



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**JOSÉ JEFFERSON BARROS PIRES**

**LIMIAR DA VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO:  
ESTAÇÃO PALMARES/PE**

**SUMÉ - PB  
2022**

**JOSÉ JEFFERSON BARROS PIRES**

**LIMIAR DA VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO:  
ESTAÇÃO PALMARES/PE**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.**

**Área de Concentração: Gestão dos Recursos Hídricos.**

**Linha de Pesquisa: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros**

**SUMÉ - PB  
2022**



P6671      Pires, José Jefferson Barros.  
              Limiar da variabilidade do escoamento: Estação  
              Palmares/PE. / José Jefferson Barros Pires. - 2022.

74 f.

Orientador: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de  
Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável  
do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em  
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Variabilidade de vazão. 2. Índice de escoamento.  
3. Estação Palmares - PE. 4. Bacia Hidrográfica do Rio  
Uma - PE. 5. Outorga do direito de uso da água. 6.  
Séria pluviométrica diária. 7. Vazão ecológica. 8.  
Gestão de recursos hídricos. 9. Hidrograma. 10. Teste  
de Dickey-Fuller aumentado. 11. Teste de Mann-Kendall.  
12. Limiar da variabilidade do escoamento. I. Medeiros,  
Paulo da Costa. II. Título.

CDU: 556.18(041.2)

**JOSÉ JEFFERSON BARROS PIRES**

**LIMIAR DA VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO:  
ESTAÇÃO PALMARES/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros**  
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG

---

**Prof. Dr. Manoel Rivelino Gomes de Oliveira**  
Examinador externo – UFBA

---

**Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara**  
Examinador interno – UATEC/CDSA/UFCG

**Data de aprovação: 18 de agosto de 2022**

**SUMÉ - PB**

Aos meus pais e minha irmã.  
A minha esposa e ao meu filho.  
Aos meus professores.  
Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação em todo esse tempo de estudo para não desanimar nem desistir dos meus objetivos.

A minha mãe Maria Genilda Barros Pires e o meu Pai Ernandes Pires, sempre dando apoio e suporte pelo incentivo aos estudos e todo sacrifício que fizeram para que eu chegasse até aqui.

A minha esposa Jacqueline Leite Silva por estar sempre presente ao meu lado em todas as conquistas dessa vida e que sempre me deu forças para concluir mais essa jornada.

Ao meu filho Pedro Arthur Leite Barros que é a razão da minha vida.

A minha irmã Jéssica Fernanda Barros Pires, por sempre ter dado o maior apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao professor Dr. Paulo da Costa Medeiros, por ter sido meu orientador e ter desempenhado com dedicação para à elaboração deste trabalho. Declaro aqui minha eterna gratidão pelo compartilhamento de seu conhecimento e tempo, bem como sua amizade.

Ao professor Dr. Manoel Rivelino Gomes de Oliveira, por ter contribuído e de ter compartilhado do seu conhecimento e que fez enriquecer mais ainda o trabalho.

A todos os amigos e colegas de curso, Carina Santos, Nayane Maria Gonçalves Leite, Léia Lobo de Souza Carvalho, Carla Isonaide Araujo da Silva, Libiane Marinho Bernardino, Danilson Correia da Silva, Moisés Correia Freitas, Layane Moura Rodrigues, Larissa Freitas Farias, Karina Bezerra de Queiroz, Fideles de Oliveira Torres, Edilaine Araujo de Moraes, Flavia Nascimento Gomes, Magda Dayse Ferreira Rangel, Jully Samara Ferreira de Carvalho, Aldair Daniel da Silva, Guthyerres Firmino Nunes, Rondon Madeira de Brito onde tivemos uma convivência intensa e que são pessoas incríveis que estiveram comigo desde o início.

A Universidade Federal de Campina Grande pela a oportunidade de realização do mestrado.

Ao corpo docente da Universidade Federal de Campina Grande em especial os professores: Hugo Moraes de Alcântara, Paulo da Costa Medeiros, Ilza Maria do N. Brasileiro, Camilo Allyson Simões de Farias, Alecksandra Vieira de Lacerda, Jonh Elton de Brito Leite Cunha, Carlos de Oliveira Galvão, George do Nascimento Ribeiro e José Irivaldo Alves de Oliveira Silva pelas disciplinas lecionadas e os

conhecimentos transmitidos contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

Ao apoio para realização deste trabalho por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## RESUMO

No Brasil foi instituída a Lei 9.433/97 que tem como base a gestão compartilhada e participativa da água, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e gerenciamento das águas, utilizando-se de cinco instrumentos, dentre eles, a outorga que tem caráter regulatório, condicionando ao usuário o direito de uso da água por um determinado período. Diante das diferentes modalidades de usos, alocar os quantitativos de água frente às disponibilidades hídricas em uma bacia é atividade complexa, haja vista as existências de demandas isentas de outorga, a necessidade de manutenção de vazão ecológica/ambiental, além dos aportes prioritários: abastecimento humano e dessedentação animal. Integra-se ainda, eventos climatológicos atípicos que elevam de forma expressiva a variabilidade ripária. Tradicionalmente, critérios de outorga com valor de referência fixo ao longo do ano, são empregados pelos órgãos gestores. A presente pesquisa tem por objetivo, propor recorte da variabilidade de escoamento como ferramenta para subsidiar a tomada de decisões em meses de abundância hídrica. A área de estudo contempla a bacia hidrográfica do rio Una, através da série fluviométrica diária da estação Palmares localizada no estado de Pernambuco (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014). A metodologia confere a separação dos escoamentos, partindo-se do limiar inferior da variabilidade fluvial e cálculo de índices de fluxo para mensurar o domínio dos aportes delimitados. Os resultados indicaram ante a série histórica: a variabilidade média de 23,01% nos meses de maio a agosto com foco nos anos com maior abundância hídrica; e a variabilidade média de 17,51%, também nos meses de maio a agosto, em anos com menor carga hídrica. Espera-se com os resultados apoiar na tomada de decisão sob duas perspectivas: utilizando-se da proporção de tal variabilidade como garantia à vazão ambiental; e na maior segurança hídrica, oferecendo valores acima da vazão referencial, respeitando tal limiar ou proporção maior que este, fazendo-se melhor uso/aproveitamento da água que, em alguns casos, normalmente não pode ser captada/consumida, devido ao limite imposto pelo sistema.

**Palavras-chave:** Série temporal; Variabilidade da vazão; Índice de escoamento.



PIRES, José Jefferson Barros. **Flow variability limit: Palmares/PE fluviometric station**. 2022. 75f. (Dissertação), Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, PROFÁGUA, Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – Sumé – Paraíba – Brasil, 2022.

## ABSTRACT

In Brazil, Law 9,433/97 was instituted, which is based on decentralized and participatory water management, with the hydrographic basin being the planning and management unit, using five instruments, among them, the grant, which has a regulatory character, conditioning the user the right to use the water for a certain period. In view of the different modalities of uses, allocating the quantities of water in view of the water availability in a watershed is a complex activity, given the fulfillment of grant-free demands, the need to maintain ecological/environmental flow, in addition to the priority of demand: human supply and animal watering. It also integrates atypical climatological events that significantly increase riparian variability. Traditionally, granting criteria with a fixed reference value throughout the year are used in management systems. The study area includes the watershed of the river Una (Pernambuco/Brazil), through the daily fluviometric series of the Palmares station (Period: 01/01/1977 to 12/31/2014). The methodology uses the separation of flows, starting from the lower limit of fluvial variability and calculation of indices to measure the domain of delimited flows. The results indicated, in view of the historical series: an average variability of 23.01% in the months from May to August, focusing on the years with the greatest water abundance; and the average variability of 17.51%, also from May to August, in years with lower water load. The results are expected to support decision-making from two perspectives: using the proportion of such variability as a guarantee of the environmental flow; and in greater water security, offering values above the reference flow, respecting this threshold or greater proportion, making better use of water that, in some cases, normally cannot be captured/consumed, due to the limit imposed by the system.

**Keywords:** Time series; Flow variability; Flow index.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Metodologias gráficas de separação dos escoamentos.....	31
<b>Figura 2 -</b>	A relação rio-aquífero ao longo do ano hidrológico.....	31
<b>Figura 3 -</b>	Representação esquemática de hidrograma e respectiva curva de permanência.....	33
<b>Figura 4 -</b>	Séries temporais de vazões diárias/período - estações fluviométricas (estado de Pernambuco): Palmares (1977 a 2014); Paudalho (1985 a 2011) e; Engenho Retiro (1978 a 1992).....	41
<b>Figura 5 -</b>	Unidades de Planejamento Hídrico inseridos no estado do Pernambuco.....	43
<b>Figura 6 -</b>	Áreas de interesse para desenvolvimento da pesquisa: bacias hidrográficas setor Leste de Pernambuco – Unidades de Planejamento propostas para atualização do PERH PE – 2020.....	44
<b>Figura 7-</b>	Mapa de localização da bacia do rio Una-PE.....	45
<b>Figura 8 -</b>	Mapa de localização dos postos fluviométricos encontrados da bacia hidrográfica do rio Una-PE.....	46
<b>Figura 9 -</b>	Abordagens no hidrograma com foco na metodologia.....	48
<b>Figura 10 -</b>	Delimitação da variabilidade da vazão – estação fluviométrica Palmares-PE: Período (01/01/1977 a 31/12/2014); 01/01 a 31/12 de 1977 em destaque.....	50
<b>Figura 11 -</b>	Série temporal do volume abaixo da delimitação – dados diários Período (01/01/1977 a 31/12/2014).....	50
<b>Figura 12 -</b>	Vazões médias mensais – Estação Palmares-PE (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014): a) valores sobrepostos; b) anos com domínio dos valores médios de maio a setembro.....	51
<b>Figura 13 -</b>	Índice do aporte de variabilidade– estação Palmares/PE (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014).....	52
<b>Figura 14 -</b>	Delimitação da variabilidade da vazão – estação fluviométrica Palmares-PE: Período (01/01/1977 a 31/12/2014); com o desvio padrão.....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Usos isentos de outorga no estado de Pernambuco.....	23
<b>Tabela 2</b>	Observam-se as estações fluviométricas inicialmente escolhidas, em função do tamanho da série temporal, destacadas as estações: Engenho Retiro, no município de Condado; Palmares, no município de Palmares e; Paudalho, no município de Paudalho.....	40
<b>Tabela 3 -</b>	Índice médio mensal da variabilidade do escoamento - Estação Fluviométrica Palmares – PB (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014).....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ANA** – Agência Nacional de Águas

**APAC** – Agência Pernambucana de Águas e Clima

**CBH** – Comitê de Bacia Hidrológica

**CERH** – Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos

**CNARH** – Cadastro Nacional de Recursos Hídricos

**CNRHs** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

**GL's**– Grupo de Pequenas Bacias

**HIDROWEB** – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico

**MDR**-Ministério do Desenvolvimento Regional

**MMA** – Ministérios do Meio Ambiente

**PERH/PE** – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Pernambuco

**PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos

**REGLA** – Sistema Federal de Regulação de Uso

**SINGREH** – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

**SRQA** – Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental

**ST** – Série temporal

**UFs** – Unidades Federativas

**OMM** - Organização Meteorológica Mundial

**SNSH** - Secretaria Nacional de Segurança Hídrica

**CERHs** - Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 MARCO TEMPORAL DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL.....	18
3.2 OUTORGA: LIMIAR PARA O CONTROLE DAS ÁGUAS.....	21
3.3 VAZÕES DE REFERÊNCIA.....	24
3.4 SAZONALIDADE DAS VAZÕES.....	26
3.5 VAZÃO ECOLÓGICA.....	28
3.6 O HIDROGRAMA COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE PARA APOIO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	29
<b>3.6.1 Hidrograma – ótica sob diferentes escalas temporais.....</b>	<b>32</b>
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA EM SÉRIES TEMPORAIS.....	34
<b>3.7.1 Séries Temporais.....</b>	<b>34</b>
<b>3.7.2 Função de Correlação (FAC).....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.3 Teste de Dickey-Fuller Aumentado.....</b>	<b>36</b>
<b>3.7.4 Teste de Mann-Kendall.....</b>	<b>37</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	39
<b>4.1.1 Séries históricas de vazões elencadas.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2 Localização e extensão da bacia hidrográfica do rio Una.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.3 Hidrografia e os principais rios afluentes.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.4 Delimitação dos escoamentos no hidrograma.....</b>	<b>48</b>
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
5.1 DEFINIÇÃO DOS MESES COM MAIORES E MENORES APORTES FLUVIOMÉTRICOS.....	51

5.2 CONTEXTUALIZANDO COM OS ANOS DE EL NIÑO E LA NINÃ.....	52
5.3 ÍNDICE DE VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO.....	52
5.4 ABORDAGEM ESTATÍSTICA NO ESCOAMENTO APÓS FILTRO DE VARIABILIDADE.....	54
5.5 ABORDAGEM DA VARIABILIDADE NO CONTEXTO DA OUTORGA.....	55
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO TÉCNICO.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos mais importantes na promoção do equilíbrio da vida no planeta Terra. A questão dos recursos hídricos vem sendo bastante discutida sob a ótica dos problemas ambientais com a perspectiva de como estamos lidando em relação ao futuro para as próximas gerações de maneira a garantir o acesso a água de forma digna e igualitária. Estima-se que a população mundial em 2050 esteja entre 9,3 e 10,6 bilhões de pessoas (GAZZONI, 2017) e a maioria convivendo em meio urbano (TUCCI, 2010). Em função desse expressivo aumento, verifica-se conseqüente elevação das demandas, numa ótica de competição pelos recursos naturais frente a espaços territoriais cada vez mais reduzidos.

A água tem uma grande importância para manutenção da agricultura, assim sendo, fundamental na garantia da segurança alimentar da civilização humana (PINTO-COELHO e HAVENS, 2016). Sob o aspecto quantitativo da água doce, o Brasil apresenta-se numa condição privilegiada em comparação a muitos países. Porém, não existe uma distribuição igualitária ao longo de seu território e, em certas regiões, existe escassez efetiva. Já em outras regiões, evidenciam-se problemas de qualidade da água disponível (ANA, 2013a).

A contínua demanda de água para atender os diversos usos tem contribuído para o aumento de seu consumo, instalando-se, assim, o conflito entre usuários em diferentes regiões do Brasil. A maioria dos conflitos pelo uso da água decorre da falta de planejamento e gestão de recursos hídricos, os quais estão intimamente ligados à inexistência de informações que associam as vazões já outorgadas com a atual disponibilidade hídrica (BORK, 2018).

O histórico da evolução dos usos dos recursos hídricos está fortemente relacionado com o desenvolvimento e expansão urbana, no entanto, nas últimas duas décadas, a demanda por uso de água no Brasil apresenta-se crescente, com aumento aproximado de 80%, prevendo-se que, até 2030, as retiradas sejam acrescidas em 23% (ANA, 2020).

A primeira menção para a autorização do uso da água no Brasil refere-se ao Código das Águas (ANA, 2011) promulgado pelo Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, nos Arts. 170 e 171, com autorizações de outorga por ato do Ministro da Agricultura (BRASIL, 1934).

Atualmente, confere à Lei Federal nº 9.433/97, a gestão das águas do Brasil. No seu Art. 5º citam-se cinco instrumentos, dentre eles a outorga de direito de uso de recursos hídricos, tendo como objetivos, assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997). Cabe a esse instrumento, conceder (por parte do órgão gestor) ao usuário, pessoa física ou jurídica, o direito de retirada de água ou lançamento de uma quantidade de efluente em corpo hídrico, por um período determinado (ANA, 2019a).

A quantificação da outorga observa-se em duas vertentes principais: para o caso dos rios, utiliza-se como vazão mínima de referência, em abordagem com altas garantias, através metodologias estatísticas como a Q90 e Q95 ou Q<sub>7,10</sub>, sendo uma porção fixa ao longo do ano; no caso dos reservatórios, em função dos potenciais de regularização, tal referência deve-se observar às disponibilidades hídricas ao atendimento dos múltiplos usuários (ANA, 2019a).

Melhorar os processos de distribuição de recursos hídricos em bacias hidrográficas pode melhorar múltiplas áreas da sociedade, do meio ambiente e da economia. E essa melhoria seria um passo importante para alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6: Água Potável e Saneamento (ONU, 2015).

Assim, o presente trabalho tem como foco apoiar uma abordagem de outorga flexível, destacando-se os períodos cujos valores de fluxo podem estar bem acima das vazões de referência, tradicionalmente utilizadas - asseguradas pela alta garantia estatística. Utilizando-se da sazonalidade no histórico da série temporal (ST) fluvial, pretende-se apoiar o sistema, no melhor aproveitamento dos recursos hídricos para o desenvolvimento na região a ser estudada.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Delimitar a variabilidade do escoamento fluvial como recorte de segurança hídrica no apoio à outorga do direito de uso da água.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definição de período de análise de dados;
- Delimitar inflexões da variabilidade fluvial
- Análise estatística da série delimitada
- Calcular o índice de variabilidade nas escalas diária e mensal;
- Destacar os índices nos períodos (meses/anos) com maior segurança hídrica

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MARCO TEMPORAL DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Desde o século passado a humanidade vem convivendo com a exploração dos recursos naturais de forma mais intensa, na maioria das vezes sem controle, discorrendo uma ótica de uso ilimitado, o que tem alertado os governantes a um histórico de debates a partir da década de 1960, formulando dentre outros conceitos, o de desenvolvimento sustentável em 1987. Uma atenção especial pode ser observada para os recursos hídricos, tanto nos aportes ambientais quanto em face das necessidades humanas, em: 1997, Mar Del Plata, Conferências das Nações Unidas sobre a Água; 1992, Conferência de Dublin, sobre água e ambiente; 1992, Rio de Janeiro, Meio Ambiente e Desenvolvimento; 1997, Marrakech, o primeiro Fórum Mundial da Água, criação do Conselho Mundial da Água; 1998, Paris, Conferência Internacional da Água e Desenvolvimento Sustentável (OLIVEIRA e AMARANTE JÚNIOR, 2015; THEODORO e MATOS, 2015). Além de envolver múltiplos usos quali-quantitativos, em muitas regiões do planeta, a água doce ocorre de maneira não uniforme no tempo e no espaço, derivando daí conflitos de uso, notadamente nos períodos de escassez hídrica.

O marco temporal para descrever os mecanismos e elementos da alocação de água no Brasil leva em conta os importantes debates acerca dos recursos hídricos no país ao longo das décadas. No Brasil, é no Código de Águas de 1934 que aparece a primeira menção à necessidade de obter uma autorização para usar a água.

Embora a Constituição Federal de 1946 tenha feito alterações quanto ao domínio das águas, foi na Constituição de 1988 que houve elementos significativos para a atual gestão dos recursos hídricos no País (ANA, 2011), como os domínios das águas:

Art. 20. São bens da União

...

III. *os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais*" (BRASIL, 1988);

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

*I. as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1988);*

*“O Art. 22, inciso IV da Constituição Federal manteve a competência privativa da União para legislar sobre águas. No entanto, é reconhecida aos Estados a competência para legislar sobre o uso de seus bens. A dupla competência sobre águas e o exercício do Pacto Federativo, colocam em evidência a importância do compartilhamento entre a União e os Estados na gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas cujos limites ultrapassem o território de um único estado” (ANA, 2014a p.19).*

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, introduziu profundas mudanças na gestão das águas. Ela dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos com os seguintes princípios: a) água é um bem público, b) é um recurso limitado, de valor econômico c) em caso de crise hídrica, a prioridade é o consumo humano e a dessedentação de animais, d) a gestão dos recursos hídricos deve garantir os seus usos múltiplos, e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Lei 9.433 e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, f) a gestão das águas deve ser descentralizada e conter a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) é o conjunto de órgãos e colegiados que concebem e implementam políticas nacionais de água. De acordo com a regulamentação estabelecida pela Lei de Águas (Lei nº 9.433/97), o SINGREH tem forte papel em gerenciar o uso da água de forma democrática e participativa, tendo como principais objetivos: coordenação da gestão integrada da água; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos; planejar, regular e controlar o uso e a reciclagem de corpos d'água; promover cobrança de água. É composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH) vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERHs), pelos Órgãos gestores de recursos hídricos estaduais, pelos Comitês de Bacia Hidrográfica (“parlamento das águas” - órgão colegiado com membros da sociedade civil organizada, usuários de água e Poder público) e pelas Agências de Água (ANA, 2021a).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) foi criado em 1998, instituído como o órgão máximo do Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos (SINGREH), sendo o principal fórum nacional de debate sobre as políticas de gestão da água no Brasil. O CNRH sempre toma decisões determinantes por meio de moções e resoluções (MORAIS et al., 2018).

No ano 2000 foi promulgada a Lei nº 9.984 que criou a Agência Nacional de Águas - ANA, iniciou a efetiva implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e instrumentos de gestão em âmbito federal, aos moldes preconizados pelos textos legais (BRASIL, 2000). A Lei de nº 14.026/2020 atualiza o marco legal do saneamento básico, alterou a Lei nº 9.984/2000 e atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, a competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico e estabelecimento de regras para sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos (BRASIL, 2020).

A PNRH em seu Art. 5º descreve cinco instrumentos para a gestão das águas no país, sendo eles: a) os Planos de Recursos Hídricos (visam fundamentar, orientar e gerenciar os recursos hídricos), b) o Enquadramento dos corpos de água em classes (instrumento para enquadrar as águas em classes segundo os seus usos); c) a Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos (de caráter regulatório, no controle qual-quantitativo das águas); d) a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (instrumento conferente ao caráter econômico da água, objetivando incentivar a racionalização do uso da água; obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos); e) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (que tem como objetivo, a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão) (BRASIL, 1997).

No Brasil, o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos é uma referência para o monitoramento sistemático e anual das estatísticas e indicadores hídricos do país, com o objetivo de atingir os mais diversos fins e fornecer estrutura e informações à sociedade. Muitas dessas informações são provenientes de levantamentos do governo e dados de diferentes instituições públicas, e de prestadores dos serviços de saneamento básico dos municípios (ANA, 2019b).

Para entender melhor a demanda hídrica, promover a padronização do uso da água e apoiar a implementação de ferramentas e ações de gestão dos recursos hídricos, como outorga e fiscalização do uso da água, foi criado o Cadastro Nacional

de Recursos Hídricos (CNARH) em 2003. A ANA busca integração contínua de dados, por meio do CNARH, de usuários de recursos hídricos federais e estaduais (ANA, 2019b).

A unidade espacial de gestão de recursos hídricos definida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é a bacia hidrográfica. Portanto, a fim de aplicar ferramentas de gestão e atuação dos comitês de bacia e agências de água, neste território que muitas das vezes atravessa as fronteiras políticos estaduais e federais. O Comitê de Bacia Hidrológica (CBH) é um fórum de debates para a tomada de decisões sobre questões relacionadas à gestão de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica específica (ANA, 2019b).

Para o estado do Pernambuco o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH tem a seguinte estrutura: CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos é o órgão superior deliberativo e consultivo do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. COBHs - Comitês de Bacia Hidrográfica são parlamentos nos quais a sociedade manifesta seus interesses, define as prioridades para cada bacia hidrográfica; encontra soluções negociadas para os conflitos e acompanha o desempenho da gestão pública. CONSUS - Conselhos Gestores de Reservatórios - São colegiados formados por representantes do poder público, dos usuários de água e da sociedade civil para atuar na área de influência de um açude. SRHE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos é responsável pela formulação e gestão integrada das Políticas de Recursos Hídricos e de Saneamento. APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima é responsável pela execução da Política de Recursos Hídricos (APAC, 2022).

### 3.2 OUTORGA: LIMIAR PARA O CONTROLE DAS ÁGUAS

Tanto no aspecto quantitativo (primando as demandas de abastecimento humano e dessedentação animal ante os demais usos), como no aspecto qualitativo (conferindo à classe enquadrada do corpo hídrico), o instrumento da outorga configura-se capítulo fundamental no complexo e dinâmico processo de gestão hídrica numa bacia hidrográfica. É uma ferramenta para prevenir ou resolver conflitos de uso, comuns na sua ausência ou quando não é aplicada, contribuindo, também na manutenção ecossistêmica da água (MMA, 2006).

A definição da outorga e da respectiva vazão outorgável, para além de critérios meramente hidrológicos, deve levar em conta as opções e as metas de desenvolvimento social e econômico que se pretende atingir, considerando os múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável (ANA, 2011).

De acordo com Cruz (2001), o problema decisório consiste em escolher uma das várias alternativas de outorga definidas por quantidade, frequência e duração de uso, tipo de uso, local de uso, entre outras, considerando diferentes definições de disponibilidade de água, componentes sociais, econômicos, políticos e ambientais, tais como objetivos para o uso das águas, prioridades do usuário, objetivos de qualidade da água e a necessidade de manter a integridade hídrica. Esses fatores variam ao longo do tempo e estão associados a incertezas difíceis de quantificar. Quanto maior a demanda, mais complexo se torna o problema.

Em casos de eventos especiais poderão ser emitidas resoluções de outorga que especifiquem as particularidades técnicas dos usos de recursos hídricos outorgados. Na análise da outorga devem ser observados critérios como prioridade de uso determinados pelos Planos de Recursos hídricos, a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, o enquadramento dos corpos hídricos, garantia dos usos múltiplos e utilização racional, como também restrições impostas pela legislação. A outorga confere o direito de uso dos recursos hídricos condicionado à disponibilidade hídrica e, ao regime de escoamento, ser o outorgado passível de suspensão da outorga, de acordo com os critérios gerais deste instrumento na Resolução CNRH nº 16, de 08 de maio de 2001 (ANA, 2013b).

Uma ferramenta importante para o acompanhamento de todo o processo de outorga é o Sistema Federal de Regulação de Uso - REGLA que entrou em operação em 2017, mas só foi consolidado em 2018, simplificando o processo de solicitação e análise de pedidos de outorga na ANA. A solicitação de regularização é por meio de interferência (captura, lançamento e barramento) e, na maioria dos casos, não há necessidade de enviar documentos em papel e exigem que o usuário forneça o mínimo de informações para indicar o pedido, e automatização parcial dos procedimentos de análise (ANA, 2019b).

Para o estado do Pernambuco, os critérios e valores dos usos dispensados da outorga são propostos pelo os Comitês de Bacias Hidrográficas ao Conselho

Estadual de Recursos Hídricos de acordo com o disposto na Política Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco. A Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC está dispensada de conceder a outorga nos valores detalhados na tabela 1, desde que o comitê não proponha uma definição desses valores (APAC, 2022).

**Tabela 1** - Usos isentos de outorga no estado de Pernambuco

<b>ÁGUAS SUPERFICIAIS</b>	Derivações e captações:	Vazão média $\leq 0,5$ l/s (43,2 m <sup>3</sup> /dia).
	Barramento de rios intermitentes:	Volume de acumulação de até 200.00m <sup>3</sup>
<b>ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>	Captação de água subterrâneas destinadas exclusivamente ao usuário doméstico ou rural, que se enquadrem em um dos seguintes casos:	Poço tubular ou amazonas com profundidade inferior a 20 metros.
		Poço tubular ou amazonas com vazão de até 5m <sup>3</sup> /dia.
	Os poços incluídos em pesquisa, com caráter exclusivo de estudo.	

O uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural.

**Fonte:** Adaptado de APAC (2022)

Segundo a ANA (2021), entre os anos de 2017 a 2020, um total de 11.878 captações de usos consuntivos de água foram oficialmente regularizadas no Brasil. Desses, 7.386 foram concedidos para uso dos recursos hídricos (seja direito de uso ou outorga preventiva), com vazão máxima de 855 m<sup>3</sup>/s e também foram emitidas mais 4.492 declarações de regularidade para um total de 30 m<sup>3</sup>/s. Somente em 2020, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico emitiu 3.131 atos normativos referentes aos usos consuntivos da água, sendo 1.845 outorgas e 1.286 declarações de regularidade totalizando 266,72 m<sup>3</sup>/s. No total, foram concedidas 55.899 outorgas para captação de água no conjunto das UFs em 2020, e o rio pode comportar uma vazão máxima de 1.443 m<sup>3</sup>/s. Desse valor, cerca de 33% são usos insignificantes, equivalente a cerca de 5,6% do volume total.

O aumento da demanda por água no Brasil levou a um maior uso de água pelas cidades, indústrias e agricultura irrigada. Nos últimos 20 anos, a retirada de

água para irrigação aumentou, chegando a 965 m<sup>3</sup>/s. Isso representa aproximadamente metade de todas as captações de água em todos os setores em 2020, com grande potencial de crescimento futuro. Estima-se que a quantidade de água retirada nas próximas duas décadas aumentará em 42%, passando de 1.947 m<sup>3</sup>/s para 2.770 m<sup>3</sup>/s, ou 26 trilhões de litros por ano. Esses números mostram a necessidade de planejar os usos futuros da água com segurança e múltiplos propósitos em mente, considerando os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos (ANA, 2021).

As mudanças climáticas podem aumentar a necessidade de irrigação, tanto na agricultura quanto nos agronegócios. Nas áreas de irrigação, a demanda pode aumentar em 15% até 2040, com base nas tendências atuais. Em áreas de irrigação mecanizada (sem incluir arroz irrigado), a demanda pode aumentar em 20% em um cenário de mudança climática mais significativa. Condições econômicas melhores do que o esperado, ou grandes mudanças no planejamento de setores econômicos, podem acelerar essas tendências (ANA, 2021).

### 3.3 VAZÕES DE REFERÊNCIA

É preciso conhecer e/ou estimar as disponibilidades hídricas em determinada bacia hidrográfica, para a emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos, através de estudos técnicos, analisar a possibilidade de atendimento das demandas dos usuários, conhecendo os efeitos das intervenções autorizadas no corpo hídrico, a fim de alcançar o objetivo principal de utilização racional dos recursos hídricos por meio do balanço hídrico (CRUZ e SILVEIRA, 2007).

A disponibilidade hídrica refere-se a “vazão ou volume de água que, tomados como referência e analisados sob aspectos técnicos e processuais, possibilitam a emissão das respectivas outorgas de direito de uso de recursos hídricos demandadas pelos diversos usuários requerentes” (ANA, 2013b).

Nas estações de monitoramento são registrados numericamente os aportes hídricos e, dependendo da qualidade e quantidade de dados, análises estatísticas são utilizadas para estimativa da disponibilidade hídrica. Tröger e Ponte (2009) destacam que, deve-se atentar para a existência de estacionariedade dos dados, na identificação se o comportamento hidrológico observado na série histórica (dados



passados) se “repetirá” no futuro. Sob o contexto de tal disponibilidade, deve-se atentar, ainda, para o regime hidrológico.

Diante das diferentes modalidades de usuários, alocar os quantitativos de água frente às disponibilidades hídricas em uma bacia hidrográfica é uma atividade que envolve muitos aspectos, dentre eles: necessidade de atendimento às prioridades de uso (abastecimento humano e dessedentação animal), a supracitada, demanda ecológica/ambiental; existência de demandas isenta de outorga; aspectos do regime hidrológico, como a sazonalidade e; eventos atípicos climatológicos que elevam os efeitos dos eventos extremos de cheias e de secas. Uma prática bastante aplicada pelos órgãos gestores tem sido o uso de valor fixo ao longo do ano, como vazão de referência, desde as vazões prioritárias às vazões para os demais usuários.

No Brasil são amplamente utilizados critérios de vazão de referência para a outorga, incluindo por um percentual aplicado às vazões mínimas de referência, apoiando o aporte ambiental e limites para a vazão máxima outorgável bem como para vazões consideradas insignificantes (MENDES, 2007). O critério da vazão de referência é bastante difundido no Brasil, na literatura as vazões de referência mais citadas são a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , com 90 e 95% de garantia, respectivamente (vazão determinada estatisticamente, para um certo período de observação, correspondente a uma probabilidade de que naquela seção do curso d'água, as vazões serão 90% (ou 95%) do tempo, maiores do que a de referência (ANA, 2014b)) e a  $Q_{7,10}$ , menor vazão média de sete dias consecutivos, com um período de retorno (recorrência) de dez anos (TUCCI e MENDES, 2006; ANA 2014a; ALMEIDA e CURI, 2016).

O órgão gestor define a vazão mínima e máxima de referência a ser adotada, determinado o percentual máximo a ser alocado para a divisão entre os diversos usos da bacia. A determinação desse percentual deve ser realizada em função da possibilidade de atendimento aos diversos usos na bacia e das vazões mínimas remanescentes que se deseja manter nos cursos d'água (RIBEIRO, 2018).

As vazões de referência utilizadas por muitos órgãos gestores afetam diretamente no número total de outorgas. No Brasil, seja na esfera federal ou em cada estado, padrões específicos são usados para se restringir às vazões mínimas,

no entanto, muitas dessas abordagens são observadas com críticas (CRUZ, 2001; SILVA e RAMOS, 2001).

Estatisticamente atrelada a uma garantia de ocorrência, as vazões de referência estão disponíveis durante maior parte do ano, o que conferem maior segurança à alocação de água, mas podem inibir os usos, enquanto a adoção de valores menos restritivos pode levar ao desabastecimento de usos outorgados em alguns períodos (SILVA e MONTEIRO, 2004).

Nesses critérios, destacam-se as garantias de atendimento às demandas, com a desvantagem de limitar o crescimento do sistema de uso da água, potencializando-se a ocorrências de conflitos entre usuários (ALMEIDA e CURI, 2016), “à medida que o estoque disponível de água se aproxima do limite outorgável” (SANTOS, 2010).

Assim sendo, a fixação da vazão de outorga para todo o ano, impossibilita melhor aproveitamento hídrico nos períodos das cheias sazonais, uma alocação outorgável com valores maiores nesses períodos, tornaria o sistema mais eficiente ao desenvolvimento (RIBEIRO e LANNA, 2001; LEMOS et al., 2009; MARQUES, 2006; CURI et al., 2011).

### 3.4 SAZONALIDADE DAS VAZÕES

Sob o contexto das metodologias de vazão de referência supracitadas, aplicadas para todo o ano hidrológico, o uso da água pode ser limitado, podendo afetar diferentes usuários e suas atividades econômicas, tais como irrigação, abastecimento urbano, produção de energia, produção industrial, diluição de águas residuais, recreação e dentre outros (SILVA et al., 2015).

A flexibilização do processo de outorga é de extrema importância em bacias com elevadas taxas de crescimento e potencial conflito entre usuários, em virtude do aumento na disponibilidade hídrica principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas, em vista da maior oferta do recurso (MARQUES, 2006; MARQUES et al., 2009). O uso de critérios de outorga que considerem a sazonalidade hídrica, podem otimizar o uso da água na bacia (RIBEIRO, 2018).

Granziera (2013) destaca que, devido à escassez de pesquisas e discussões sobre o assunto, inclusive no âmbito legal, esses métodos são baseados em parâmetros comuns, sendo que em muitas legislações muitos estados utilizam padrões conservadores para buscar maior proteção das águas, quanto às vazões remanescentes, quando, na verdade a análise específica dos padrões de fluxo pode fornecer a base necessária para a tomada de decisões com base na sustentabilidade.

Cruz (2001) define a flexibilização na outorga como uma vazão escalonada utilizando-se de maneira variável ao longo do tempo, não sendo confundida com a vazão de outorga sazonal, que pode ser determinada com base nas mudanças ano a ano nas condições hidrológicas, quantificando os valores de disponibilidade para cada mês do ano. Quando a sazonalidade das condições hidrológicas é significativa, independentemente da utilização ou não do conceito de escalonamento, pode-se tornar um fator importante a ser considerado na definição da vazão outorgável. A vantagem óbvia da sazonalidade é a possibilidade de conceder valores mais altos durante os períodos úmidos. Alguns testes foram realizados utilizando valores de referência para cada mês do ano como forma alternativa de levar em conta aspectos sazonais da água ao longo do ano.

Os critérios de outorga devem ser alterados, com estudos aprofundados para compensar a falta de dados hidrológicos, como a espacialização das vazões ou a adoção de novas vazões de referência em bacias onde a demanda de água é maior, principalmente nos períodos de chuva, quando uma quantidade maior do recurso poderia ser concedida (DA SILVA et al., 2011). E esse gerenciamento dessa oferta e demanda em que diz respeito à outorga nos períodos com ou sem aumento do recurso hídrico deve estar atrelado ao “balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”(Art. 7º ... III da Lei Federal 9433/97).

No país há uma variedade de regimes hidrológicos e em muitos casos, o comportamento das vazões responde bem à sazonalidade. De tal característica, deve-se atentar para a possibilidade de que, a vazão de referência, seja atrelada a valores diferenciados, em períodos (meses), permitindo uma demanda maior derivada de eventos chuvosos.

### 3.5 VAZÃO ECOLÓGICA

As demandas e a degradação ambiental nos recursos hídricos causam alteração hidrológica em uma escala global, conduzindo estudos de ecohidrologia a fim de proteger e conservar o ecossistema envolvido (BENETTI et al., 2003; THARME, 2003).

Deve se observar não apenas a qualidade da água quando se fala na manutenção do equilíbrio ambiental de um sistema aquático, mas também a quantidade mínima de água considerada vital para a manutenção dos ecossistemas fluviais, denominada de vazão ecológica ou ambiental. Os aspectos quantitativos e qualitativos da água não podem ser observados separadamente, uma vez que a qualidade da água é estabelecida pela sua concentração de substâncias. Portanto, o aumento da concentração e conseqüente comprometimento da qualidade, podem acontecer tanto pelo aumento do aporte/geração dessas substâncias, quanto pela diminuição do volume de água que as concentra (ROSSITER, 2017).

A vazão ecológica é entendida como aquela necessária para garantir a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, após as retiradas para atender aos múltiplos usos de recursos hídricos (BENETTI et al., 2003).

Essa vazão não é só um importante instrumento para manutenção do ecossistema aquático, mas é, também, uma ferramenta que auxilia o gerenciamento hídrico, na determinação dos valores dos limites máximos de vazão para outorgas. O atendimento dessa vazão evita, em muitos casos, que rios inteiros sejam completamente utilizados pelas atividades demandas chegando a secar seu leito (HERTHER, 2016).

Longhi e Formiga (2011) citam várias metodologias para determinação de vazão ecológica em rios de contexto: hidrológico (utilizando-se de séries temporais, fixando percentual/proporção do escoamento); hidráulico (considera variáveis geométricas da hidráulica do canal, medidas em seção transversal fluvial), níveis de habitat (relação entre a variação da vazão e habitat físico em espécies pesquisadas) e holístico (considera eventos críticos em função da variabilidade de vazão apoiado por distintos métodos). Na literatura, o estudo da vazão ecológica é bastante difundido (GROWNS et al., 2017; OPPERMAN et al., 2018; TONKIN et al., 2021; BONECKER et al., 2020).

### 3.6 O HIDROGRAMA COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE PARA APOIO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O hidrograma ambiental é um importante instrumento para descrever o comportamento da água em uma bacia hidrográfica. O hidrograma ambiental possui quatro princípios no qual são identificados os princípios esperados de sustentabilidade da integridade biótico dos corpos de água, que são: às relações do canal de escoamento e a diversidade ecológica; a sazonalidade; as trocas de fluxo longitudinal e transversal no escoamento; e mudanças no estado dos fluxos naturais podem inibir a invasão, ilustrativamente observada em Bunn e Arthington (2002), (TUCCI, 2009) sendo ainda bastante difundido na literatura (ARTHINGTON et al., 2018; ARTHINGTON et al, 2018a; POFF, 2018). Para Poff et al. (2017), o contexto ambiental, deve-se ampliar da escala local para abordagens em escala de bacia hidrográfica, considerando a conectividade de habitat e movimentos de espécies fundamentais para conservação de água doce.

Medeiros *et al.* (2011) ressaltam que o hidrograma abrange todo o desempenho hídrico da bacia, suas subdivisões retratam o comportamento da água no rio volumetricamente com o tempo e representa informação de grande importância para o planejamento dos recursos hídricos.

Segundo Tucci (2003), para determinação de um projeto de uma bacia hidrográfica, o uso do hidrograma como ferramenta depende de dois elementos principais, a separação do volume de escoamento superficial e a propagação deste volume para jusante.

Muitos fatores influenciam no processo de desenvolvimento do hidrograma como: forma e cobertura da bacia; relevo; distribuição; duração e intensidade da precipitação; modificações artificiais no rio e solo (TUCCI, 2004).

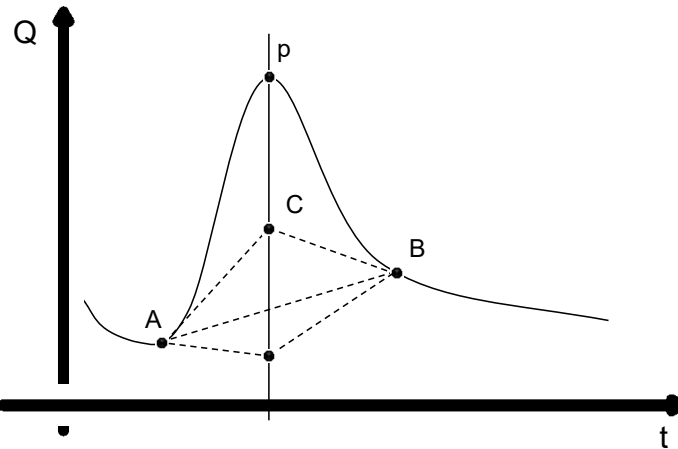
Miranda *et al.* (2014), atentam que a separação dos escoamentos “permite a compreensão da magnitude e da dinâmica das águas subterrâneas e do escoamento superficial direto em bacias hidrográficas”. O escoamento superficial direto confere quantitativo que pode representar um “desperdício” ao não ser bem aproveitado para as atividades humanas (SHAXSON e BARBER, 2003), contribuindo, também, para o transporte de: nutrientes, matéria orgânica, sementes para as plantas (MIRANDA, 2012); sedimentos e processos erosivos (PASSOS, 2017). Em áreas com menos impermeabilidade, a exemplo das urbanas, apresenta-

se com forte resposta na velocidade de fluxo e consequentes vazões de pico (BARBASSA e CAMPOS, 2010), bem como às diminuições no processo de recarga do lençol freático (OLIVEIRA; SILVA; MELO, 2020), consecutivo das alterações no processo de infiltração - densidade do solo, macro e microporosidade e condutividade hidráulica saturada (RIZZARDI et al, 2014).

O aporte de base é de fundamental importância para a ecologia da bacia hidrográfica e o planejamento e gestão dos recursos hídricos (ZHANG et al., 2017; SINGH et al., 2019), para a compreensão da sustentabilidade dos recursos hídricos e o transporte de solutos (HAGEDORN, 2020). Normalmente esse aporte confere uma água de qualidade superior à superficial (ABOELNOUR et al., 2021). O fluxo de base é geralmente consequente de registros vazões disponíveis utilizando-se de técnicas de separação de hidrograma, como: métodos gráficos, métodos de curva de recessão, métodos analíticos, métodos de balanço de massa entre outros (ZHANG et. al., 2013). O período dominante de base geralmente apresenta-se bastante sensível às mudanças climáticas (HAGEDORN e MEADOWS, 2021).

Tucci (2007) cita 3 métodos gráficos, traçados, de separação dos escoamentos através do hidrograma (Figura 1), as áreas acima e abaixo destes representam respectivamente, o escoamento superficial direto e o escoamento subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975): seguimento AB (BASTOLA et al., 2018; CAVAZZANA; LASTORIA; GABAS, 2019), o mais simplificado, na ligação das inflexões de A (na ascensão caudal) a B (na recessão caudal); traçado ACB, na identificação da inflexão B, traça-se uma extrapolação do remanso até atingir o ponto C (cruzamento com perpendicular advinda do pico "p"), deste liga-se à inflexão A; traçado ADB, extrapolação da inflexão em A até atingir a (D) (cruzamento com perpendicular de pico, p), deste liga-se à B.

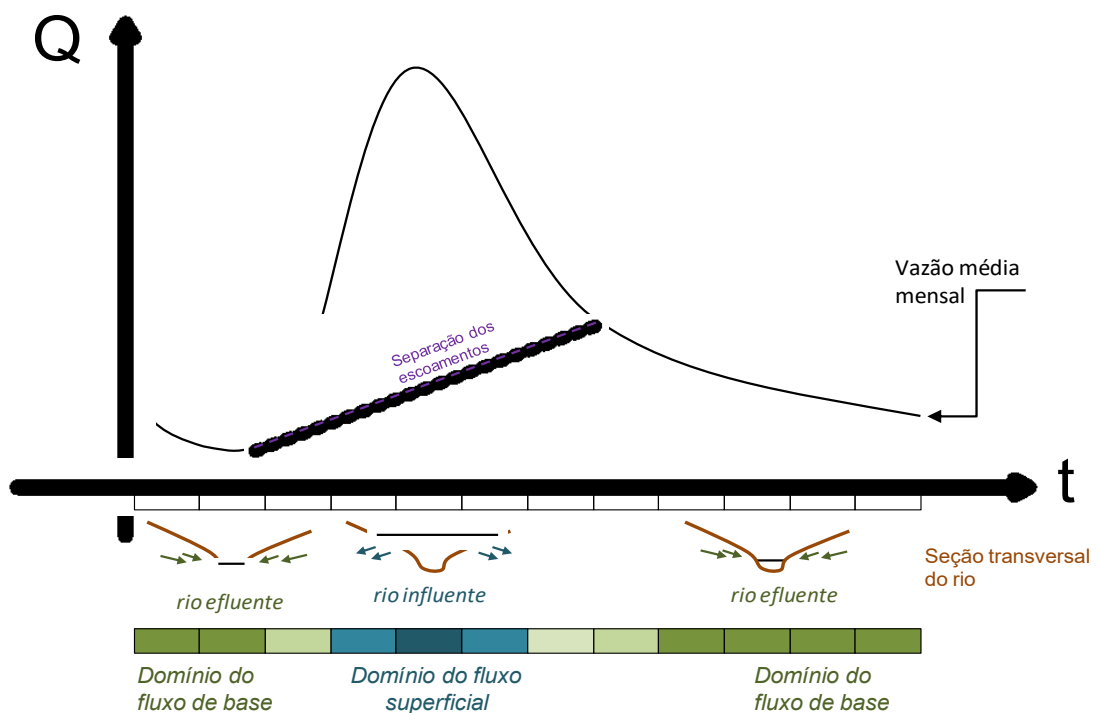
**Figura 1 - Metodologias gráficas de separação dos escoamentos**



**Fonte:** Adaptado de Tucci (2007)

Uma abordagem mais explicativa da relação dos aportes superficial e subterrâneo através do hidrograma pode ser considerada na relação rio-aquífero extremamente relacionado à variabilidade de recarga (WINTER et al., 2016; TAIE SEMIROMI e KOCH, 2020; HWA OH et al., 2021). Na Figura 2, observa-se a seção transversal do rio conferindo a influência ou efluência da relação rio-aquífero, segundo os meses; dominantes do escoamento superficial direto e do escoamento subterrâneo.

**Figura 2 - A relação rio-aquífero ao longo do ano hidrológico**



**Fonte:** autoria própria

Na separação dos escoamentos constata-se a proporção hídrica nas diferentes vias de escoamento no fluxo de uma bacia, apoiando na identificação da relação de conversão entre águas subterrâneas e superficiais; além de ser uma condição necessária para a alocação ótima de recursos hídricos (YANG; XIAO; LIANG, 2019).

O índice de escoamento de base (Baseflow Index – BFI) é definido como a razão entre o fluxo de base médio de longo prazo e o fluxo total (AKSOY; KURT; ERIS, 2009; SINGH et al., 2019). Representa a contribuição lenta e contínua da água subterrânea para o fluxo do rio (ABOELNOUR, 2021). Neste parâmetro identifica-se o domínio do escoamento subterrâneo frente ao fluxo total, conseqüentemente, ao longo do ano hidrológico identifica-se os meses com maior expressividade do escoamento superficial direto.

### **3.6.1 Hidrograma – ótica sob diferentes escalas temporais**

As séries temporais de vazões (hidrograma, hidrógrafa ou fluviograma), quando analisadas na escala semanal, tem forte contribuição sob os aspectos qualitativos e quantitativos na área de saneamento e saúde (ANTUNES e CARDOSO, 2015; GHIZZO FILHO et al. 2018). Para a escala mensal, a análise da series temporais é largamente empregada em estudos hidroclimatológicos (CHAGAS, 2019; LUCAS et al., 2020; VIEIRA et al., 2018).

Sob o contexto da gestão de recursos hídricos, abordagens sazonal e mensal de vazões devem ser consequentes de um bom banco de dados diários – atenta-se que a qualidade e quantidade de registros são fundamentais para apoiar na tomada de decisões, a exemplo do instrumento da outorga (CHAGAS, 2019; LUCAS et al., 2020). A escala diária também é de grande interesse na variabilidade fluvial, magnitude e frequência de pulsos de vazões, especialmente em rios perenes (BUENAGA, 2019).

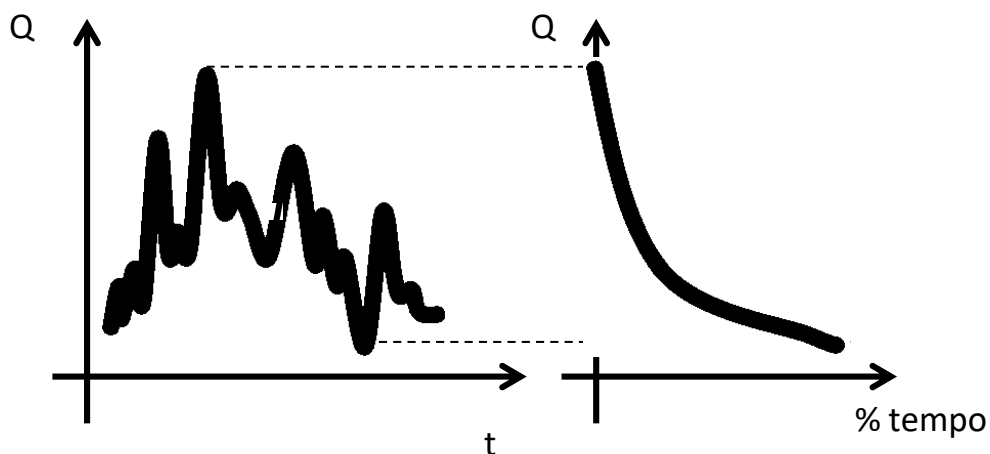
Sobre a série temporal hidrológica, Cruz (2001) destaca alguns conceitos/ características dentre eles (as):

- aleatoriedade, da imprevisibilidade fluvial; a presença de componentes determinísticos, como a sazonalidade (flutuações naturais como componentes de periodicidade);



- a estacionariedade (“frequências de ocorrências do passado serão válidas para descrever as probabilidades de ocorrência no futuro” – podendo ser identificadas por testes estatísticos);
- a não-estacionariedade, alterações no regime hídrico consequentes das ações antrópicas e naturais (mudança brusca – após a adaptação a nova condição de escoamento, contextualiza um novo início da série temporal);
- incertezas, dentre muitas citadas, na disponibilidade hídrica e demandas (acréscimos expressivos no processo de outorga – se a série representa bem a produção hídrica da bacia) – e na permanência de vazões, a exemplo da Q95, 95% de garantia, sendo os 5% fortemente relacionados a épocas previsíveis do ano, incluindo-se a subestimação na vazão ambiental;
- índices primários de vazões, estimados diretamente na série temporal, como a vazão média anual, vazão média de longo período, valores derivados da curva de permanência;
- índices secundários, dentre eles, vazões mínimas obtidas de novas séries de valores consequente de combinações matemáticas de médias diárias, a exemplo de uma média móvel de uma determinada duração;
- curva de permanência ou de duração de vazões (Figura 3) – relacionando a vazão e o tempo em que é superada ou igualada em um período considerado – são amplamente utilizadas no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil.

**Figura 3** - Representação esquemática de hidrograma e respectiva curva de permanência



Fonte: Adaptado de Quimpo et al. (1983) apud Cruz (2001)

## 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA EM SÉRIES TEMPORAIS

### 3.7.1 Séries Temporais

Algumas razões pelas quais as séries temporais são estudadas e analisadas incluem a compreensão das propriedades da série e a estrutura da série. Além disso, podem ser feitas previsões sobre valores futuros, com base em valores anteriores, considerando que o futuro é incerto (MORETTIN; TOLOI, 2006).

De acordo com Morettin e Tolo (2004) uma série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. As séries de vazões têm características estatísticas que não podem ser determinadas por equações exatas e, portanto, são processos estocásticos (BATISTA, 2009). Estudos com séries temporais de vazão são cada vez mais importantes considerando suas aplicações em estudos hidrológicos e uma das características mais importante deste tipo de dados é que as observações vizinhas são dependentes ou correlacionadas. Séries temporais de vazão têm aplicações diretas na hidrologia e o seu uso é bastante difundido na literatura (ADDOR et al., 2020; HALLOUIN et al., 2018; CONDOM et al., 2020; GUEDES et al., 2019; ANDRADE et al., 2018).

Para identificação do modelo é necessário analisar a estacionariedade do processo. Os processos estacionários são uma importante classe dos processos estocásticos (MORETTIN; TOLOI, 2006). Manzione (2018) destaca que um modelo de séries temporais pode ser estacionário ou não estacionário. Processos não estacionários têm propriedades estatísticas que mudam ao longo do tempo, enquanto os processos estacionários não mudam ao longo do tempo, como média e variância, assumidas apenas para um determinado intervalo de tempo.

Segundo Chechi et al. (2012), descrevem que a análise inicial é crucial para determinar as características das séries, como sazonalidade, tendências e discrepâncias na série de dados. As séries temporais geralmente não são estacionárias e, em processos em que a estacionariedade não é uma suposição, diferentes métodos podem ser usados para remover tendências das séries temporais. As séries temporais geralmente mostram padrões cíclicos que podem ser modelados por sazonalidade, porque as séries temporais têm períodos, como diário, semanal, mensal e anual. Além da variação sazonal média, a variação da série temporal também deve variar sazonalmente (MANZIONE, 2018).

Para a verificação da estacionariedade e das tendências na série temporal estudada, utilizamos diversos métodos estatísticos como a Função de Correlação, o teste de Mann-Kendall e o teste de Dickey-Fuller Aumentado. Os testes são bastante estudados na literatura para o estudo de séries temporais (GONÇALVES e BACK, 2018; MOREIRA et al., 2019; MACHADO et al., 2018; DUARTE et al., 2019).

### 3.7.2 Função de Correlação (FAC)

Um teste útil para verificar a estacionariedade de uma série temporal é a função de correlação (FAC). A FAC com defasagem  $k$ , denotada por  $\rho_k$ , é definida como:

$$\rho_k = \frac{y_k}{y_0} \quad (1)$$

Em que:

$y_k$  e  $y_0$  é a covariância com defasagem  $k$  e a variância respectivamente.

A variância e covariância amostral estão na mesma unidade de medida, o que leva a função de correlação ser adimensional ou sem unidade de medida, e pertencente ao intervalo  $[-1, 1]$ . Uma vez que  $\rho_k$  é colocado contra  $k$ , se obtém o gráfico conhecido como correlograma da população.

No entanto, na prática, apenas se tem a realização amostral de um processo estocástico, podendo apenas computar a função de correlação amostral,  $\hat{\rho}_k$ . Para isso, precisamos primeiro calcular a covariância da amostra com defasagem  $k$ ,  $\hat{y}_k$ , e a variância da amostra  $\hat{y}_0$ , definidas como:

$$\hat{y}_k = \frac{\sum (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})}{n} \quad (2)$$

$$\hat{y}_0 = \frac{\sum (y_t - \bar{y})^2}{n} \quad (3)$$

em que  $n$  é o tamanho da amostra e  $\bar{y}$  é a média da amostra.

Então, a função de correlação amostral, com defasagem  $k$  é:

$$\hat{\rho}_k = \frac{\hat{y}_k}{\hat{y}_0} \quad (4)$$

que é simplesmente a razão da covariância da amostra (com defasagem  $k$ ) e a variância da amostra. O gráfico de  $\hat{\rho}_k$  contra  $k$  é conhecido com o correlograma amostral.

### 3.7.3 Teste de Dickey-Fuller Aumentado

Para a verificação da estacionariedade por ser feito através das funções de autocorreção. Mas também pode ser verificado através do teste de Dickey-Fuller. O primeiro teste para a identificação da presença de raiz unitária foi desenvolvido por Dickey (1976), Dickey&Fuller (1979) e Dickey&Fuller (1981). O teste é baseado na seguinte estrutura:

$$y_t = \phi y_{t-1} + \mu_t \quad (5)$$

A hipótese a ser testada é:

$H_0: \phi = 1$ , existe uma raiz unitária;

$H_1: |\phi| < 1$ , não existe uma raiz unitária.

O Teste de Dickey-Fuller Aumentado também chamado de teste ADF, considerara nas séries temporais a existência de alguma estrutura de autocorrelação para os erros da equação de teste. Se essa estrutura não for considerada, há perda de eficiência do estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO) para  $\lambda$  e, o que é mais sério, a estatística do teste  $\tau$ , fica enviesada.

Para o Teste de Dickey-Fuller Aumentado, temos a regressão:

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \psi \Delta y_{t-j} + \mu_t \quad (6)$$

com o número de defasagem  $k$  padronizada por  $\left[ (n-1)^{1/3} \right]$

em que:

$\beta_0$  e  $\beta_1$  são constantes e  $\delta = \phi - 1$ ,  $\psi$  são parâmetros e  $\mu_t$  é um termo de erro que é um processo ruído branco normalmente distribuído.

A estatística do teste é dada por:

$$\tau = \frac{\hat{\delta}}{S_{\hat{\delta}}} \quad (7)$$

onde  $\hat{\delta}$  é o estimador de MQO de  $\delta$  e  $S_{\hat{\delta}}$  é o erro padrão de  $\hat{\delta}$ . A razão acima é denominada de estatística- $\tau$  porque segue uma distribuição de probabilidade diferente da usual distribuição t de Student sob a hipótese nula de que  $\delta = 0$ .

### 3.7.4 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall foi proposto, inicialmente, por Sneyers (1975) e usado inicialmente por Mann (1945) e alterado por Kendall (1975) e posteriormente aprimorado por Hirsch e Slack (1984). Sendo considerado o mais adequado para detectar tendências significativas em séries temporais (GAVRILOV et al., 2016; LIRA et al., 2020; GUEDES et al., 2019; RODRIGUES et al., 2020; ILBAY-YUPA et al., 2019; SANTOS et al., 2016) e também sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries hidrológicas.

O teste é muito utilizado para detectar tendências monotônicas em uma série de dados hidrológicos. Ele considera que na hipótese nula,  $H_0$ , é que os dados emergentes de uma população com realizações independentes e identicamente distribuídos. A hipótese alternativa,  $H_1$ , é que os dados seguem uma tendência monotônica. A estatística de teste Mann-Kendall é calculada de acordo com:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+2}^n \text{sng}(X_j - X_k) \quad (8)$$

com

$$\text{sng}(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ -1 & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

A média de S é  $E[S] = 0$  e a variância  $\sigma^2$  é:

$$Z = \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right\} / 18 \quad (9)$$

em que  $p$  é o número dos grupos empatados no conjunto de dados e  $t_j$  é o número de pontos dos dados no  $j^{\circ}$  grupo empatado. A estatística  $S$  tem distribuição aproximadamente normal, desde que a seguinte transformação  $Z$  seja empregada:

$$\text{sng}(x) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

A estatística  $S$  está relacionada ao  $\tau$  de Kendall dado por

$$\tau = \frac{S}{D} \quad (10)$$

em que:

$$D = \left[ \frac{1}{2}n(n-1) - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1) \right]^{1/2} \left[ \frac{1}{2}n(n-1) \right]^{1/2}$$

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste estudo confere natureza qualitativa e quantitativa, contemplando desde a coleta de dados fluviométricos e área de interesse, passando pela confecção dos hidrogramas, separação de escoamentos e cálculo de índices dos aportes delimitados.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo estará atrelada à definição de uma ou mais estações fluviométricas para aplicação metodológica da presente pesquisa. Inicialmente, foi analisado o banco de dados diários – série histórica de vazões- das estações fluviométricas dos estados da Paraíba e Pernambuco, através do HIDROWEB (ANA, 2021b). Para o estado da Paraíba foi observada escassez de dados em várias estações catalogadas. Já para o estado de Pernambuco, foi identificada boa quantidade de postos, com mais de dez anos de dados diários contínuos. Nesse sentido, a escolha das estações restringiu apenas ao estado de Pernambuco.

#### 4.1.1 Séries históricas de vazões elencadas

Através do site de Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água - HIDROWEB (ANA, 2021b), foi observada a existência de 460 estações fluviométricas no estado de Pernambuco, entretanto, muitas delas não possuíam atualizações recentes dos dados, bem como falhas/ausência de registros, conferindo descontinuidade da série diária. Para tal, considerando-se a continuidade de dados de vazões, as estações possíveis de serem analisadas, estariam voltadas para o setor leste do estado pernambucano. Apoiar-se nesse contexto o foco em estações em áreas mais litorâneas, em função do maior aporte pluviométrico (SILVA et al., 2018; ALCÂNTARA et al., 2019a; ALCÂNTARA et al., 2019b). Acrescenta-se, também, proximidade de área sedimentar costeira (DNPM, 2007).

Na Tabela 2, observam-se as estações fluviométricas inicialmente escolhidas, em função do tamanho da série temporal (a partir de 14 anos de dados), com

destaque: Engenho Retiro (Período: 01/01/1978 a 31/12/1993), no município de Condado; Palmares (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014), no município de Palmares e; Paudalho (Período: 01/01/1985 a 31/12/2011), no município de Paudalho. Estas estações conferem continuidade de dados diários, observadas na Figura 4.

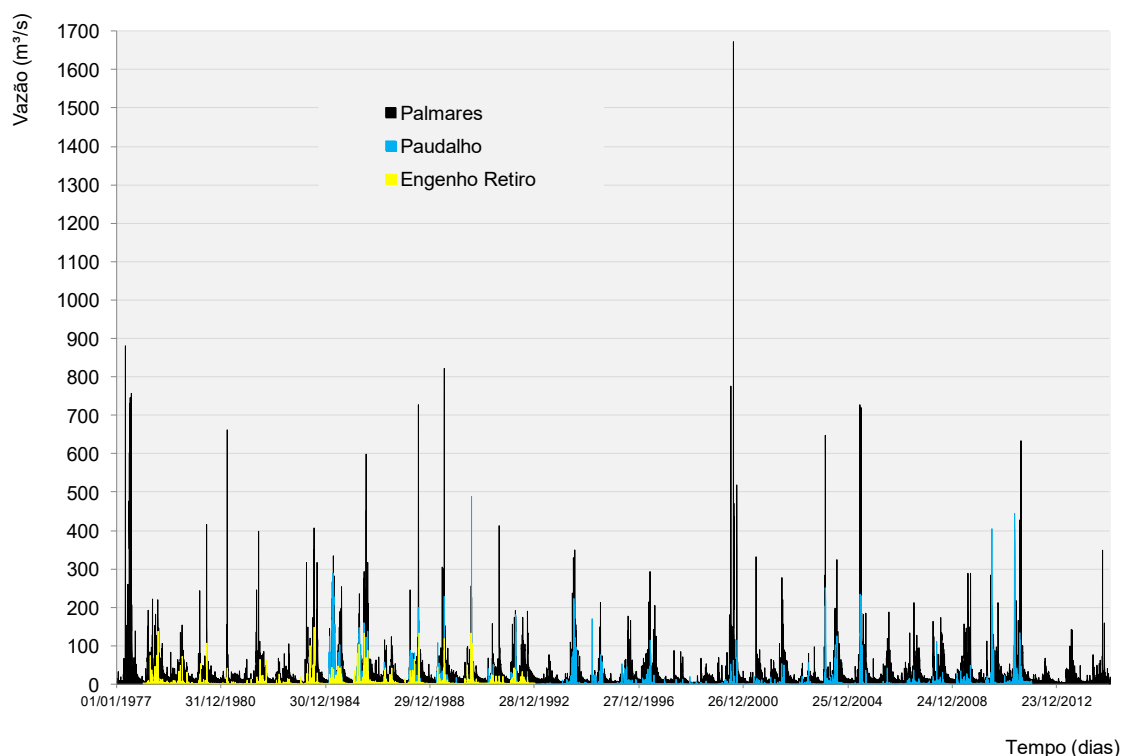
**Tabela 2** - Estações fluviométricas na área de interesse da pesquisa –HIDROWEB (ANA, 2021b)

Nome da Estação	Código*	Cidade	Período Escolhido
Açude Pau Ferro	39360000	Quipapa	1968 - 1999
Açude Pau Ferro	39450000	Quipapa	2000 - 2014
Açude Serro Azul	39450000	Palmares	2000 - 2014
Captação Camboinha	39480000	Sirinhaém	1997 - 2014
Destilaria JB	39480000	Vitoria de Santo Antão	1997 - 2014
Engenho Bento	39450000	Joaquim Nabuco	2000 - 2014
Engenho Itapirema de Baixo	39083000	Goiania	1978 - 1992
Engenho Mato Grosso	39480000	Rio Formoso	1997 - 2014
Engenho Retiro	39083000	Condado	1978 - 1993
Engenho Tabocas	39450000	Pombos	2000 - 2014
Engenho Tabocas	39360000	Pombos	1968 - 1999
Matapagipe	39450000	Pombos	2000 - 2014
Palmares	39560000	Palmares	1977 - 2014
Paudalho	39150000	Paudalho	1985 - 2011
Ponte da PE-060	39480000	Sirinhaém	1997 - 2014
Sítio Cachoeira	39450000	Maraial	2000 - 2014

\* Código proveniente da plataforma HIDROWEB (2021) da ANA



**Figura 4** - Séries temporais de vazões diárias/período - estações fluviométricas (estado de Pernambuco): Palmares (1977 a 2014); Paudalho (1985 a 2011) e; Engenho Retiro (1978 a 1992)



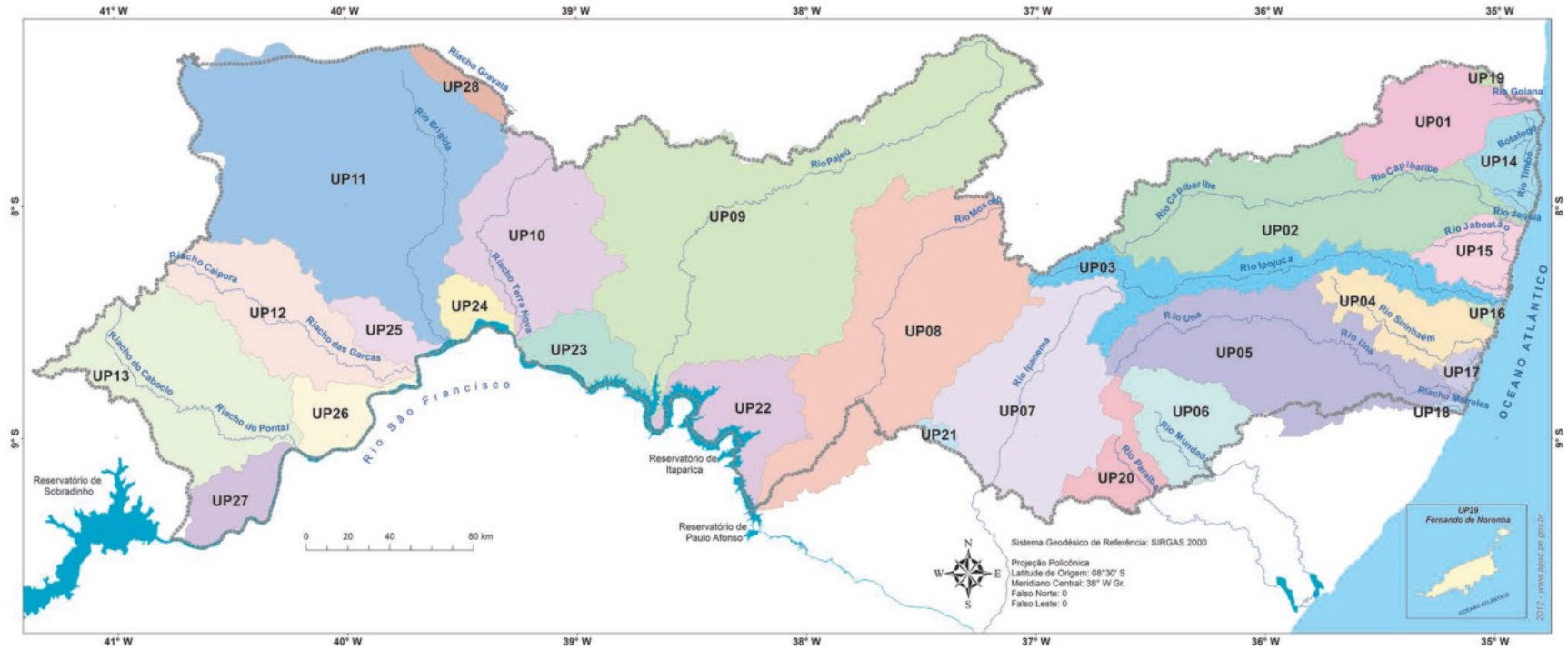
**Fonte:** autoria própria.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (2013) a principal característica da Zona da Mata e do Litoral de Pernambuco é um clima úmido com precipitação média maior do que 1.400 mm. Normalmente, a chuva começa em março e pode durar até agosto. Na região, são notórios os déficits hídricos entre setembro e fevereiro e os excedentes nos demais meses do ano.

O estado do Pernambuco possui duas vertentes no contexto das bacias hidrográficas que são: o rio São Francisco e o Oceano Atlântico. As bacias hidrográficas que escoam para o rio São Francisco formam denominadas rios interiores, tendo como as principais: Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó, Ipanema, além de Grupos de Pequenos Rios Interiores (GRI's). Para as bacias hidrográficas que escoam para o Oceano Atlântico, formam os chamados rios litorâneos, e os principais são: Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una e Mundaú e os Grupo de Bacias Locais (GL's) (APAC, 2021). Na Figura 5, pode-se observar todas as Unidades de Planejamento Hídrico (UP's) no estado do Pernambuco, definida no Plano Estadual de Recursos hídricos de Pernambuco - PERH/PE de 1998 (APAC, 2013). Atenta-se que, atualmente, através da Atualização

do Plano Estadual de Recursos Hídricos (APAC, 2020a; APAC, 2020b), apresenta-se uma nova proposta de subdivisão e nomenclaturas. Na Figura 6, observam-se as áreas de interesse nesta pesquisa – bacias hidrográficas setor Leste de Pernambuco com as nomenclaturas do PERH|PE (1998) e na nova proposta, sendo: UP 01 – Goiana; UP 02 – Metropolitana do Norte; UP 03 – Capibaribe; UP 04 – Metropolitana do Sul; UP 05 – Ipojuca; UP 06 – Sirinhaém; UP 07 – Una.

**Figura 5 - Unidades de Planejamento Hídrico inseridos no estado do Pernambuco definidas pelo o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – PERH/PE de 1998**



**UNIDADES DE PLANEJAMENTO – BACIAS HIDROGRÁFICAS**

UP01 – Goiana	UP08 – Moxotó	UP15 – GL2	UP22 – GI3
UP02 – Capibaribe	UP09 – Pajeú	UP16 – GL3	UP23 – GI4
UP03 – Ipojuca	UP10 – Terra Nova	UP17 – GL4	UP24 – GI5
UP04 – Sirinhaém	UP11 – Brígida	UP18 – GL5	UP25 – GI6
UP05 – Una	UP12 – Garças	UP19 – GL6	UP26 – GI7
UP06 – Mundaú	UP13 – Pontal	UP20 – GI1	UP27 – GI8
UP07 – Ipanema	UP14 – GL1	UP21 – GI2	UP28 – GI9

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

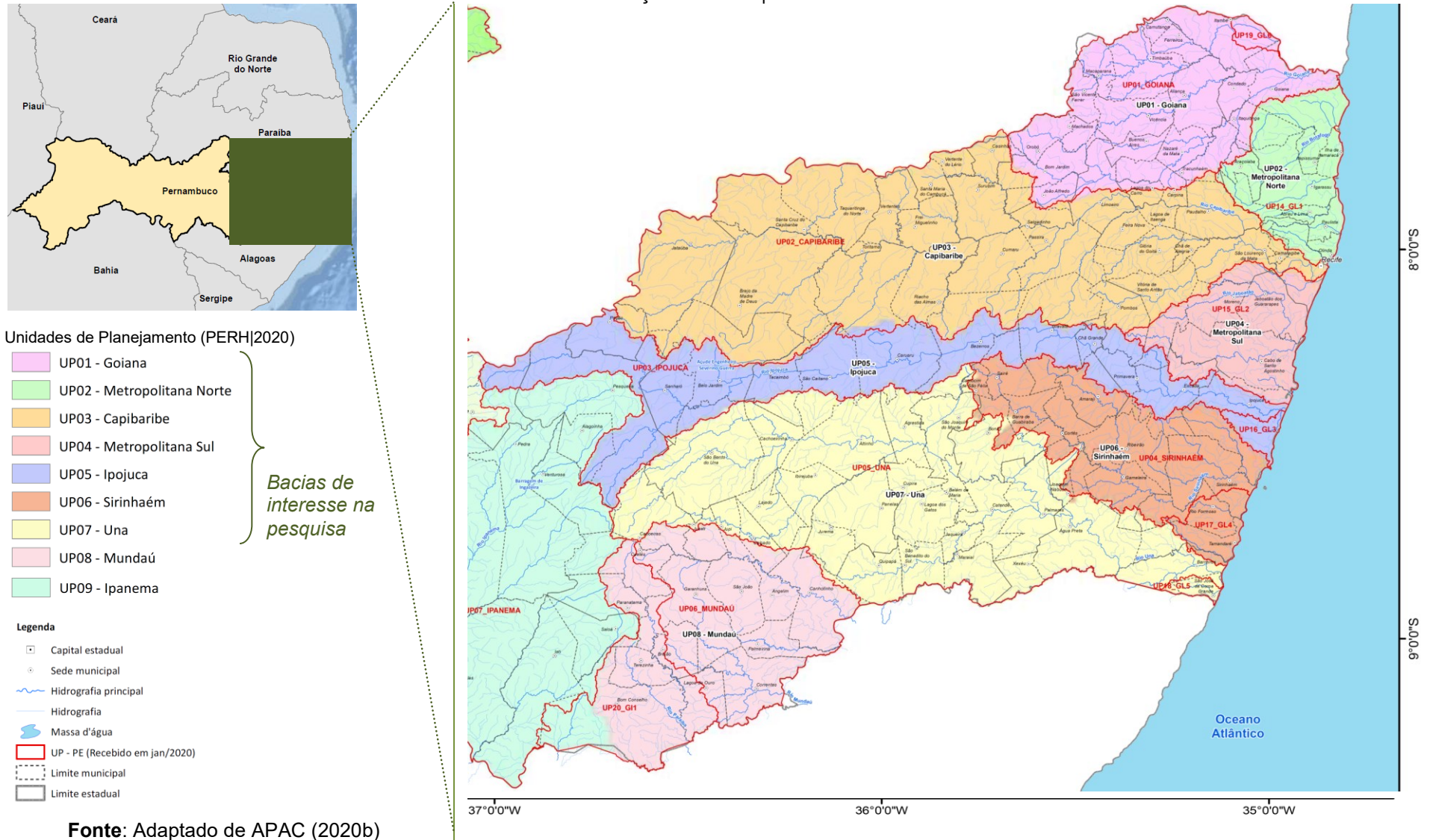
Limite estadual	Rios e riachos	Açúdes/lagoas
-----------------	----------------	---------------

GL – Grupo de bacias de pequenos rios litorâneos  
 GI – Grupo de bacias de pequenos rios interiores

Mapa resultante da compilação, integração, revisão e modificação das seguintes fontes:  
 – Hidrografia: Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)

Fonte: APAC (2013)

**Figura 6 -** Áreas de interesse para desenvolvimento da pesquisa: bacias hidrográficas setor Leste de Pernambuco – Unidades de Planejamento propostas para atualização do PERH/PE –2020.



#### 4.1.2 Localização e extensão da bacia hidrográfica do rio Una

A Unidade de Planejamento Hídrico UP7, que corresponde à bacia do Rio Una, está localizada ao sul do litoral do Estado de Pernambuco, entre 08°17'14" e 08°55'28" de latitude sul e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude oeste. A bacia do rio Una é delimitada: ao norte, com as bacias dos rios Ipojuca e Sirinhaém, e o conjunto de bacias dos pequenos rios litorâneos 4; ao sul, com a bacia do Mundaú, o Estado de Alagoas, e o grupo de bacias de pequenos rios costeiros 5 e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 1; a leste, com o Oceano Atlântico, a bacia do rio Sirinhaém, o GL4 e GL5; e, a oeste, com as bacias dos rios Ipojuca e Ipanema (APAC, 2022).

**Figura 7 - Mapa de localização da bacia do Rio Una-PE.**



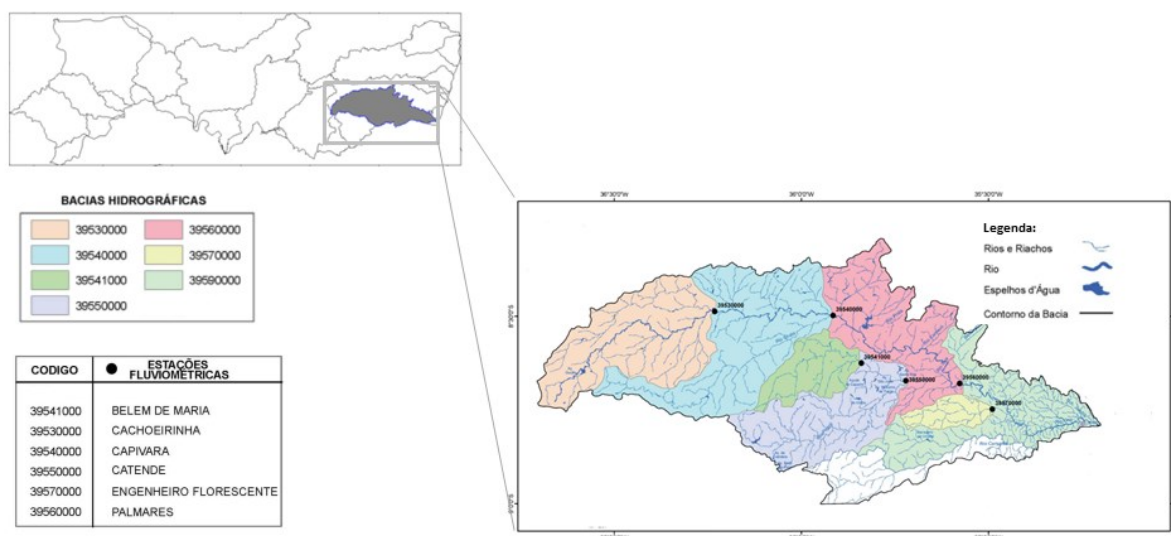
**Fonte:** Adaptado da APAC, 2021

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (2022) a bacia do rio Una possui uma área de 6.740,31 km<sup>2</sup>, dos quais 6.262,78 km<sup>2</sup> estão localizados no estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37% do total estadual. A bacia abrange 42 municípios, dos quais 11 estão totalmente inseridos na bacia (Belém de Maria,

Catende, Cupira, Ibirajuba, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Maraial, Palmares, Pannels, São Benedito do Sul e Xexéu), 15 têm sua sede inserida na bacia (Água Preta, Agrestina, Altinho, Barreiros, Bonito, Cachoeirinha, Calçado, Capoeiras, Jucati, Jupí, Jurema, Lajedo, Quipapá, São Bento do Una e São Joaquim do Monte) e 16 estão parcialmente inseridos (Barra de Guabiraba, Bezerros, Caetés, Camocim de São Félix, Canhotinho, Caruaru, Gameleira, Joaquim Nabuco, Pesqueira, Rio Formoso, Sanharó, São Caetano, São José da Coroa Grande, Tacaimbó, Tamandaré e Venturosa).

Na figura 8 encontram-se as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Una e suas respectivas estações fluviométricas que ficam instaladas. Para o estudo, utilizou-se a estação fluviométrica de Palmares na cidade Palmares. A estação teve uma serie histórica de dados de vazão de 38 anos.

**Figura 8** - Mapa de localização dos postos fluviométricos encontrados da bacia hidrográfica do rio Una-PE



Fonte: Adaptado da APAC, 2019

#### 4.1.3 Hidrografia e os principais rios afluentes

A nascente do Rio Una localiza-se no município de Capoeiras, ocorrendo de forma intermitente até aproximadamente o município de Altinho, quando se torna perene. Tem uma extensão de aproximadamente 290 km, tendo como principais afluentes, na margem direita, o riacho Quatis, o rio Chata, o rio Pirangi, o rio Jacuípe e o rio Caraçu. O rio Jacuípe serve de divisa entre os estados de Pernambuco e

Alagoas. Na margem esquerda estão o riacho Riachão, riacho Mentirosas, riacho Sapo, rio Camevô e o rio Preto (APAC, 2022).

De acordo com a Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado de Pernambuco (SRHE-PE), quatro das cinco barragens previstas na Zona da Mata Sul de Pernambuco serão construídas na Bacia do Rio Una: Igarapeba, Lagoa dos Gatos, Panelas II e Serro Azul. A barragem mais próxima da estação de fluviométrica deste estudo é a Barragem Serro Azul, com capacidade estimada de 303 milhões de metros cúbicos, a área máxima de inundação é de 907 hectares. Além de proteger a região de Palmares de enchentes, a vazão de 850 l/s pode ser regulada para outros usos (abastecimento humano, irrigação, recreação, pesca) (ITEP/OS, 2011).

O Rio Una, com 290 km de extensão, devido à baixa pluviosidade, sua parte superior flui de forma intermitente. A bacia de rio Una mostra uma grande irregularidade na precipitação anual, com valor de precipitação com uma oscilação total anual, em média, entre 800 mm no setor leste da bacia m no setor oeste da bacia atinge 2200 mm. Os quatro meses mais chuvosos correspondem aos meses de abril a julho, sendo julho o mês mais chuvoso, com um máximo em torno de 160 mm; outubro a dezembro é considerado o período mais seco, com a menor precipitação registrada em novembro cerca de 25 mm. Março pode ser considerado um mês de transição da estação seca para a estação chuvosa. Durante o mês de abril, as chuvas começam a ocorrer com maior frequência e intensidade, principalmente na parte oeste da bacia (ITEP, 2011). Dessa forma, a vegetação também busca se adaptar ao clima, com a presença da Caatinga nas regiões semiáridas e manchas de Mata Atlântica nas regiões quentes e úmidas. Quase toda a área da bacia é representada por rochas cristalinas, enquanto as áreas sedimentares estão próximas à costa. O solo da região é pouco desenvolvido, medianamente a pouco profundos, com baixa permeabilidade e capacidade de retenção (PERNAMBUCO, 2006).

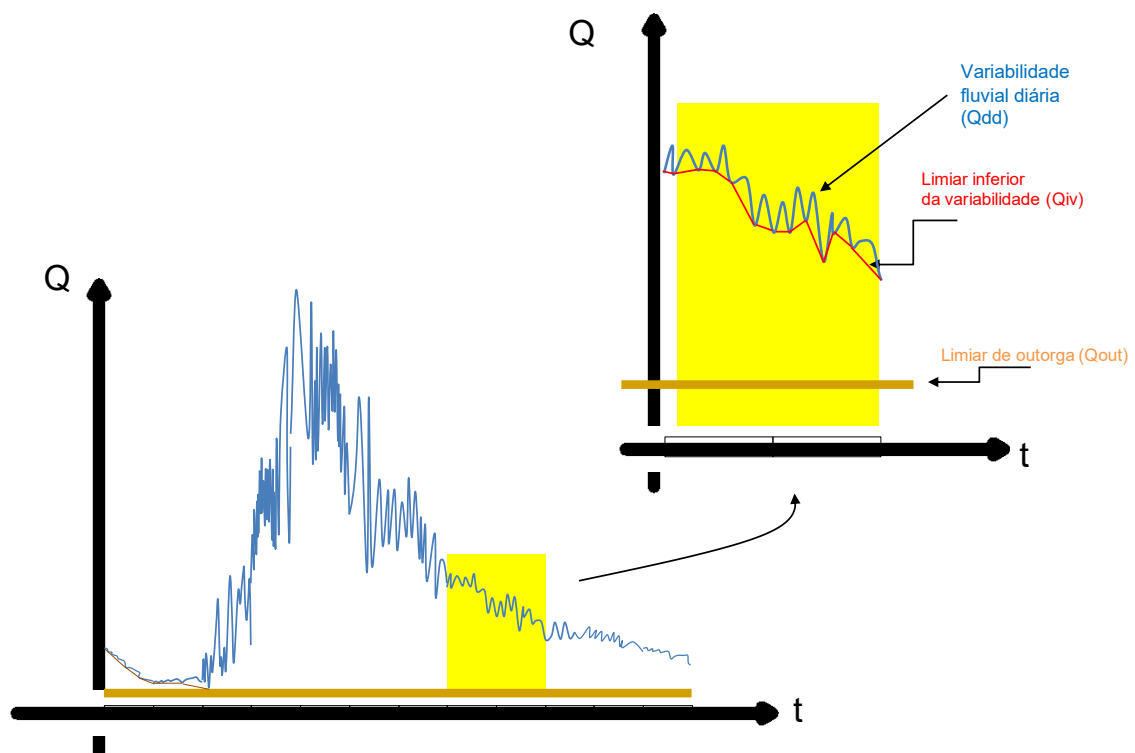
Em termos de usos múltiplos, o rio Una não difere dos outros rios da Zona da Mata Sul Pernambuco, tem principalmente os seguintes usos: abastecimento público, dessedentação animal, uso industrial, irrigação com destaque ao cultivo de cana-de-açúcar, além de atividades de lazer e pesca. Ao longo de seu trajeto, o rio também serve como receptor de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (JUNIOR e GONÇALVES, 2018).

As maiores cheias registradas na bacia do rio Una ocorreram em 1973, 1975, 1988, 2000 e 2010. Os municípios que, em geral, são mais atingidos pelas cheias na bacia do rio Una são: Belém de Maria, Maraial, Catende, Palmares, Água Preta e Barreiros (ITEP, 2011). A bacia do rio Una tem um histórico de inundações. Nos últimos anos, os desastres ocorreram com frequência, em 2000, 2004, 2005, 2010 e 2011.

#### 4.1.4 Delimitação dos escoamentos no hidrograma

Para facilitar o entendimento da metodologia, na Figura 9 observa-se esquema de hidrograma (ano cronológico) e recorte/detalhe com: traçados de fluxo fictício, na escala diária ( $Q_{dd}$ ) e limiar de outorga ( $Q_{out}$ ); limiar inferior da variabilidade de vazão diária ( $Q_{iv}$ ).

**Figura 9** - Abordagens no hidrograma com foco na metodologia



Fonte: autoria própria

De porte da série temporal de vazões, serão delimitadas as inflexões da variabilidade de vazão diária: auxiliados por equações da reta que ligam esses pontos de inflexão.



Dessa separação, serão calculados os volumes dos aportes (áreas segundo delimitações): fluvial (vazão total) (área abaixo de  $Q_{dd}$ ), da variabilidade de vazão (área entre  $Q_{dd}$  e  $Q_{iv}$ ) e do traçado das inflexões da variabilidade fluvial (abaixo de  $Q_{iv}$ ).

Destarte, serão calculados índices de escoamento de acordo com a equação 11, de forma a identificar a proporção do domínio desses volumes (incluindo a variabilidade): no âmbito da série temporal; na escala mensal e; sazonal (nos meses de seca/cheia).

$$IV = \frac{\int Q_{dd}(t) - \int Q_{iv}(t)}{\int Q_{dd}(t)} \quad (11)$$

Possibilita-se, também, a quantificação desses índices sob o contexto climatológico, como anos de El Niño e de La Niña (CPTEC, 2022).

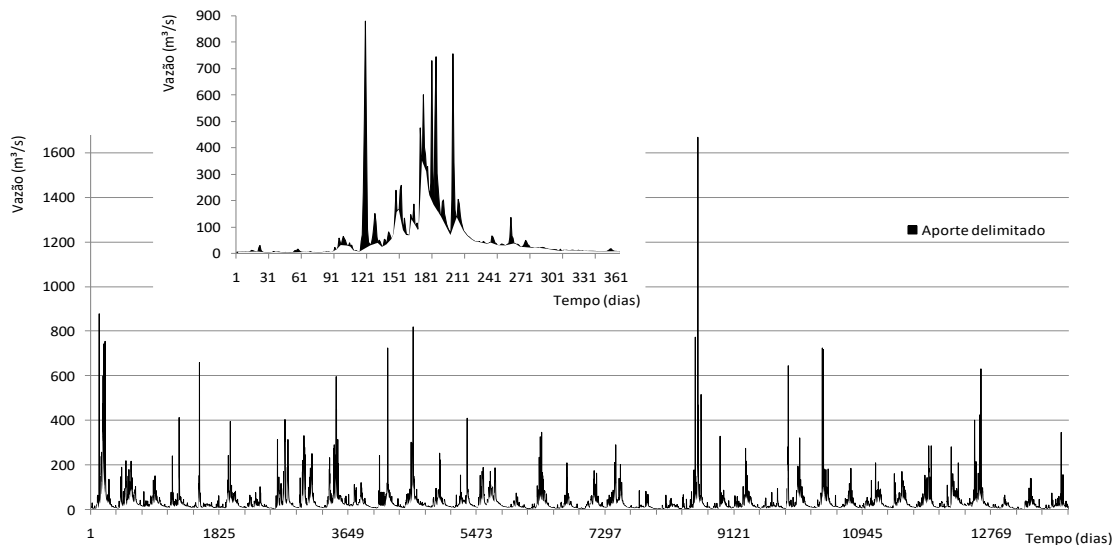
Como o aporte de outorga configura-se no limiar fixo ao longo do ano hidrológico, será verificada a proporção acima deste limitando-se superiormente à delimitação da variabilidade fluvial. Nesse sentido, será proposta um critério de outorga, de forma flexível, com base em ferramentas da estatística, subsidiando os órgãos gestores nos meses de maiores aportes de vazões.

Foi utilizado o Software R, seguindo o cálculo e ajustes necessários para o trabalho. O Software R é um programa projetado para análise de séries temporais e os pacotes dentro do software executam funções específicas relacionadas à análise de séries temporais.

## 5 RESULTADOS

Na Figura 10, observa-se a delimitação da variabilidade da vazão segundo a metodologia proposta, aplicada na estação fluviométrica de Palmares-PE. Também observa-se nessa Figura, o ano de 1977 em destaque, de maneira a apoiar melhor visualização da referida delimitação.

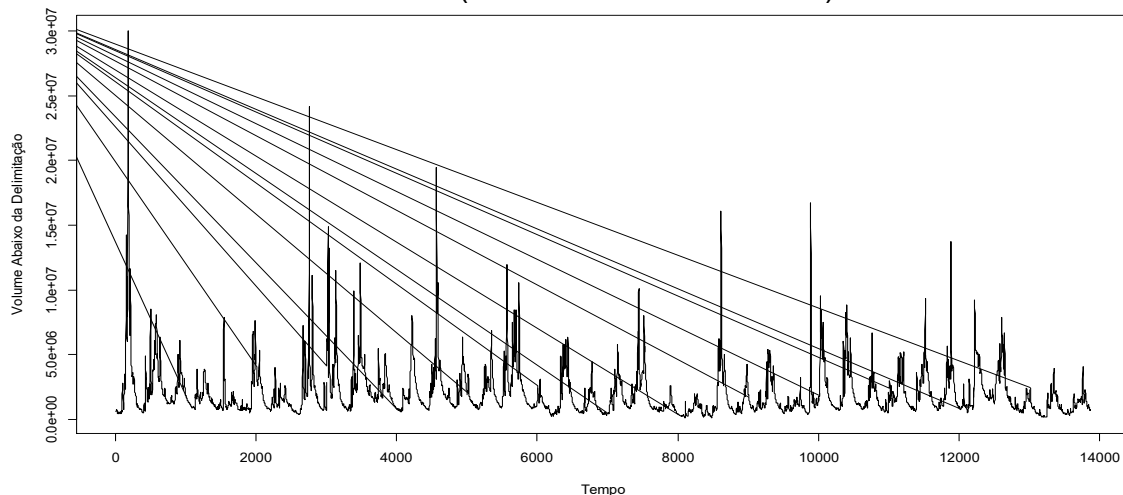
**Figura 10** - Delimitação da variabilidade da vazão – estação fluviométrica Palmares-PE: Período (01/01/1977 a 31/12/2014); 01/01 a 31/12 de 1977 em destaque.



Fonte: autoria própria.

Na figura 11, observa-se a série temporal do valor abaixo da delimitação (média diária) da estação fluviométrica Palmares para o período de 01/01/1977 a 31/12/2014, os dados foram coletados no Hidroweb (2021).

**Figura 11** - Série temporal do volume abaixo da delimitação – dados diários Período (01/01/1977 a 31/12/2014)

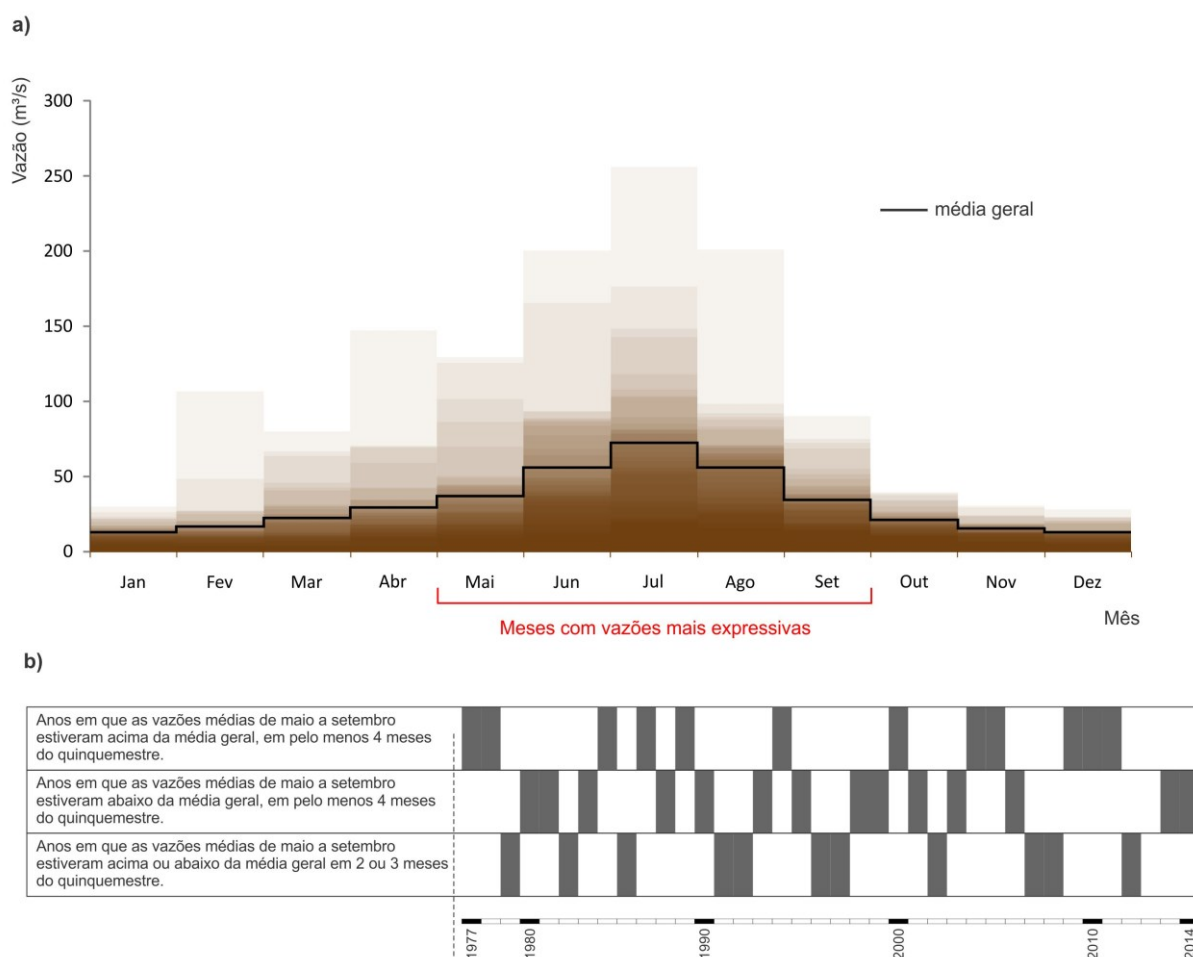


Fonte: autoria própria.

## 5.1 DEFINIÇÃO DOS MESES COM MAIORES E MENORES APORTES FLUVIOMÉTRICOS

Para contemplar período de maior garantia hídrica no ano hidrológico, foram destacados os meses com maiores vazões. Com os dados da série histórica (dados diários de 01/01/1977 a 31/12/2014 da estação fuviométrica Palmares-PE) foram calculadas as vazões médias mensais de cada ano. A média global mensal foi de 31,95 m<sup>3</sup>/s. Na Figura 12a observa-se a sobreposição dessas vazões médias e, em destaque, a média mensal de toda período analisado. Os meses de maio a setembro apresentaram valores médios de vazões acima da média global.

**Figura 12** - Vazões médias mensais – Estação Palmares-PE (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014): a) valores sobrepostos; b) anos com domínio dos valores médios de maio a setembro



Fonte: autoria própria.

Destacando esse quinquemestre de vazões mais expressivas, também foram observados que: nos anos de 1977, 1978, 1986 e 1989, os valores médios de fluxo estiveram acima da média mensal em todos os meses e, nos anos de 1984, 1994,

2000, 2004, 2005, 2009 a 2011 em, pelo menos, quatros meses; nos anos de 1981, 1983, 1987, 1993, 1995, 1998, 1999, 2001, 2003, 2006, 2012 e 2013, com valores médios abaixo da média de cada mês e, em 1980, 1990 e 2014, em pelo menos quatro meses. Demais anos, apresentaram 2 ou 3 meses com valores acima ou abaixo da média geral nos meses de maio a setembro. Todos esses anos estão discretizados na Figura 12b.

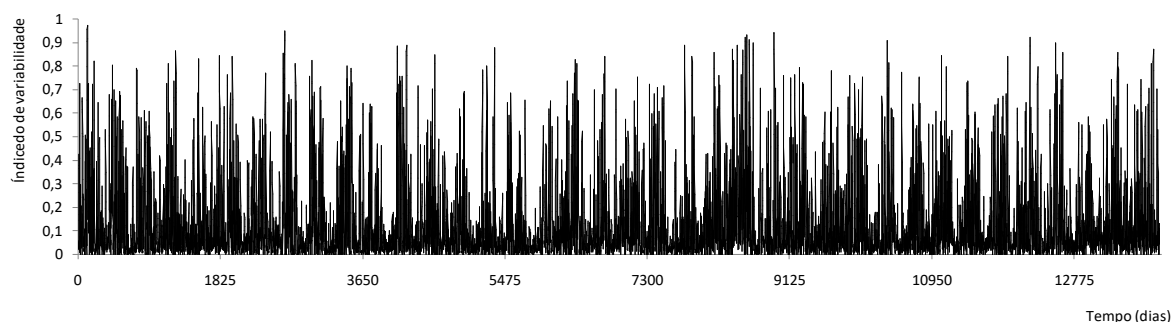
## 5.2 CONTEXTUALIZANDO COM OS ANOS DE *EL NIÑO* E *LA NIÑA*

Utilizando-se das ocorrências de El Niño e La Niña observadas por Gerólamo e Kayano (2010) (anos de 1977 a 2000) e CPTEC/INPE (2022) para os demais anos, foram confrontados com os anos dominantes dos valores médios de maio a setembro, de forma a identificar alguma relação. No entanto, foram observadas ocorrências de La Niña apenas nos anos de 1984, 1995, 1999 a 2001 e 2011 e predominância de eventos de El Niño entre 1977 e 2014, sendo assim, relação bastante heterogênea.

## 5.3 ÍNDICE DE VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO

É possível observar a proporção da vazão retirada (em relação a vazão total) após a delimitação da variabilidade, em forma índice de escoamento, como pode ser observado na Figura 13

**Figura 13** - Índice do aporte de variabilidade– estação Palmares/PE (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014)



**Fonte:** autoria própria.

A partir do índice de variabilidade (IV) (Figura 13), pode-se constatar que, considerando todo o período da série analisada (Tabela 3, Intervalo A), em média, o aporte de delimitado representou 14,5 % do escoamento, sendo os meses de março

a agosto, com valores acima dessa média (em média, 18,85% do escoamento fluvial em cada mês). Os meses de maio, junho e julho, apresentaram índices (IV) médios mensais de 0,203, 0,212 e 0,202, respectivamente. O mês de outubro correspondeu à variabilidade menos expressiva, com 7,65% do aporte fluvial.

Ainda utilizando-se do índice de variabilidade (Figura 13), considerando os anos em que as vazões médias de maio a setembro estiveram acima da média geral, em pelo menos 4 meses do quinquemestre (Tabela 3, Intervalo B): os meses de março a agosto, foram os que tiveram aporte de variabilidade acima da média nesse período (0,1615), especialmente, entre maio e junho, com  $IV = 0,2482$  e  $0,2635$ , respectivamente; o mês de outubro representou a menor variabilidade ( $IV = 0,0588$ ).

A variabilidade média mensal (Figura 13) nos anos em que as vazões médias de maio a setembro estiveram abaixo da média geral, em pelo menos 4 meses do quinquemestre (Tabela 3, Intervalo C) configurou: meses com índices acima da média (0,1355) entre abril e agosto; maior índice em junho (0,2056) e menor, em novembro, com IV de 0,1090.

Com a discretização dos demais anos, em que as vazões médias de maio a setembro estiveram acima ou abaixo da média geral, em 2 ou 3 meses do quinquemestre, o IV (Figura 13; Tabela 3, intervalo D) foi identificado que: o IV médio nesses anos, foi de 0,1401; os meses de fevereiro a agosto, apresentaram IV acima da média; maior aporte de variabilidade, em março,  $IV = 0,2104$ ; menor IV médio mensal, inclusive de todos os anos, com 4,77% do escoamento fluvial, em outubro.

**Tabela 3** - Índice médio mensal da variabilidade do escoamento - Estação Fluviométrica Palmares – PB (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014)

Intervalo (s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
A	0,1120	0,1411	0,1726	0,1791	0,2029	0,2118	0,2024	0,1625	0,1015	0,0765	0,0840	0,0940	0,1450
B	0,1251	0,1589	0,1844	0,2045	0,2482	0,2635	0,2219	0,1868	0,1261	0,0588	0,0624	0,0970	0,1615
C	0,0939	0,1227	0,1355	0,1498	0,1720	0,2056	0,1848	0,1381	0,0933	0,1118	0,1090	0,1095	0,1355
D	0,1224	0,1468	0,2104	0,1913	0,1956	0,1638	0,2052	0,1694	0,0859	0,0477	0,0734	0,0697	0,1401

Índice de variabilidade acima da média no período considerado

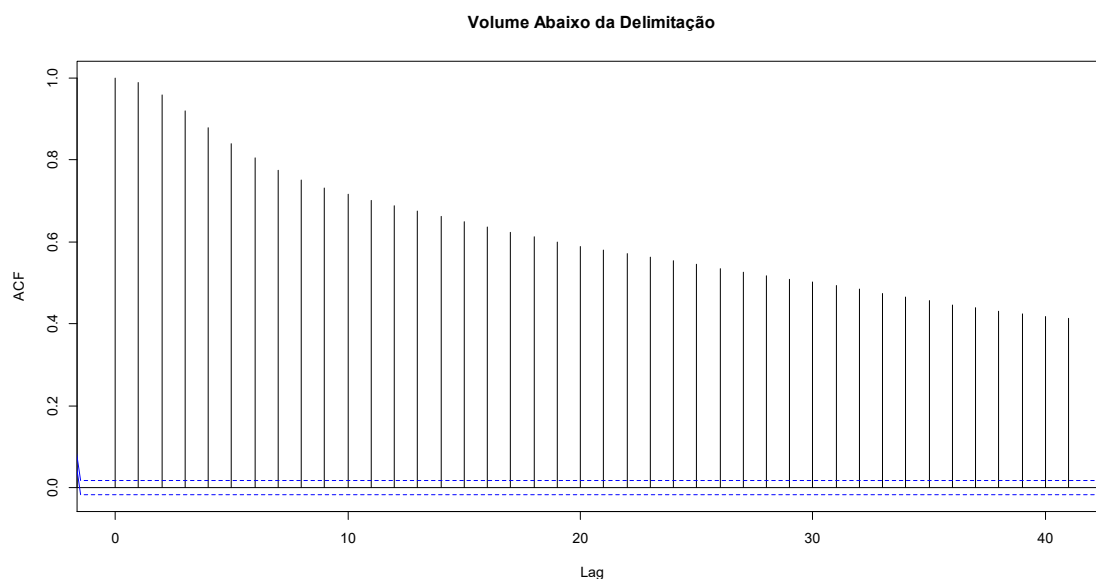
Em que: A - 01/01/1977 a 31/12/2014; B - anos em que as vazões médias de maio a setembro estiveram acima da média geral, em pelo menos 4 meses desse quinquemestre; C - anos em que

as vazões médias de maio a setembro estiveram abaixo da média geral, em pelo menos 4 meses desse quinquimestre; D - anos em que as vazões médias de maio a setembro estiveram acima ou abaixo da média geral, em 2 ou 3 meses desse quinquimestre.

#### 5.4 ABORDAGEM ESTATÍSTICA NO ESCOAMENTO APÓS FILTRO DE VARIABILIDADE

Para identificar se a série temporal, pós recorte de variabilidade, apresentou estacionariedade ou não, foi aplicada a função de autocorrelação na série estudada. E conforme o Gráfico 1, observa-se fortes indícios de uma série temporal não estacionária, isto é, uma série com média ou variância que não são constantes no tempo, o que compromete o comportamento constante da série. Desta forma, partiu-se assim para aplicação do teste de Dickey-Fuller, para verificar se a série de fato, apresenta-se como não estacionária.

**Gráfico 1 - Função de autocorrelação da série**



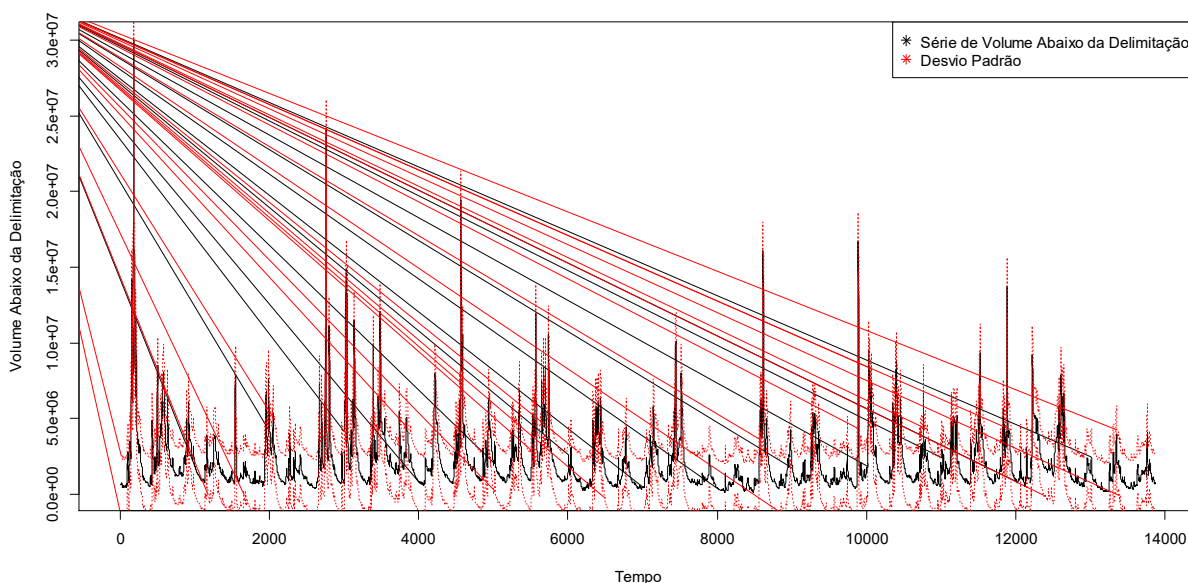
**Fonte:** autoria própria.

Para comprovar se a série temporal da estação fluviométrica Palmares encontra-se realmente de forma estacionária, foi aplicado o teste estatístico de Dickey – Fuller e, de acordo com o teste, a hipótese H0 (Série Não Estacionária) foi rejeitada ( $p - \text{valor} < 0,05$ ). Logo, em função desse teste, a série não apresentou raiz unitária, ou seja, pode-se afirmar a estacionariedade da série. Para confirmação deste fato, foi aplicado o teste de tendência de Mann-Kanndall, no sentido de detectar tendência na referida série.

De acordo com o teste, a série apresentou tendência monotônica, ou seja, tendência crescente ou decrescente. O comportamento do gráfico apresenta-se com indícios tendência decrescente. Salienta-se que, de acordo com o teste de Dickey – Fuller, a série temporal de escoamento abaixo da delimitação é estacionária. No entanto, apresenta-se com tendência (de acordo com o teste Mann-Kanndall) determinística, ou seja, é dependente apenas do tempo.

Na Figura 14, observa-se a série do volume abaixo da delimitação, e que após uma análise estatística utilizando o software R, pôde verificar certa flexibilização do uso da água. As linhas vermelhas correspondem a mais ou menos um desvio padrão para cima e para baixo respectivamente da referida série.

**Figura 14** - Delimitação da variabilidade da vazão – estação fluviométrica Palmares-PE: Período (01/01/1977 a 31/12/2014); com o desvio padrão.



**Fonte:** autoria própria.

## 5.5 ABORDAGEM DA VARIABILIDADE NO CONTEXTO DA OUTORGA

Os intervalos A e D da Tabela 3 representaram a variabilidade global de toda a série analisada e a variabilidade de domínio heterogêneo dos meses (maio a setembro) acima e abaixo da média mensal, respectivamente. Assim sendo, os dois intervalos, B e C da Tabela 3, destacaram os extremos (anos mais e menos caudalosos na série histórica - entre maio a setembro) de forma a representar vertentes que apoiam o contexto de tomada de decisões para anos de cheias e anos de seca.

Assim sendo, discretizando-se os meses dominantes de escoamento, supracitados (maio a setembro) pode-se propor, sob um contexto normativo diferenciado, o uso de aporte superior à vazão referencial nesses meses sob duas vertentes: a) uma mais conservadora, segundo média de vazões reduzidas; e b) uma menos conservadora, sob as médias de escoamento mais expressivos.

Destarte, considerando os meses mais expressivos de toda a série temporal analisada (janeiro/1977 a dezembro/2014), maio a setembro (Figura 12), pode-se enfatizar: a variabilidade média de 23,01% nos meses de maio a agosto com foco nos anos com maior abundância hídrica da série histórica; e a variabilidade média de 17,51%, também nos meses de maio a agosto, em anos com menor carga hídrica na série histórica.

O uso dessas proporções de variabilidade juntamente com os meses com maior segurança hídrica, pode apoiar na flexibilização da outorga, oferecendo valores acima da vazão referencial, como na Q90 (na série analisada, em 8,05 m<sup>3</sup>/s). Por outro lado, a proporção da variabilidade, pode assegurar, também, aporte de apoio ao hidrograma ambiental, para além de uma porcentagem da vazão referencial como observa-se na literatura desse tema (BENETTI et al., 2003; PINTO et al, 2016; SARMENTO, 2007).



## 6 CONCLUSÃO

A oscilação da vazão pode ser uma perspectiva inicial importante ante o comportamento sensível à sazonalidade hídrica na bacia, como no caso dos registros fluviais da estação Palmares-PE no período desta pesquisa abordado. Nesse sentido, os índices de variabilidade podem acrescentar informação como segurança hídrica em uma abordagem de flexibilização do valor da outorga tendo em vista uma faixa fixa, como na vazão referencial, seja para o aproveitamento hídrico ou, sobre outra vertente, pela garantia de aporte ambiental.

Não foram observadas correlações com os dois principais eventos precipitantes: El Niño e La Niña com os meses/anos mais e menos expressivos e respectivos índices de variabilidade da série histórica de vazões diárias de Palmares-PE, aplicada nesta pesquisa.

A abordagem estatística, pós recorte de variabilidade do escoamento, condicionou a uma série estacionária. No entanto, tem uma tendência determinística (de acordo o teste de Mann-Kandall), ou seja, depende apenas do tempo.

Atenta-se que, a vazão de outorga perpassa o limiar de uma vazão fixa, pois envolve sistemas complexos de diferentes usos e usuários, com caráter temporal e espacial dinâmico de entrada e saídas de demandas. Os resultados aqui expostos, expressam um auxílio na visão de uso da água nos meses de maior oferta, buscando apoiar a vazão de referência para outorga.

## REFERÊNCIAS

ABOELNOUR, M. A.; ENGEL, B. A.; FRISBEE, M. D.; GITAU, M. W.; FLANAGAN, D. C. Impacts of watershed physical properties and land use on baseflow at regional scales. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 35, p. 100810, 2021.

ADDOR, N.; DO, H. X.; ALVAREZ-GARRETON, C.; COXON, G.; FOWLER, K.; MENDOZA, P. A. Large-sample hydrology: recent progress, guidelines for new datasets and grand challenges, **Hydrolog. Sci. J.**, 65, 712–725, 2020.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, n. 1-4, p. 94-101, 2009.

ALCÂNTARA, L. R. P. de; COUTINHO, A. P.; SANTOS NETO, S. M. dos; MELO, T. dos A. T. de; COSTA, L. F.; RIBAS, L. V. da S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M. Modelos probabilísticos para eventos de precipitações extremas na cidade de Palmares-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 04, p. 1355-1369, 2019b.

ALCÂNTARA, L. R. P. de; MARTINS, L. A.; COSTA, I. R. de A.; BARROS, V. H. de O.; SANTOS NETO, S. M. dos; COUTINHO, A. P.; ANTONINO, A. C. D. Avaliação de modelos probabilísticos para chuvas intensas nas mesorregiões do estado de Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 1, p. 090-103, 2019a. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.1.2019.2332.090-103>

ALMEIDA, M. A. de; CURI, W. F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, p.989-1005, 2016. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>

ANA. Agência Nacional das Águas 2021. **HidroWeb**: Séries históricas. Disponível em [www.hidroweb.ana.gov.br/](http://www.hidroweb.ana.gov.br/). Acesso em: Janeiro de 2021b.

ANA. Agência Nacional de Águas (2013b) **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Cobrança pelo uso de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2014. 80 p. il. -- (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos; v.7).

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: Relatório Pleno** / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2021a Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/gestao-da-agua>. Acesso em: maio de 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019b. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: março de 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: março de 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos/Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2019a. Disponível em: [www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana\\_encarte\\_outorga\\_conjuntura2019.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana_encarte_outorga_conjuntura2019.pdf). Acesso em: março de 2021.

ANA. Agência Nacional de águas. **Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos**. Unidade 1, 2013a. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/alternativasOrganizacionaisGestaoRecursosHidricos.pdf>Acesso: setembro de 2020.

ANA. Outorga de direito de uso de recursos hídricos. **Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos Recursos Hídricos**. Volume 6. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, 2011. Disponível em: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br) Acesso em: setembro de 2020.

ANDRADE, A. R. S.; NETO, A. H. G.; DA SILVA CRUZ, A. F.; DE ANDRADE, E. K. P.; DOS SANTOS, V. F.; DA SILVA, T. N. P. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 126-145, 2018.

ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 565-57, 2015.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima 2021. Disponível em: [http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5](http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5). Acesso em: abril de 2021.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima 2022. Disponível em: [http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=23](http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=23). Acesso em: maio de 2022.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atualização do plano estadual de recursos hídricos de Pernambuco – PERH|PE. Produto 1- Plano de trabalho detalhado**. Janeiro, 2020a. Disponível em: [www.perhpe.com.br/downloads/baixar/SIRH\\_PE\\_PERH\\_UP\\_R03.pdf](http://www.perhpe.com.br/downloads/baixar/SIRH_PE_PERH_UP_R03.pdf). Acesso em maio de 2021

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012**, 2013. Disponível em: [www.lai.pe.gov.br/apac/wp-content/uploads/sites/9/2019/03/Relat%C3%B3rio-de-situa%C3%A7%C3%A3o-de-recursos-h%C3%ADricos-do-Estado-de-Pernambuco-APAC-2011-2012.pdf](http://www.lai.pe.gov.br/apac/wp-content/uploads/sites/9/2019/03/Relat%C3%B3rio-de-situa%C3%A7%C3%A3o-de-recursos-h%C3%ADricos-do-Estado-de-Pernambuco-APAC-2011-2012.pdf). Acesso em: abril de 2021

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Unidades de Planejamento adotadas no PERH|PE. Produto 2 – Relatório de avaliação do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1998**. Janeiro, 2020b. Disponível em: [www.perhpe.com.br/downloads/baixar/SIRH\\_PE\\_PERH\\_PERH98\\_R02-compactado.pdf](http://www.perhpe.com.br/downloads/baixar/SIRH_PE_PERH_PERH98_R02-compactado.pdf). Acesso em: maio de 2021

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Una e Grupos de Bacias Litorâneas GL4 e GL5: Tomo V – Mapas**. 2019. Disponível em:

[https://www.apac.pe.gov.br/images/media/1649790852\\_TOMO%20V%20-%20Mapas.pdf](https://www.apac.pe.gov.br/images/media/1649790852_TOMO%20V%20-%20Mapas.pdf). Acesso em: Julho de 2022

ARTHINGTON, A. H.; BHADURI, A.; BUNN, S. E.; JACKSON, S. E.; THARME, R. E.; TICKNER, D.; YOUNG, B.; ACREMAN, M.; BAKER, N.; CAPON, S.; HORNE, A. C.; KENDY, E.; MCCLAIN, M. E.; POFF, N. L.; RICHTER, B. D. & WARD, S. The Brisbane declaration and global action agenda on environmental flows (2018). **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, p. 45, 2018.

ARTHINGTON, A.H.; KENNEN, J.G.; STEIN, E.D.; WEBB, J.A Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. **Fresh water Biology**, v. 63, n. 8, p. 1022-1034, 2018a.

BATISTA, A. L. F. **Modelos de séries temporais e redes neurais artificiais na previsão de vazão**. 2009. 79p. Dissertação (Mestrado em engenharia de sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1918>

BARBASSA, A. P.; CAMPOS, J. B. N. Comportamento hidrológico de áreas urbanas impermeabilizadas diretamente conectadas e total. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.15, n.4, p. 69-79, 2010.

BASTOLA, S.; SEONG, Y.; LEE, D.; YOUN, I.; OH, S.; JUNG, Y.; CHOI, G.; JANG, D. Contribution of baseflow to river streamflow: study on Nepal's Bagmati and Koshi basins. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, n. 11, p. 4710-4718, 2018.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 149-160, 2003.

BONECKER, C. C. et al. Synergistic effects of natural and anthropogenic impacts on zooplankton diversity in a subtropical floodplain: a long-term study. **Oecologia Aust.**, v. 24, p. 524-537, 2020.

BORK, C.K. **Regionalização de vazões mínimas para o estado do Rio Grande do Sul**, 2018. 256 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas 2018. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3981>

BRASIL. **Decreto n. 24.643, de 10 de julho de 1934**. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/legislacao>. Acesso em: setembro de 2020

BRASIL. **Lei n. 14.026, de 15 de Julho de 2020**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art2](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art2). Acesso em: abril de 2021.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, DF, 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: setembro de 2020.

BUENAGA, F. V. A. S. C. **Alternativa metodológica para definição da vazão ecológica em trechos de vazão reduzida em hidrelétricas**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado em Planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2019.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, v. 30, n. 4, p. 492-507, 2002. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>

CAVAZZANA, G. H.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G. Surface-groundwater interaction in unconfined sedimentary aquifer system in the Brazil's tropical wet region. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 8, 2019.

CHAGAS, V.B.P; CHAFFE, P.L.B. Não-estacionariedade é inevitável! Causas das recentes mudanças de vazão no Brasil. **Proceedings of the XXIII SBRH 2019**, 2019.

CHECHI, L.; BAYER, F. M. Modelos univariados de séries temporais para a previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.16, n.12, 2012.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: agosto de 2021.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L da. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. **Revista Rega–Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 4, n. 2, 2007.

CURI, W. F.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; BARBOSA, A. C. L. Um modelo de outorga para bacias controladas por reservatórios: Desenvolvimento do modelo que contempla demandas múltiplas e variáveis mensalmente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, p. 73-82, 2011.

CONDOM, T.; MARTÍNEZ, R.; PABÓN, J. D.; COSTA, F.; PINEDA, L.; NIETO, J. J., LÓPEZ, F.; VILLACIS, M. Climatological and hydrological observations for the South American Andes: in situ stations, satellite, and reanalysis data sets. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, p. 92, 2020.

DA SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 19, n. 3, p. 244-254, 2011.

DICKEY, D. A.. **Estimation and Hypothesis Testing in Nonstationary Time Series**. Iowa State University, Ames, IA. 1976.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with units root. **Journal of the American Statistical Association**, Whashington, v.74, n.366, p.427-31, 1979.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica: jornal of the Econometric Society**, p. 1057-1072, 1981.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral, **Síntese da Geologia da Pernambuco**. 2007. Disponível em: [https://www.dnpmpe.gov.br/Sint\\_PE/SintesePE\\_03.htm](https://www.dnpmpe.gov.br/Sint_PE/SintesePE_03.htm). Acesso em: maio de 2021

DUARTE, V. B. R.; da Silva, F. D. C. S.; SOUZA, I. V.; Silva, M. V. C.; DE ALMEIDA SOUSA, H. G.; GIONGO, M.; VIOLA, M. R. Previsão de vazão na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade utilizando o modelo de séries temporais SARIMA. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 4, p. 457-468, 2019.

GAVRILOV, M.B.; TOŠIĆ, I.; MARKOVIĆ, S. B.; UNKAŠEVIĆ, M.; PETROVIĆ P. Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. **Időjárás**, v. 120, n. 2, p. 183-198, 2016.

GAZZONI, D. L. Como alimentar 10 bilhões de cidadãos na década de 2050? **Ciência e Cultura**. v. 69, n. 4, p. 33-38, 2017. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S000967252017000400012&script=sci\\_arttext&lng=es](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S000967252017000400012&script=sci_arttext&lng=es). Acesso em: setembro de 2020

GERÓLAMO, R. O. P. & KAYANO, M. T. Variações do ciclo anual da Temperatura da Superfície do Mar do Pacífico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.237 – 245, 2010.

GHIZZO FILHO, J.; FREITAS, P. F.; NAZÁRIO, N. O.; DE ARAÚJO PINTO, G., NUNES, R. D., & SCHLINDWEIN, A. D. Análise temporal da relação entre leptospirose, níveis pluviométricos e sazonalidade, na região da Grande Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2005-2015. **Arquivos Catarinenses de Medicina**, v. 47, n. 3, p. 116-132, 2018.

GRANZIERA, M. L. M. A fixação de vazões de referência adequadas como instrumento de segurança jurídica e sustentabilidade ambiental na concessão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos. **Revista de Direito Ambiental**, v. 70, p. 127-148, 2013.

GROWNS, I.; MURPHY, J. F.; JONES, J. I. The effects of altered flow and bed sediment on macroinvertebrates in stream mesocosms. **Marine and Fresh water Research**, v. 68, n. 3, p. 496-505, 2017.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. S.; MANKE, E. B. Tendências em séries temporais de precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 283-291, 2019.

GONÇALVES, F. N.; BACK, Á. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018.

HAGEDORN, B. Hydrograph separation through multi objective optimization: Revealing the importance of a temporally and spatially constrained base flow solute source. **Journal of Hydrology**, v. 590, p. 125349, 2020.

HAGEDORN, B.; MEADOWS, C. Trend Analyses of Baseflow and BFI for Undisturbed Watersheds in Michigan — Constraints from Multi-Objective Optimization. **Water**, v. 13, n. 4, p. 564, 2021.

HALLOUIN, T.; BRUEN, M.; CHRISTIE, M.; BULLOCK, C.; KELLY-QUINN, M. Challenges in using hydrology and water quality models for assessing freshwater ecosystem services: a review. **Geosciences**, v. 8, n. 2, p. 45, 2018.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water resources research**, v. 20, n. 6, p. 727-732, 1984.  
<https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>. Acesso em: junho de 2022

HERTHER, C. C. K. **Vazões ecológicas na bacia hidrográfica do Rio Piquiri**. 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016. Disponível em:  
<https://tede.unioeste.br/handle/tede/3040>

ILBAY-YUPA, M., ZUBIETA, B.R; LAVADO-CASIMIRO, W. Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la cuenca del río Guayas, Ecuador. LA GRANJA. **Revista de Ciencias de la Vida**, v. 30, n. 2, p. 57-76, 2019.

ITEP - INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO . **UGP Barragens. Estudo de Impacto Ambiental – EIA: Sistema de controle de cheias da Bacia do Rio Una, Barragem Serro Azul**. Recife, 2011.

JUNIOR, A.; GONÇALVES, E. A. P. Avaliação da bacia do rio Una-Pernambuco: perspectiva da qualidade da água após a construção de 4 barragens para contenção de cheias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 02, p. 612-627, 2018.

KENDALL, M. G., Rank Correlation Methods, 4th ed., **Charles Griffin**: London, 1975.

LEMO, A. F; SILVA, D. D da; MARQUES, F. A.; Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. **Engenharia na Agricultura (Impresso)**, v. 17, p. 392-403, 2009.

LIRA, B. R. P. LOPES, L. D. N. A.; CHAVES, J. R.; SANTANA, L. R.; FERNANDES, L. L. Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 426-439, 2020.

LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 20, p. 33–48, 2011.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. D. A. S. D.; SILVA, F. D. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L. D.; ATAIDE, K. R. D. P. Previsões de Vazões Mensais na Bacia Hidrográfica do Xingu-Leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 1045-1056, 2020.

MACHADO, S. L. D.; SILVA, C. R.; ARAÚJO, A. A. Descrição temporal do comportamento do Cerrado sensu strictu usando séries temporais. **Ciência e Natura**, v. 40, n. 30, p. 1-10, 2018.

MANZIONE, R. L. **Análise de séries temporais e mapeamento de características das águas subterrâneas a partir de dados de monitoramento**. São Paulo: Instituto Água Sustentável, 2018. 186p.

MANN, Henry B. "Nonparametric Tests Against Trend." **Econometrica**, vol. 13, no. 3, p. 245–59, 1945 <https://doi.org/10.2307/1907187>. Acesso em: abril de 2022.

MARQUES, F. A.; SILVA D.; RAMOS M.; PRUSKI F. Sistema multi-usuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n 4, p 51-69, 2009.

MARQUES, F. A. **Sistema multiusuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3649>

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. Disponível em: [doi:10.4136/ambi-agua.179](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.179) Acesso em: abril de 2021.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIRANDA, A. C. R. **Direct runoff from baseflow separation methods: case study for the Rio das Velhas watershed**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Construções rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecanização agrícola; Processamento de produ) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MIRANDA, A. C. R.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: estudo de caso para a bacia do Rio das Velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente: **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Síntese Executiva, Secretaria de Recursos Hídricos. - Brasília, 2006.

MORAIS, J. L. M.; FADUL, E.; CERQUEIRA, L. S. Limites e desafios na Gestão de Recursos Hídricos por Comitês de bacias hidrográficas um estudo nos estados do nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 24, n 1, p. 238-264, 2018. Disponível em:



[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1413-23112018000100238&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1413-23112018000100238&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: novembro de 2020.

MOREIRA, J. G. V.; AQUINO, A. P. V.; MESQUITA, A. A.; MUNIZ, M. A.; SERRANO, R.O. P. Stationarity in Annual Daily Maximum Streamflow Series in the Hydrographic Basin of the Upper Juruá River, western Amazon. **Revista brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 2, p. 705-713, 2019.

MORETIN, P. A. & TOLOI, C. M. C. Análise de Séries Temporais. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Análise de series temporais. 2 ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006.

OH, Y. H.; KOH, D. C.; KWON, H. I.; JUNG, Y. Y.; LEE, K. Y.; YOON, Y. Y.; HA, K. Identifying and quantifying groundwater inflow to a stream using  $^{220}\text{Rn}$  and  $^{222}\text{Rn}$  as natural tracers. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 33, p. 100773, 2021.

OLIVEIRA, A. S. de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 59-67, 2020.

OLIVEIRA, C. M.; AMARANTE JUNIOR, O. P. . Evolução das regras jurídicas internacionais aplicáveis aos recursos hídricos. **Revista de Direito Ambiental**, v. 80, p. 423-450, 2015. Disponível em: [https://escolasuperior.mppr.mp.br/arquivos/File/Biblioteca/05-20\\_3\\_Encontro\\_Anual\\_da\\_Rede\\_Ambiental/RTDoc16\\_5\\_11\\_12\\_46\\_PM\\_1.pdf](https://escolasuperior.mppr.mp.br/arquivos/File/Biblioteca/05-20_3_Encontro_Anual_da_Rede_Ambiental/RTDoc16_5_11_12_46_PM_1.pdf). Acesso em: março de 2021.

OPPERMAN, J. J., KENDY, E., THARME, R. E., WARNER, A. T., BARRIOS, E., & RICHTER, B. D. A three-level framework for assessing and implementing environmental flows. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, p. 76, 2018. Acesso em: março de 2021

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU; 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: julho de 2022

PASSOS, F. O. **Avaliação de impactos de mudanças no uso e manejo do solo sobre as vazões da Bacia do Ribeirão José Pereira, utilizando o Modelo SWAT**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/748>

PERNAMBUCO. Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL4 e GI 5. SEPLAN, Recife, 84p. 2006

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. Porto Alegre: Artmed, p. 228, 2016.

PINTO, V. G.; RIBEIRO, C. B. M.; SILVA, D. D. Vazão ecológica e o arcabouço legal brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 91-109, 2016.

POFF, N. L. Beyond the natural flow regime? Broadening the hydro-ecological foundation to meet environmental flows challenges in a non-stationary world. **Freshwater Biology**, v. 63, n. 8, p. 1011-1021, 2018.

POFF, N. L.; THARME, R. E.; ARTHINGTON, A. H. Evolution of environmental flows assessment science, principles, and methodologies. In: HORNE, A. C.; WEBB, J. A.; STEWARDSON, M. J.; RICHTER, B.; ACREMAN, M. (eds.). **Water for the environment**. Elsevier, p. 203-236, 2017.

QUIMPO, R. G.; ALEJANDRINO, A. A.; McNally, T.A. Regionalized Flow Duration for Philippines. **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 109, n.4, 1983.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. Instrumentos regulatórios e econômicos – aplicabilidade à gestão de águas e à bacia do Rio Pirapama, PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 4, p. 41-70, 2001.

RIBEIRO, T. B. **Estimativa e Regionalização das vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Branco-RR, como suporte à gestão dos recursos hídricos**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/1717>

RIZZARDI, A.S.; RIGHES, A.A.; KEMERICH, P.D.C.; SILVA, R.F.; SANTOS, S.A.; BORDA, W.F. Atributos físicos e fluxo de água em solos da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim - RS. **Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3690-3701, 2014 <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814260>

RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; MORAIS, M. A. V. Hydrological regionalization of streamflows for the Tocantins River Basin in Brazilian Cerrado biome. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, 2021.

ROSSITER, K. W. L. **Efeito da redução da vazão efluente do reservatório de Sobradinho na qualidade da água a jusante, sob o enfoque da vazão ecológica**. 2017. 216f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia Química, 2017.

SANTOS, A. A. M. **Alocação territorial de longo prazo de vazões outorgáveis com diferentes garantias**. 2010. 202f. Doutorado (Tese em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2010.

SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FARIAS, M. H. C. S.; AIRES, U. R. V.; SERRÃO, E. A. O. Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do rio Pardo. **Holos**, v. 7, p. 179-193, 2016.

SARMENTO, R. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo**. UNESCO/ANA/CBHSF, Brasília-DF, 2007

SHAXSON, T. F.; BARBER, R. G. Optimizing soil moisture for plant production: The significance of soil porosity. **Food & Agriculture Org.**, 2003. Disponível em: [www.fao.org/3/y4690e/y4690e00.htm](http://www.fao.org/3/y4690e/y4690e00.htm). Acesso em: maio de 2021

SNEYERS, R. **Surl' analys estatistique des séries d'observations**. Secrétariat de l'Organisation Météorologique Mondiale, 1975.

SILVA, B. M. B. da; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 623-634, 2015.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos. MMASRH-ABEAS-UFV. Brasília-DF. 2001.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens In: Machado, C. J. S. (Org.). **Gestão de águas doces**. Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, p.135-178, 2004.

SILVA, M. J.; QUEIROZ, M.G.; JARDIM, A.M.R.F.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; SILVA, T.G.F. Gradientes pluviométricos do estado de Pernambuco: Uma análise do Litoral ao Semiárido. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 240-249, 2018.

SINGH, S.K.; PAHLOW, M.; BOOKER, D.J.; SHANKAR, U.; CHAMORRO, A. Towards baseflow index characterisation at national scale in New Zealand. **Journal of Hydrology**, v. 568, p. 646-657, 2019.

TAIE SEMIROMI, M.; KOCH, Manfred. How Do Gaining and Losing Streams React to the Combined Effects of Climate Change and Pumping in the Gharehsoo River Basin, Iran?. **Water Resources Research**, v. 56, n. 7, p. e2019WR025388, 2020.

THARME, R. E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. **River research and applications**, v. 19, n. 5-6, p. 397-441, 2003.

THEODORO, H. D.; MATOS, F. **Governança e Recursos Hídricos: Experiências Nacionais e Internacionais de gestão**. Editora D'Plácido, Belo Horizonte, 2015.

Disponível em:

[https://cdnv2.moovin.com.br/livrariadplacido/imagens/files/manuais/481\\_governanca-e-recursos-hidricos-experiencias-nacionais-e-internacionais-de-gestao.pdf](https://cdnv2.moovin.com.br/livrariadplacido/imagens/files/manuais/481_governanca-e-recursos-hidricos-experiencias-nacionais-e-internacionais-de-gestao.pdf). Acesso em: março de 2021

TONKIN, J.D., OLDEN, J.D., MERRITT, D.M., REYNOLDS, L.V., ROGOSCH, J.S., Lytle, D.A. Designing flow regimes to support entire river ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 6, p. 326-333, 2021.

<https://doi.org/10.1101/2020.01.09.901009>

TRÖGER, F. H.; PANTE, A. R. Análise de estacionariedade em séries de vazões naturais médias anuais de estações da bacia do rio Tapajós. **Proceedings of the Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Campo Grande, Brazil**, p. 22-26, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrograma ambiental**. Outubro 2009. Disponível em: <http://blog.rhama.net/2009/10/04/hidrograma-ambiental/>. Acesso em: março de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 944p.

TUCCI, C. E. M. Urbanização e Recursos Hídricos. pp. 113-128. In BICUDO, C. E. M. et al. (orgs.) **Águas do Brasil. Análises Estratégicas**. Academia Brasileira de Ciências; Secretaria do Meio Ambiente. Estado de São Paulo. 222 pp. 2010.

TUCCI, C.E.M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre- RS. ABRH Vol 8 n.2 (abr/jun) p. 195-199, 2003. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/arthu03.pdf>. Acesso em: março 2021

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica. MMA/SQA, Brasília, DF. 2006, 300p. Acesso em: setembro de 2020.

VIEIRA, S. A.; OSORIO, D. M. M.; QUEVEDO, D. M.; ADAM, K. N.; PEREIRA, M. A. F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas para avaliação de impactos das mudanças climáticas—bacia do rio dos Sinos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 189–204, 2018.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WINTER, T.C.; HARVEY J.W.; FRANKE, O.L., and ALLEY, W.M. Natural processes of ground-water and surface-water interaction. **Ground Water And Surface Water A Single Resource**. United States Geological Survey. 2016 Disponível em: [https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/htdocs/natural\\_processes\\_of\\_ground.htm](https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/htdocs/natural_processes_of_ground.htm)

YANG, W.; XIAO, C.; LIANG, X. Analytical sensitivity analysis and uncertainty estimation of baseflow index calculated by a two-component hydrograph separation method with conductivity as a tracer. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 2, p. 1103-1112, 2019.

ZHANG, J., ZHANG, Y., SONG, J.; CHENG, L. Evaluating relative merits of four baseflow separation methods in Eastern Australia. **Journal of hydrology**, v. 549, p. 252-263, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.04.004>.

ZHANG, Y., AHIBLAME, L., ENGEL, B., LIU, J. Regression modeling of baseflow and baseflow index for michigan USA. **Water**, v. 5, p. 1797–1815, 2013, DOI: 10.3390/w5041797.

**APÊNDICE A**

**RELATÓRIO TÉCNICO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**RELATÓRIO TÉCNICO**

**RECORTE DA VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO FLUVIAL: ESTAÇÃO  
PALMARES/PE.**

*Este relatório é referente à metodologia que mensura o aporte de variabilidade do escoamento fluvial na Estação Fluviométrica Palmares, localizada na bacia hidrográfica do rio Una no estado de Pernambuco no período de 01/01/1977 a 31/12/2014, sob a autoria do Engenheiro de Biosistemas **José Jefferson Barros Pires**, referente à parte de Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande.*

## Introdução

Um dos fortes capítulos da hidrologia refere-se à análise do escoamento fluvial, destacando-se em especial em duas vertentes: o escoamento superficial direto e escoamento subterrâneo. Nessa abordagem constata-se a proporção hídrica nas diferentes vias de escoamento no fluxo de uma bacia, apoiando na identificação da relação de conversão entre águas subterrâneas e superficiais; além de ser uma condição necessária para a alocação ótima de recursos hídricos (YANG; XIAO; LIANG, 2019). Essa separação pode ser aplicada na análise de hidrogramas (série temporal de vazões), cuja área abaixo da curva representa o volume escoado no período abordado.

O índice de escoamento de base IB (Baseflow Index – BFI) é definido como a razão entre o fluxo de base médio de longo prazo e o fluxo total (AKSOY; KURT; ERIS, 2009; SINGH et al., 2019). Esses fluxos podem ser calculados através da razão entre as áreas abaixo das respectivas curvas no hidrograma. Neste parâmetro identifica-se o domínio do escoamento subterrâneo frente ao fluxo total, consequentemente, ao longo do ano hidrológico identifica-se os meses com maior expressividade do escoamento superficial direto.

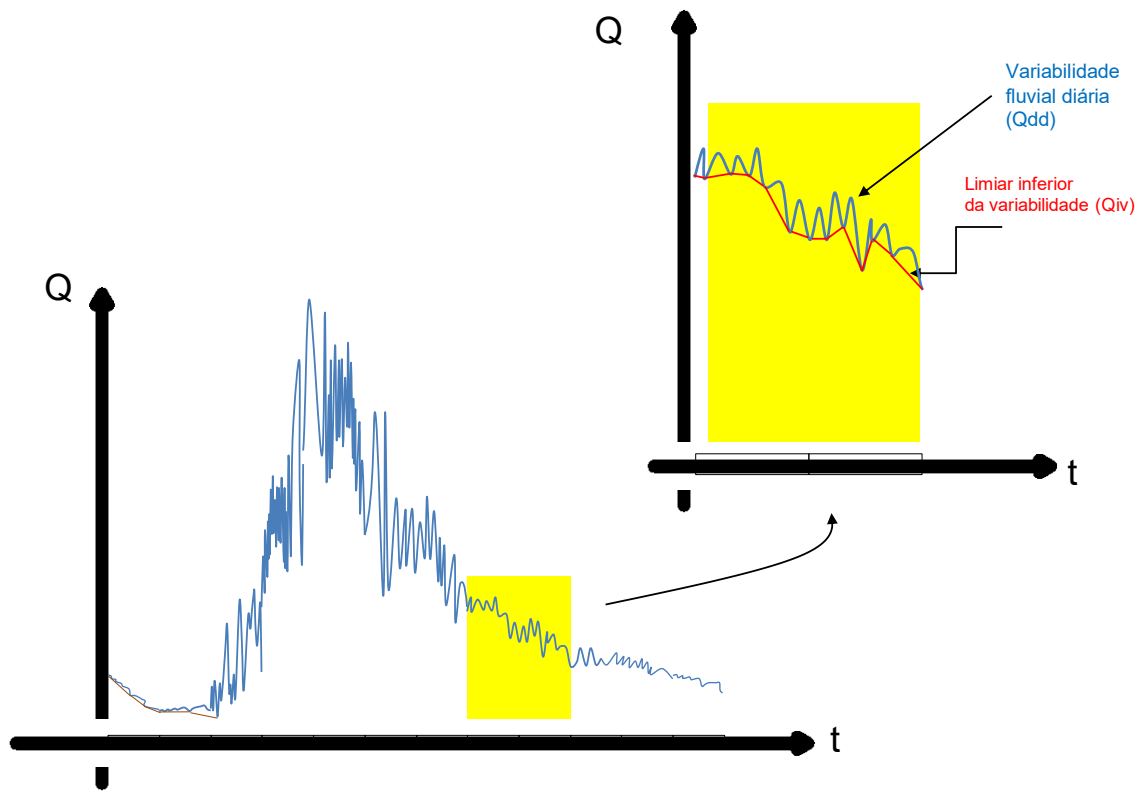
O presente relatório confere uma abordagem adaptativa do BFI aplicando-se na variabilidade do escoamento como aporte proporcional ante ao aporte total (vazão fluvial) (Figura 1) aplicando-se na escala diária. Aqui definido como IV (índice de variabilidade), como sendo:

$$IV = \frac{\int Q_{dd}(t) - \int Q_{iv}(t)}{\int Q_{dd}(t)} \quad (1)$$

Em que,  $Q_{dd}$  é a variabilidade fluvial diária e  $Q_{iv}$ , a delimitação da variabilidade da vazão. Essas integrais dispostas na Equação 1, ou seja, áreas abaixo de cada traçado (Figura 1), representam volumes: fluvial (vazão total, área abaixo de  $Q_{dd}$ ), da variabilidade de vazão (área entre  $Q_{dd}$  e  $Q_{iv}$ ) e do traçado das inflexões da variabilidade fluvial (abaixo de  $Q_{iv}$ ).

Com o IV, mensura-se o domínio da perturbação de escoamento superficial direto ante o volume total.

Figura 1: Separação da variabilidade de fluxo com foco na metodologia para um período determinado na série temporal



Fonte: autoria própria

## Área de estudo

A área de estudo fica localizada no litoral sul do estado do Pernambuco e foi escolhida a Unidade de Planejamento Hídrico (UP7) que corresponde à bacia do Rio Una, e possui uma área de 6.740,31 km<sup>2</sup>, dos quais 6.262,78 km<sup>2</sup> estão localizados no estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37% do total estadual. A bacia abrange 42 municípios, dos quais 11 estão totalmente inseridos na bacia (Belém de Maria, Catende, Cupira, Ibirajuba, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Maraial, Palmares, Panelas, São Benedito do Sul e Xexéu), 15 têm sua sede inserida na bacia (Água Preta, Agrestina, Altinho, Barreiros, Bonito, Cachoeirinha, Calçado, Capoeiras, Jucati, Jupi, Jurema, Lajedo, Quipapá, São Bento do Una e São Joaquim do Monte) e 16 estão parcialmente inseridos (Barra de Guabiraba, Bezerros, Caetés, Camocim de São Félix, Canhotinho, Caruaru, Gameleira, Joaquim Nabuco, Pesqueira, Rio Formoso, Sanharó, São Caetano, São José da Coroa Grande, Tacaimbó, Tamandaré e Venturosa) (APAC, 2022).

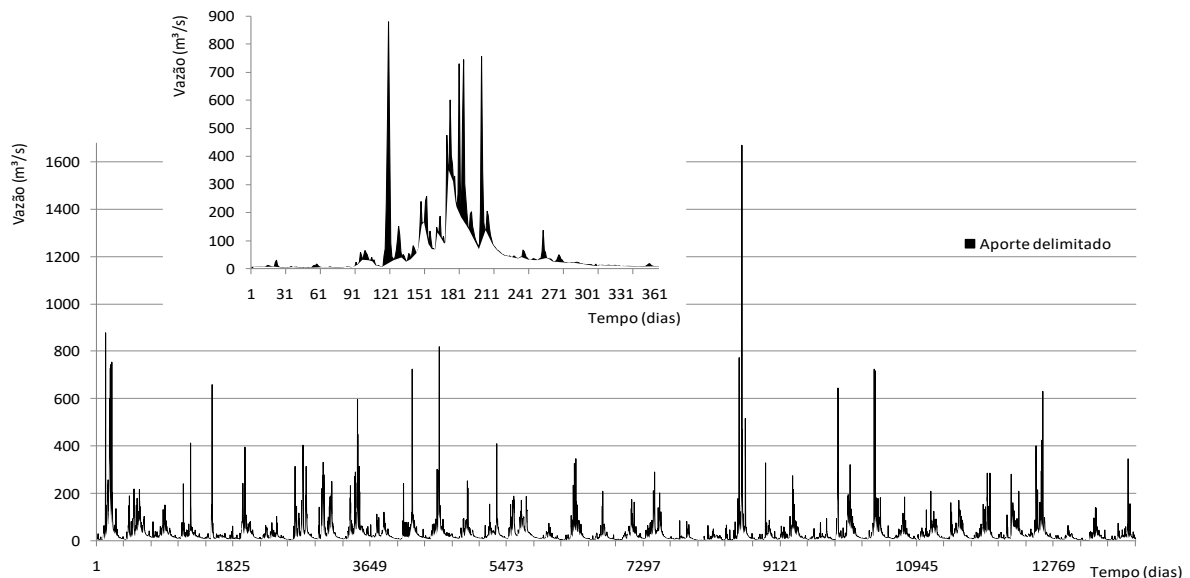


A Estação Fluviométrica Palmares é uma das estações de monitoramento de nível de água localizada no estado de Pernambuco. Essa estação está localizada na cidade de Palmares/PE, às margens do Rio Una que é o principal curso d'água da região com uma extensão de 290 km (ITEP, 2011).

### Delimitação da variabilidade de fluxo

Na Figura 2, observa-se a delimitação da variabilidade da vazão segundo a metodologia proposta, aplicada na estação fluviométrica de Palmares-PE. Também observa-se nessa Figura, o ano de 1977 em destaque, de maneira a apoiar melhor visualização da referida delimitação.

Figura 2: Delimitação da variabilidade da vazão – estação fluviométrica Palmares-PE: Período (01/01/1977 a 31/12/2014); 01/01 a 31/12 de 1977 em destaque.

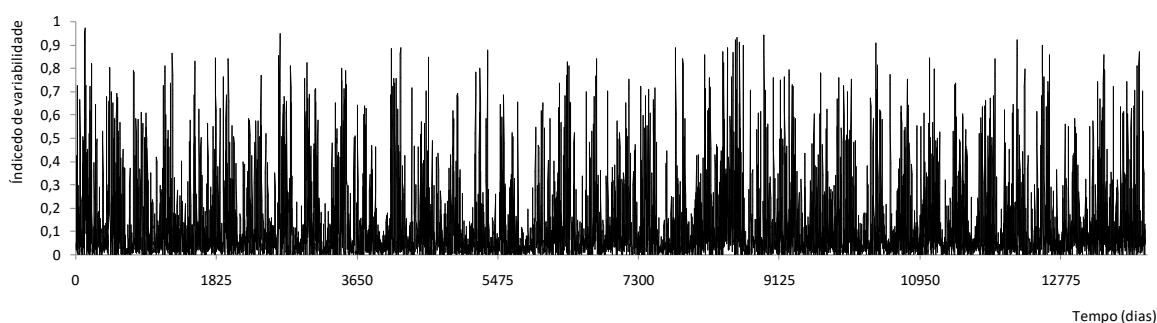


Fonte: autoria própria

### Índice de variabilidade do escoamento

É possível observar a proporção da vazão de recorte (em relação a vazão total) após a delimitação da variabilidade, em forma índice de escoamento, como pode ser observado na Figura 3:

Figura 3: Índice do aporte de variabilidade– estação Palmares/PE (Período: 01/01/1977 a 31/12/2014)



Fonte: autoria própria.

A partir do índice de variabilidade (IV) (Figura 3), pode-se constatar que, considerando todo o período da série analisada, em média, o aporte de delimitado representou 14,5 % do escoamento, sendo os meses de março a agosto, com valores acima dessa média (em média, 18,85% do escoamento fluvial em cada mês). Os meses de maio, junho e julho, apresentaram índices (IV) médios mensais de 0,203, 0,212 e 0,202, respectivamente. O mês de outubro correspondeu à variabilidade menos expressiva, com 7,65% do aporte fluvial.

## Conclusão

A oscilação da vazão pode ser uma perspectiva inicial importante ante o comportamento sensível à sazonalidade hídrica na bacia, como no caso dos registros fluviais da estação Palmares-PE no período desta pesquisa abordado. A mensuração desse aporte oscilante pode apoiar abordagens sobre os instrumentos de gestão das águas, como a outorga e a cobrança.

## Referências

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima 2022. Disponível em: [http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=23](http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=23). Acesso em: maio de 2022.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, n. 1-4, p. 94-101, 2009.

ITEP - INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO . **UGP Barragens. Estudo de Impacto Ambiental – EIA:** Sistema de controle de cheias da Bacia do Rio Una, Barragem Serro Azul. Recife, 2011.

SINGH, S.K.; PAHLOW, M.; BOOKER, D.J.; SHANKAR, U.; CHAMORRO, A. Towards baseflow index characterisation at national scale in New Zealand. **Journal of Hydrology**, v. 568, p. 646-657, 2019.

YANG, W.; XIAO, C.; LIANG, X. Analytical sensitivity analysis and uncertainty estimation of baseflow index calculated by a two-component hydrograph separation method with conductivity as a tracer. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 2, p. 1103-1112, 2019.

### **Agradecimentos**

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.