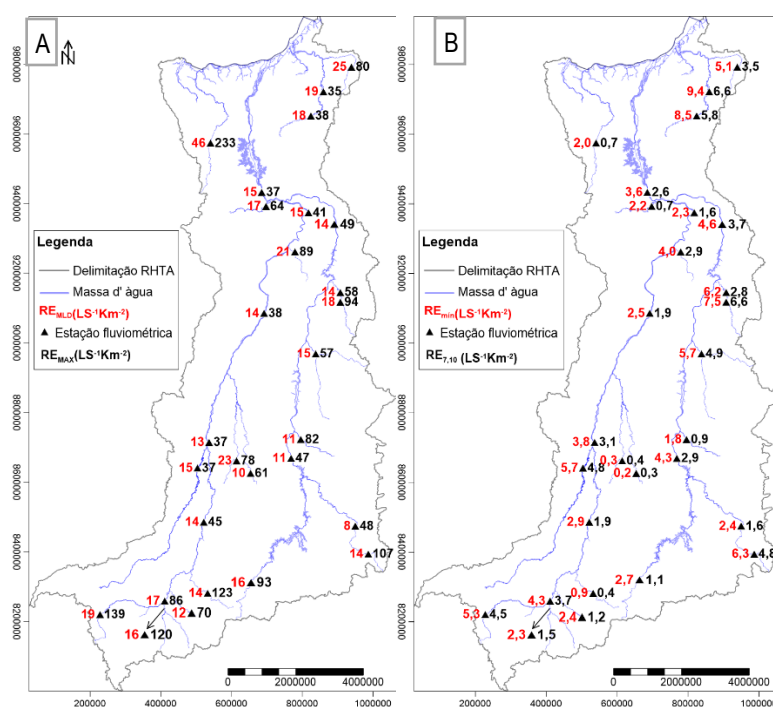


**Figura 4.** (A) Rendimento específico médio de longa duração ( $RE_{MLD}$ ) e Rendimento específico máximo ( $RE_{max}$ ). (B) Rendimento específico mínimo ( $RE_{min}$ ) e Rendimento específico de sete dias e 10 anos de tempo de retorno ( $RE_{7,10}$ ). Fonte: Elaborado pelos autores.

Ademais, a RHTA apresentou variações nos rendimentos. Neste sentido, a estação 19985000 localizada na região de Pacajás – PA e inserida na UPH Pará, apontou maior

vazão média de longa duração cerca de  $124 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tendo o ( $RE_{MLD}$ ) de  $46 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  e ( $RE_{\max}$ ) de  $233 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  demonstrando disponibilidade hídrica. Por outro lado, o posto 26710000 situado em Sandolândia – TO e UPH Médio Araguaia, registrou ( $RE_{MLD}$ )  $23 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  com ( $RE_{\max}$ )  $78 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$ , resultando no ( $RE_{\min}$ ) de  $0,2 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  podendo evidenciar estresse hídrico na região.

Com relação ao ( $Re_{7,10}$ ) a média na bacia foi de  $2,76 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$ , em análise da classificação de ZEE-MG (2015) o valor está entre 2,5 – 3,5, enquadrando-se na classe de média vulnerabilidade natural, demonstrando que na RHTA possui médio potencial de regularização natural. Neste sentido, observou-se variação ( $Re_{7,10}$ ) máxima de  $6,63 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  na estação 23230000 encontra-se no médio Tocantins município de Goiatins - TO, e mínima de  $0,3 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  em Sandolândia – TO que está inserida no médio Araguaia se adequando respectivamente nos modelos probabilísticos de Gumbell e Lognormal II evidenciando baixa disponibilidade hídrica.

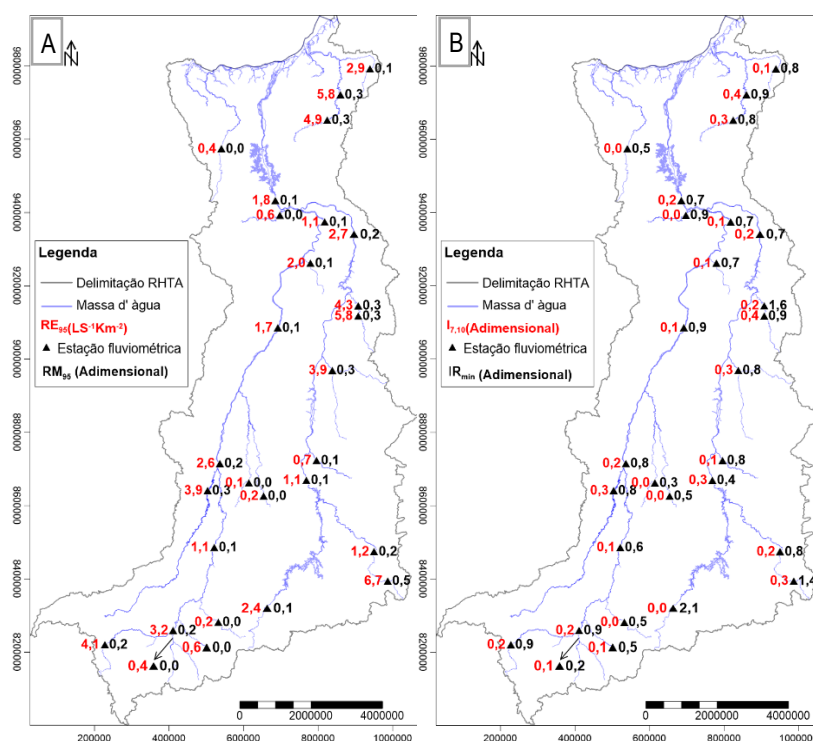


**Figura 5.** (A) Rendimento específico com 95% de permanência ( $RE_{95}$ ) e rendimento médio com 95% de permanência ( $RM_{95}$ ). (B) Índice de regularização natural ( $I_{7,10}$ ) e índice referência mínimo ( $IR_{\min}$ ).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim como no ( $Re_{7,10}$ ), identificou-se variações para o ( $RE_{95}$ ) com baixo ( $RE_{95}$ ), os dados da estação 21300000 tendo máxima ( $Re_{95}$ ) de 6,68 em  $\text{Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  na cidade de Alvorada do Norte-GO região de Paranã Tocantins, resultando no rendimento médio com 95% de permanência ( $Re_{95}$ ) de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Em contrapartida, o posto 26710000 apresentou mínima ( $Re_{95}$ ) em Sandolândia- TO no médio Araguaia cerca de  $0,12 \text{ Ls}^{-1}\text{Km}^{-2}$  tendo ( $RE_{95}$ ) equivalente a  $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Neste sentido, as magnitudes dos fluxos podem ser influenciadas por fatores como mudança no período sazonal da região, retardo no escoamento, e modificações na dinâmica da bacia pelo processo de uso/ocupação do solo.

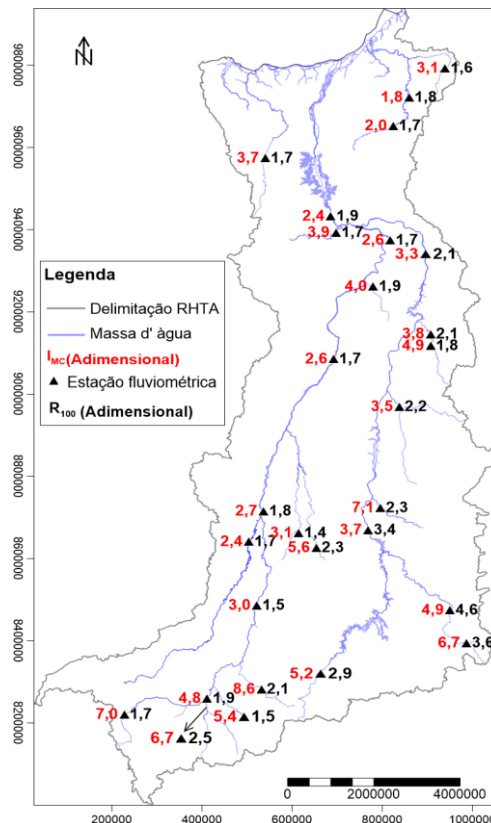


**Figura 6.** Índice referência mínimo ( $IR_{min}$ ) e índice do limite superior da faixa de inundação ribeirinha ( $R_{100}$ ).  
Fonte: Elaborado pelos autores.

No estudo o indicador  $Q_{95}$  curva de permanência mostrou que em 95% do tempo a RHTA apresentou  $179 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que resultou em ( $R_{95}$ ) de  $2,38 \text{ Ls}^{-1} \text{ Km}^{-2}$ . Diante disso, o indicador ( $R_{95}$ ) foi utilizado para critérios de retirada da outorga, deste modo, exceto o Estado do Tocantins, todos os demais Goiás, Mato Grosso e Pará que adentram a bacia utilizam 70% do  $Q_{95}$ , atribuídos aos resultados correspondeu a  $134,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , os quais são destinados aos usos múltiplos. Já os outros 30% é dedicado para vazões ecológicas.

A partir da análise do Índice de Referência Mínimo, identificou-se um valor de 0,81% na bacia, sendo 0,37% na estação 23230000, localizada em Goiatins - TO, abrangendo a região do médio Tocantins, e 0,2% em Pacajás - PA, no posto 19985000 dentro da UPH Pará. Tais índices demonstram variabilidade e fragilidade hídrica em algumas áreas dentro da RHTA, resultando em estresse hídrico nas áreas com menor disponibilidade de água.

O desempenho de vazante da bacia apresentou um Índice de Regularização Natural ( $I_{7,10}$ ) de 0,81% do ( $IR_{min}$ ) e 0,18% da ( $Q_{MLD}$ ), respectivamente, para o ( $I_{7,10}$ ) é menor de 10%. Isso indica baixa capacidade de regularização natural, conforme a classificação de Euclydes et al. (2005), uma vez que um valor abaixo de 10% é considerado baixo. Assim, quanto menor esse índice, menor é a capacidade de regularização natural do curso d'água.

Em período hidrológico característico de chuva na região, o índice da vazão média de cheia ( $I_{mc}$ ) é de  $4,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tendo variações de  $8,63 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  estação 25130000 no município de Matrinchã - GO região do alto médio Araguaia e  $1,82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no posto 317000000 em São Domingos do Capim - PA no Acará Guamá, os indicadores ( $I_{mc}$ ) e ( $R_{100}$ ) sofrem influência

de alguns fatores como características da chuva intensa, distribuição espaço temporal, e aspectos geomorfológicos dos rios.

Em detrimento disso, ao Índice do limite superior da faixa de inundação ribeirinha ( $R_{100}$ ) a análise mostra que  $4,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  foi a vazão máxima associada ao tempo de retorno de 100 anos registrando cerca de  $3.866 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na estação 21500000 em Nova Roma - GO situada no Paranã Tocantins.

Diante dos resultados, é válido ressaltar que, a ampliação de projetos que visem regularizar o regime de vazante da bacia é essencial, uma vez que, os recursos hídricos são de suma importância e aproveitados de maneira correta possibilita o desenvolvimento da bacia. Dessa maneira, o incentivo a adoção de práticas de conservação é necessário para segurança hídrica da região.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados apontam que as estações localizadas nos estados de Goiás e Pará apresentam melhor disponibilidade hídrica em comparação aos demais estados. Destaca-se, por exemplo, a média de longa duração de aproximadamente  $124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na estação 19985000 localizada na região de Pacajás – PA e inserida na UPH Pará, com uma máxima de ( $RE_{95}$ ) na estação 21300000 de  $6,68 \text{ L s}^{-1} \text{ Km}^{-2}$  na cidade de Alvorada do Norte - GO região de Paranã Tocantins, resultando no rendimento médio com 95% de permanência ( $RM_{95}$ ) de  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Em contrapartida, Sandolândia- TO na UPH Médio Araguaia, demonstrou valores inferiores em todos os indicadores, indicando um baixo rendimento hídrico.

Com base nisso, observa-se que 70% da Q95 é utilizada como vazão de referência para retirada de outorga na maioria dos estados, exceto Tocantins, Goiás, Mato Grosso e Pará, onde a vazão outorgável correspondeu a  $134,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Em relação à classificação de ZEE-MG (2015), a RHTA está enquadrada na classe de média vulnerabilidade natural, com uma média de ( $RE_{7,10}$ )  $2,76 \text{ L s}^{-1} \text{ Km}^{-2}$ , demonstrando um potencial médio de regularização natural. No entanto, a bacia apresentou um Índice de regularização natural ( $I_{7,10}$ ) de 0,81% do ( $IR_{min}$ ) e 0,18% da ( $Q_{MLD}$ ), valores que, segundo a classificação de Euclides et al. (2005), indicam uma baixa capacidade de regularização natural.

Diante dessas informações, torna-se essencial adotar medidas que possam otimizar o escoamento na RHTA, visando o aproveitamento eficiente dos recursos hídricos na bacia. Isso não apenas contribui para o desenvolvimento econômico, mas também para o abastecimento de grande parte do país.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório Síntese:** Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia. Brasília: ANA, 2008. 204p.

ANA – HIDROWEB: **Sistemas de informações hidrológicas.** Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br> Acesso em: 02 de out. de 2017.

CASTIGLIONI, I. F. Análise regional de vazões para a bacia hidrográfica do Rio Itapemirim. 2013. 170 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental -**Universidade Federal do Espírito Santo**, Vitória. 2013.

CLARKE, R.T.; TUCCI, C.E.M. Regionalização Hidrológica. In: PAIVA, J.B.D. de & PAIVA, E.M.C.D. DE (Orgs.), Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, p. 169-222, 2003.

ELESBON, A.A.A. et al., Proposta Metodológica para Projeto de Redes Hidrométricas: Parte1-Espacialização não tendenciosa dos dados hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p.980-985, Campina Grande, 2014.

EUCLYDES. H.P. et al. **Regionalização hidrológica, manual do programa**. Viçosa, MG: UFV / MMA /RURALMINAS, 1999.149p.

FALCK, A.S. et al., Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins–Araguaia basin in Brazil. **Journal of Hydrology**. p.943–957. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.042>.

LIMA, S.S. LOUREIRO, G.E. Rede hidrométrica na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.15, n.2,2021. 78-90p. DOI: 10.18378/rbga.v14i4.8364.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos – MMA/SRH. **Ecorregiões Aquáticas do Brasil**, 2006. Pol. A; Souza, R.C.R. org. MMA/SRH, Brasília, DF. CD ROOM, 2006.

REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Geociências**, v.21, n.4, p.509-516, 2008.

RODRIGUES, J.A.M, ANDRADE, A.C.O, VIOLA, M.R, MORAIS, M.A.V, Indicadores Hidrológicos Para A Gestão De Recursos Hídricos Na Bacia Hidrográfica Do Rio Manuel Alves Da Natividade, Tocantins. **Revista Scientia Agraria (SA)**, 2015, Nº 4, VOL 16, PÁGINA 58-79.

SOUZA-FILHO, Pedro Walfir M.; DE SOUZA, Everaldo B.; SILVA JÚNIOR, Renato O.; et al. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175–184, 2016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479715303935>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 256 p., 2002.

UFV. Universidade Federal de Viçosa. **Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**. Viçosa: UFV, DEA 2009. Disponível em: <[www.ufv.br/dea/gprh](http://www.ufv.br/dea/gprh)>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (coord.) **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <<http://www.zee.mg.gov.br/>> Acesso em: 10 fev. 2020.