

**Relatório Final de Análise de Dados de Vazões e  
Precipitações na Área do Alto Curso do Rio das Velhas**

**Projeto: “De Olho no Velhas”**

**Parte II: Fluviometria**



Rio das Velhas a Jusante da ETA Bela Fama – out./2014 – Fonte: CBH Velhas

0	PRIMEIRA EMISSÃO	30/08/2025	ECC	MGB	
<b>Rev.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Data</b>	<b>Elaborado</b>	<b>Verificado 1</b>	<b>Verificado 2</b>
PROJETO/ÁREA DE OLHO NO VELHAS	TEMA/SÍTIO ANÁLISE DE DADOS	CLASSIFICAÇÃO FPSF-RA-03-2025-II			REV. 0
GRUPO EQUIPE TÉCNICA	SETOR ENGENHARIA	DENOMINAÇÃO Relatório Final de Análise de Dados das Estações Plu e Fluviométricas do Alto Rio das Velhas			FOLHA 1/175
		<p><b>Fórum Permanente São Francisco – FPSF</b></p> <p>Belo Horizonte</p>			



## Fórum Permanente São Francisco - FPSF

### **O Fórum Permanente São Francisco (FPSF)**

*é uma entidade da sociedade civil, um grupo de cidadãos e cidadãs que foi formado três dias depois do rompimento da barragem do Córrego do Feijão, da empresa Vale, em Brumadinho - MG, em janeiro de 2019. Foi criado com o objetivo inicial de dedicar-se à segurança e à qualidade de vida da população que vive em áreas de mineração no Estado de Minas Gerais. Posteriormente expandiu sua área de atuação para englobar as questões mais abrangentes ligadas à sustentabilidade e ao meio ambiente. A partir de janeiro de 2023 o FPSF se tornou um Instituto.*

#### **Missão**

*Defesa, preservação e conservação do meio ambiente e do patrimônio histórico-cultural, bem como a promoção do desenvolvimento sustentável.*

*Desenvolvimento e divulgação de tecnologias alternativas voltadas para a sustentabilidade e para a regeneração. Realização de estudos e pesquisas, produção e divulgação de informações e de conhecimentos técnicos e científicos tendo como base o conceito de ecologia integral. Incentivo ao uso racional dos recursos naturais, com ênfase na segurança hídrica.*

#### **Valores**

*O Fórum Permanente São Francisco (FPSF), no desenvolvimento de suas atividades, tem como fundamento os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade, economicidade e eficiência, sem qualquer discriminação de raça, cor, gênero, orientação sexual e religião e sem conotações político-partidárias.*

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesse documento, desde que citada a fonte.



2019-2022

## Sumário

6	ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.....	6
6.1	RAPOSOS – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41200430 .....	6
6.2	RIO ACIMA – CÓD. FLUV.: 41195050.....	11
6.3	HONÓRIO BICALHO – CÓD. FLUV.: 41199998 .....	14
6.3.1	Série Completa.....	14
6.3.2	Análise Preliminar das Vazões Diárias .....	14
6.3.3	Análise Descritiva e Análise Inferencial (Tendências).....	22
6.3.3.1	Períodos Decenais.....	22
6.3.3.2	Vazões Mínimas Históricas.....	24
6.3.3.3	Médias Anuais e dos Períodos Úmidos e Secos .....	28
6.3.3.4	Precipitações e Volumes Escoados Anuais e dos Períodos Úmidos e Secos .....	33
6.3.3.5	Relação entre as Vazões Médias dos Períodos Úmidos e as dos Períodos Secos .....	57
6.3.4	Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências .....	58
6.3.4.1	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Anos Completos.....	58
6.3.4.2	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Secos.....	63
6.3.4.3	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Úmidos .....	68
6.3.5	Análise por Quantis.....	72
6.3.5.1	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Anos Completos.....	72
6.3.5.2	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Secos.....	74
6.3.5.3	Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Úmidos .....	76
6.3.6	Gráficos Q-Q Plot .....	78
6.3.7	Vazões Anuais Máximas, Médias e Mínimas.....	80
6.3.8	Índices de Anomalias .....	85
6.3.8.1	Índices de Anomalia Aplicados às Vazões – Estação Honório Bicalho .....	85
6.3.9	Período de 2017 a 2023 em Honório Bicalho .....	91
6.3.10	Período de 2017 a 2024 em Honório Bicalho – Comparação com Raposos, Rio Acima e Itabirito Linígrafo .....	93
6.3.11	Vazões em Honório Bicalho e Precipitações nas Áreas das Três Estações – Médias Móveis .	98
6.3.12	Correção das Vazões em Honório Bicalho de 8 a 15/01/2022.....	105
6.4	PCH RIO DE PEDRAS - RIO ITABIRITO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41180500 .....	110



6.4.1	Dados Disponíveis no Portal HidroWeb.....	110
6.4.2	Período de 2017 a 2024 em Rio Itabirito – Comparação com Honório Bicalho .....	114
6.5	ITABIRITO – LINÍGRAFO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41180000 .....	116
6.5.1	Série Completa.....	117
6.5.1.1	Períodos Secos de 1956 a 2024.....	122
6.5.1.2	Períodos Úmidos de 1956 a 2024 .....	124
6.5.1.3	Períodos Úmidos e Períodos Secos de 1956 a 2024 .....	126
6.5.2	Período de 2017 a 2024 em Itabirito Linígrafo .....	127
6.6	PCH RIO DE PEDRAS - BARRAMENTO – CÓD. FLUV.: 41140080.....	131
6.7	PCH RIO DE PEDRAS - MONTANTE – CÓD. FLUV.: 41152000.....	135
6.8	PCH RIO DE PEDRAS - RIO MARACUJÁ – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41153050 .....	139
6.9	FAZENDA ÁGUA LIMPA – JUSANTE - CÓD. FLUV.: 41151001 .....	142
6.9.1	Série Completa.....	142
6.9.1.1	Médias dos Períodos Úmido e Seco.....	146
6.9.2	Período de 2017 a 2024 em Fazenda Água Limpa.....	147
7	CONCLUSÕES - FLUVIOMETRIA .....	150
7.1	Observações Principais.....	150
7.2	Conclusões da Análise Fluviométrica – Ref.: Estação Honório Bicalho .....	151
8	Disponibilidade e Confiabilidade dos Dados - Recomendações.....	156
9	Referências Bibliográficas.....	158
	ANEXO 2 – Atualização dos Dados – Out./2024 até Fev./2025.....	160
1.	Introdução .....	160
2.	Atualização do Banco de Dados .....	160
2.1	Dados Disponibilizados.....	160
2.2	Períodos dos Novos Dados Disponibilizados .....	161
3.	Análise Expedita dos Dados do Período de Outubro De 2024 a Fevereiro de 2025 .....	163
3.1	Estação: 41140080 - PCH Rio de Pedras – Barramento.....	163
3.2	Estação: 41180500 - PCH Rio de Pedras - Rio Itabirito.....	165
3.3	Estação: 41192900 - PCH Codorna – Barramento.....	166
3.4	Estação: 41193000 - PCH E Nova Jusante .....	167



3.5	Estação: 41151001 - Fazenda Água Limpa .....	169
3.6	Estação: 41180001 - Itabirito Linígrafo .....	171
3.7	Estação: 41195050 - Rio Acima .....	173
3.8	Estação: 41200430 - Raposos .....	174

## RELATORIO FINAL DE ANÁLISE DE DADOS

### Análise de Dados de Vazões e

### Precipitações na Área do Alto Curso do Rio das Velhas

#### Parte II: Fluviometria

## 6 ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

### 6.1 RAPOSOS – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41200430

A série de dados diários dessa estação telemétrica foi obtida pelo Portal HidroWeb e abrange o período de 13/06/2017 a 31/05/2024. A série pode ser considerada completa, pois nela faltam somente os dados referentes aos quatro primeiros dias de fevereiro de 2022, ano da cheia recorde do rio. Essa série de vazões médias diárias foi gerada pela ANA a partir dos registros telemétricos dos dados, feitos a cada 15 minutos. As vazões médias diárias desde o dia 01/06/2024 até o dia 30/09/2024 – data limite da coleta de dados para as análises incluídas no presente documento – foram calculadas pelos responsáveis por esse trabalho a partir dos registros telemétricos que são disponibilizados, em tempo real, a cada quinze minutos, pelo portal HidroTelemetria. Nesse portal permanecem normalmente os registros referentes aos últimos três anos da série.

A análise preliminar dos dados da série disponível resultou nos seguintes parâmetros característicos:

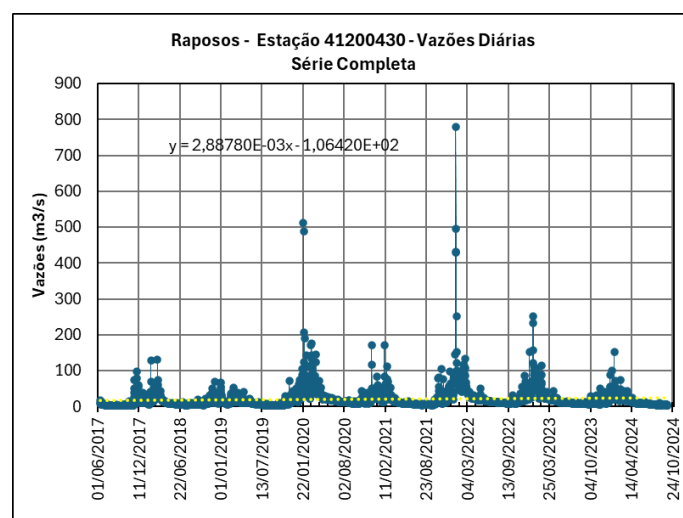
	Série Completa	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Data do início do período	13/06/2017	13/06/2017	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	01/01/2021	01/01/2022	01/01/2023	01/01/2024	-
Data do final do período	30/09/2024	31/12/2017	31/12/2018	31/12/2019	31/12/2020	31/12/2021	31/12/2022	31/12/2023	30/09/2024	-
Quantidade de dias do período	2667	202	365	365	366	365	365	365	366	-
Total de dados	2667	202	365	365	366	365	365	365	274	-
Abrangência dos dados no ano	-	55,34%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	74,86%	-
Abrangência dos dados no período	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	74,86%	-
Média Aritmética	21,31	9,61	15,08	12,37	34,15	19,52	34,26	22,87	16,07	m <sup>3</sup> /s
Mediana	12,93	4,28	9,70	10,04	20,20	11,75	18,09	12,55	9,28	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica	10,31	4,78	9,22	7,97	19,66	10,61	17,51	13,40	9,17	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica/Média Aritmética	48,40%	49,81%	61,15%	64,42%	57,55%	54,37%	51,12%	58,62%	57,07%	%
Desvio padrão	33,54	14,17	15,02	9,42	46,41	19,78	61,47	27,04	16,28	m <sup>3</sup> /s
Volume total escoado no período	4.911,08	166,14	475,67	389,99	1.080,02	615,64	1.080,54	721,10	380,45	Mm <sup>3</sup>
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%	3,38%	9,69%	7,94%	21,99%	12,54%	22,00%	14,68%	7,75%	%
Vazão diária máxima do período	780,58	98,08	131,79	72,15	511,38	171,40	780,58	251,24	152,79	m <sup>3</sup> /s
Vazão diária mínima do período	2,60	2,60	3,77	2,64	7,73	3,09	7,46	6,00	3,80	m <sup>3</sup> /s
Amplitude	299,66	37,65	34,94	27,31	66,17	55,46	104,59	41,87	40,21	m <sup>3</sup> /s

Comentar: faltam mais de 10% dos dados dos anos de 2017 e 2024 para que se possa tomar esses anos como representativos para uma análise mais confiável. No entanto, a série considerada apresenta dados para todos os dias período de registro da Estação.

Onde:

- Data de início da série: data do primeiro dado registrado;
- Data de término da série: data do último dado registrado;

- Quantidade de horas (ou dias) do período: número máximo de observações que poderiam ser feitas no período, considerando o intervalo especificado de registro (hora, dia), ou seja, número de registros que seriam feitos caso não houvesse nenhuma falha nas medições; em caso de séries de dados detalhados das estações automáticas, número de intervalos de 10 ou 15 minutos de registros;
- Quantidade de dados da série: quantidade de dados registrados e disponíveis para análise no período;
- Abrangência dos dados no período = Quantidade de dados / Quantidades de horas (ou dias) do período: indica a porcentagem dos dados realmente registrados em relação ao total que seria registrado caso não houvesse nenhuma falha nas medições;
- Volume total escoado no período: soma das vazões ao longo do período de registro multiplicada pelo número de segundos desse período (= número de dias x 24 horas x 3600 segundos; o valor é informado em milhões de metros cúbicos e constitui um valor estimado do volume total de água escoada pelo rio no período, no ponto em que está situada a Estação fluviométrica de registro; essa informação constitui uma proposta, introduzida no presente trabalho, de uma nova métrica a ser utilizada em estudos hidrológicos;
- Vol. do período/Vol. total da série hist.: razão ou porcentagem do volume escoado em um período específico em relação ao volume total escoado ao longo de toda a série histórica de dados;
- Vazão máxima do período: maior valor de vazão durante um intervalo especificado (hora, dia, mês, ano etc.); trata-se da média dos diversos valores registrados durante o intervalo definido; em caso de séries com registros horários ou a cada 10 ou 15 minutos (estações automáticas), é o valor da maior vazão de um intervalo (hora ou minutos) dentre todos os intervalos do período de registro; em estações convencionais, é o valor decorrente da leitura das réguas linimétricas (geralmente o observador contratado faz o registro às 7:00 h da manhã de cada dia);
- Vazão diária mínima do período: menor valor de vazão registrado no período, como no caso da vazão máxima;
- Amplitude: a diferença entre a vazão máxima e a vazão mínima registradas ao longo de um período específico.



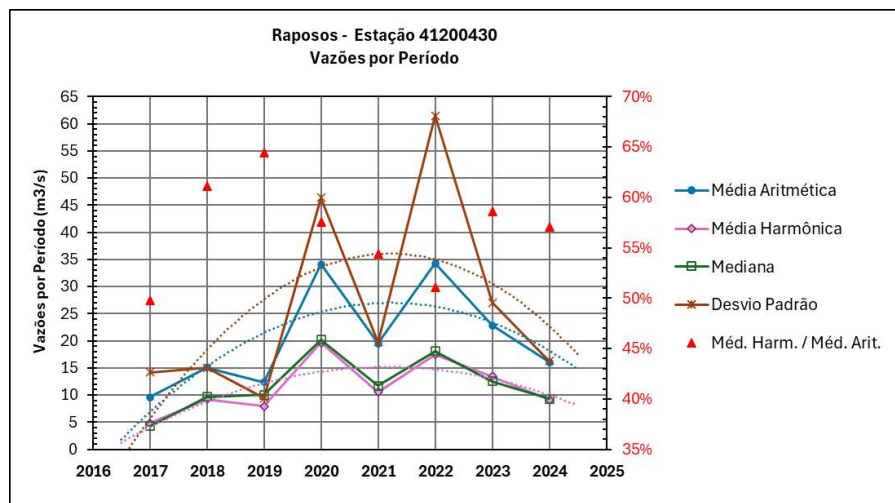
**Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação**

O gráfico acima mostra a série temporal de vazões diárias da Estação fluviométrica na cidade de Raposos, entre 01/06/2017 e 30/09/2024, onde:

1. **Eixo X (horizontal):** Representa o tempo, mostrando datas específicas ao longo de vários anos, o que indica que os dados cobrem um período contínuo de mais de sete anos.
2. **Eixo Y (vertical):** Representa a vazão em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), indicando a vazão média (aritmética) da água que passou pela Estação em cada dia. As vazões variam entre 0 e  $900 m^3/s$  e a média considerada é a aritmética (a normalmente adotada em estudos hidrológicos).
3. **Pontos Azuis:** Cada ponto azul representa a vazão média de um dia específico. Observa-se que há uma variação significativa, com picos de vazão ocorrendo em certos períodos do ano.
4. **Tendência (linha amarela com equação):** A linha obtida por regressão linear dos dados indica uma ligeira tendência de aumento ao longo do tempo, embora o aumento seja muito pequeno. Isso sugere que, ao longo do período, houve uma leve elevação nas vazões diárias.
5. **Picos de Vazão:** É possível notar que, em certos períodos, a vazão atinge valores mais altos (picos), possivelmente associados a eventos de chuva intensa. Esses picos são espaçados e geralmente isolados, indicando que eventos de alta vazão são ocasionais.
6. **Vazões Baixas e Regulares:** A maior parte dos valores de vazão está abaixo de  $100 m^3/s$ , o que indica que a vazão diária normal para essa Estação é relativamente baixa.

Este gráfico mostra que a Estação de Raposos registra principalmente baixas vazões diárias, mas há períodos esporádicos de aumento significativo de vazão (estação chuvosa, de outubro a abril). A leve tendência de aumento na vazão média diária ao longo dos anos, indicada pelo coeficiente positivo da equação da reta de regressão linear, pode ser indicativa de mudanças climáticas ou ambientais, mas a variação é pequena e não pode ser considerada uma tendência de longo prazo devido ao fato de que a série abrange um período de apenas oito anos.

O gráfico a seguir mostra as **médias das vazões por período** para a Estação fluviométrica de Raposos, juntamente com outras medidas descritivas estatísticas (mediana, desvio padrão, razão entre média harmônica e média aritmética).



Medidas estatísticas das vazões diárias registradas na Estação

O eixo Y da Esquerda (vazão por período em  $m^3/s$ ) representa as vazões médias ( $m^3/s$ ) para cada ano. As medidas estatísticas de vazão significam:

- **Média Aritmética** (curva azul): Média simples das vazões diárias de cada ano.
- **Média Harmônica** (curva lilás): Média que é mais influenciada por valores baixos, usada no presente trabalho por representar melhor as baixas vazões.

- **Mediana** (curva verde): O valor central das vazões diárias de cada ano, indicando o ponto em que divide o total dos dados considerados, classificados desde o maior até o menor, em duas metades, com quantidades iguais de valores em cada metade. Pode-se ver que, nesse caso, os valores das medianas são muito próximos dos valores das médias harmônicas de cada ano, o que indica uma semelhança dessas métricas no que diz respeito à maior evidência dos valores menores de vazão da série, valores esses que são os mais importantes quando se trata de estudos de segurança hídrica.
- **Desvio Padrão** (curva marrom): Representa a variabilidade das vazões ao longo do ano. Um desvio padrão alto indica grande variação nas vazões entre os eventos de pico (chuvas intensas) e os de baixa vazão.

A média aritmética, a média harmônica e a mediana são medidas de tendência central, ou seja, indicam um valor representativo ou "central" para um conjunto de dados. O desvio padrão é uma medida de dispersão e inclui o grau de variação ou dispersão dos dados em torno da média.

O eixo Y da Direita (Percentual em %) representa proporções:

- **Méd. Harm. / Méd. Arit.** (triângulos vermelhos): Razão entre a média harmônica e a média aritmética de cada ano, expressa em porcentagem. Valores menores indicam maior assimetria nos dados, sugerindo a presença de valores muito altos de vazão (picos, valores extremos), os quais fazem com que a média aritmética aumente e não represente bem a preponderância da presença, na série, e uma grande quantidade de valores de menor vazão.

Escolheu-se, para representação das tendências e apenas para efeitos de uma visualização preliminar, uma curva de regressão com equação polinomial do 2º grau.

As linhas pontilhadas constituem as curvas de regressão dos valores das médias aritmética e harmônica e do desvio padrão. As três linhas mostram uma tendência de aumento desses valores até 2022 e são bastante influenciadas pelos eventos de maior pluviosidade dos anos de 2020 e 2022. No entanto, os valores dessas três medidas foram menores em 2023 (ano completo na série) e em 2024 (até 30 de setembro, limite dos dados considerados na presente análise), fazendo com que a tendência se invertesse, indicando redução das médias.

Uma análise de tendência de séries hidrológicas, para apresentar uma maior segurança quanto aos resultados, necessita ser feita em séries de pelo menos 30 anos e envolve vários estudos estatísticos robustos que serão objeto dos próximos relatórios a serem emitidos no âmbito desse Projeto.

Em geral este gráfico indica:

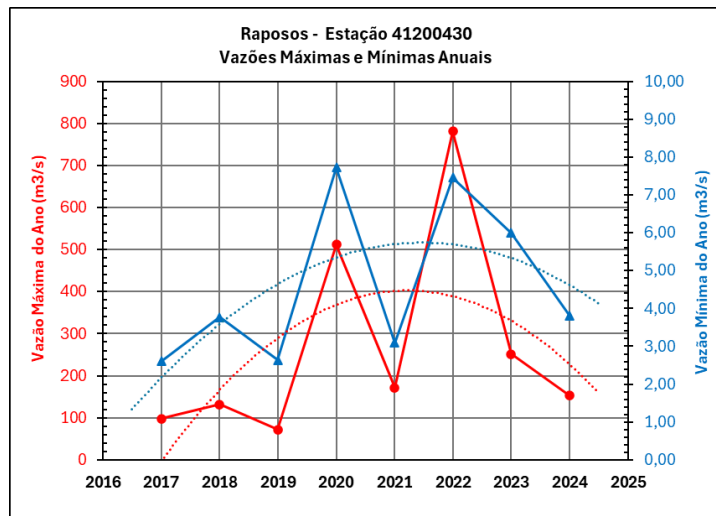
1. **Picos em 2020 e 2022:** Esses anos apresentam vazões mais altas (médias e medianas), além de um desvio padrão elevado. Isso mostra que foram anos com maior fluxo e grande variabilidade, devido a eventos de chuva intensa. De fato, os dias 8 e 9 de janeiro de 2022 foram marcados por um evento extremo de chuva que atingiu a bacia do Alto Velhas, as chuvas mais intensas e de maior erosividade desde que se iniciaram os registros na área.
2. **Anos de Baixa Vazão (2018, 2021, 2023):** Esses anos mostram vazões médias e medianas menores, indicando períodos mais secos ou de menor fluxo. O desvio padrão também é mais baixo, indicando menor variabilidade nas vazões.

---

<sup>1</sup> Em janeiro de 2020, em Belo Horizonte (MG), foram registrados 935,2 mm de chuva, quase três vezes mais do que o valor médio esperado para o período (329,1 mm). Disponível em: [Microsoft PowerPoint - sintese mensal 012020 \[Modo de Compatibilidade\]](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6637/1/MONOGRAFIA_Avalia%C3%A7%C3%A3oPrecipita%C3%A7%C3%B5esCausadoras.pdf). Acesso em 10/11/2024. Ver também: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6637/1/MONOGRAFIA\\_Avalia%C3%A7%C3%A3oPrecipita%C3%A7%C3%B5esCausadoras.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6637/1/MONOGRAFIA_Avalia%C3%A7%C3%A3oPrecipita%C3%A7%C3%B5esCausadoras.pdf).

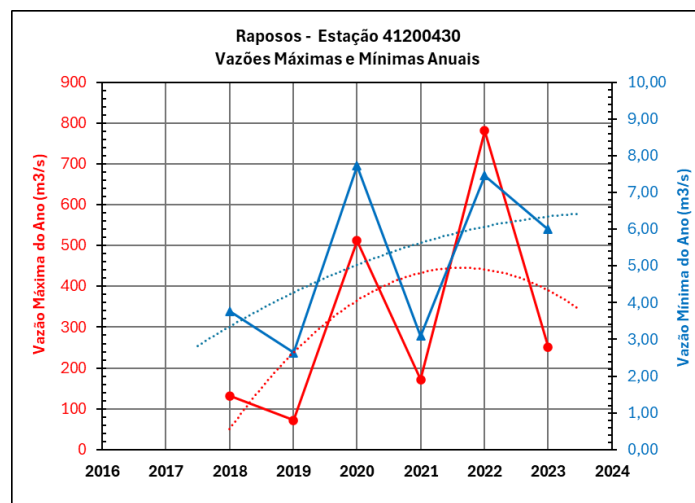
3. **Razão Méd. Harm. / Méd. Arit.:** Em alguns anos, essa razão é baixa (abaixo de 50%), o que indica a presença de valores extremos (picos de vazão) que influenciam a média aritmética mais que a média harmônica. O valor menor dessa relação ocorreu justamente em 2022, ano da cheia histórica e da maior vazão diária já registrada nesse trecho do Rio das Velhas.
4. **Vol. do Ano / Vol. Total da Série:** A linha tracejada mostra que anos como 2020 e 2022 contribuíram com uma parcela maior do volume total da série, o que reforça que esses foram anos com maiores volumes de vazão.

O gráfico a seguir apresenta a evolução das vazões máximas e das mínimas diárias de cada ano da série disponível. Pode-se ver que há uma tendência geral de crescimento das vazões máximas e das mínimas até 2022, pelas razões acima apontadas, e tendência de redução em 2023 (série completa) e 2024 (até 30 de setembro).



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação

É preciso ressaltar que toda a análise acima apresentada considera dados parciais dos anos de 2017 e 2024. A desconsideração dos dados desses dois anos, apresentada no gráfico abaixo, diminui as tendências de redução das máximas e das mínimas, como mostrado no gráfico a seguir. Essa acentuação de tendências ocorre também no caso das médias e do desvio padrão.



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação



## 6.2 RIO ACIMA – CÓD. FLUV.: 41195050

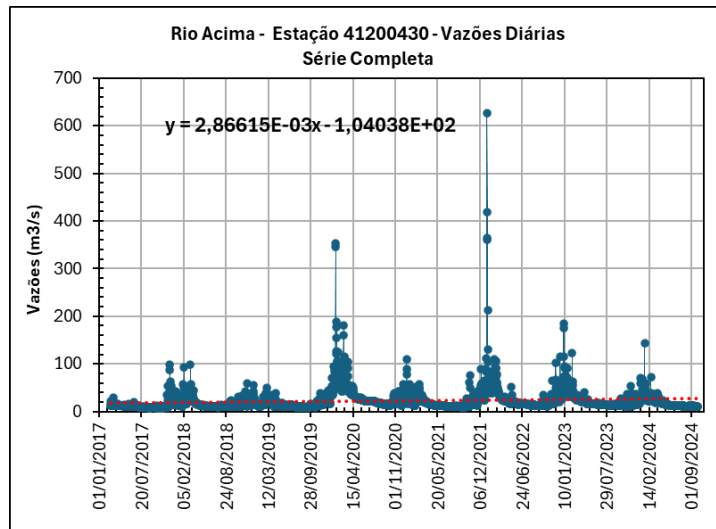
A série de dados diários dessa estação telemétrica foi obtida pelo Portal HidroWeb e abrange o período de 23/02/2017 a 30/06/2024. A série pode ser considerada completa, pois nela faltam somente os dados do dia 8 a 31 de janeiro de 2022, ano da cheia recorde do rio e os dados de 1º a 18 de maio de 2022. A cheia de jan./2022 elevou o nível do Rio das Velhas acima do painel de instrumentos da estação, situado no alto de um poste, o que provocou danos e desligou a estação. O mesmo ocorreu em Raposos. A falta de dados do mês de maio pode estar relacionada a trabalhos de manutenção dos instrumentos.

Essa série de vazões médias diárias também foi gerada pela ANA a partir dos registros telemétricos dos dados, feitos a cada 15 minutos. As vazões médias diárias desde o dia 01/07/2024 até o dia 30/09/2024 – data limite da coleta de dados para as análises incluídas no presente documento – foram calculadas pelos responsáveis por esse trabalho, assim como para Raposos e outras estações telemétricas para as quais faltavam dados no portal HidroWeb, a partir dos registros telemétricos que são disponibilizados, em tempo real, a cada quinze minutos, pelo portal HidroTelemetria.

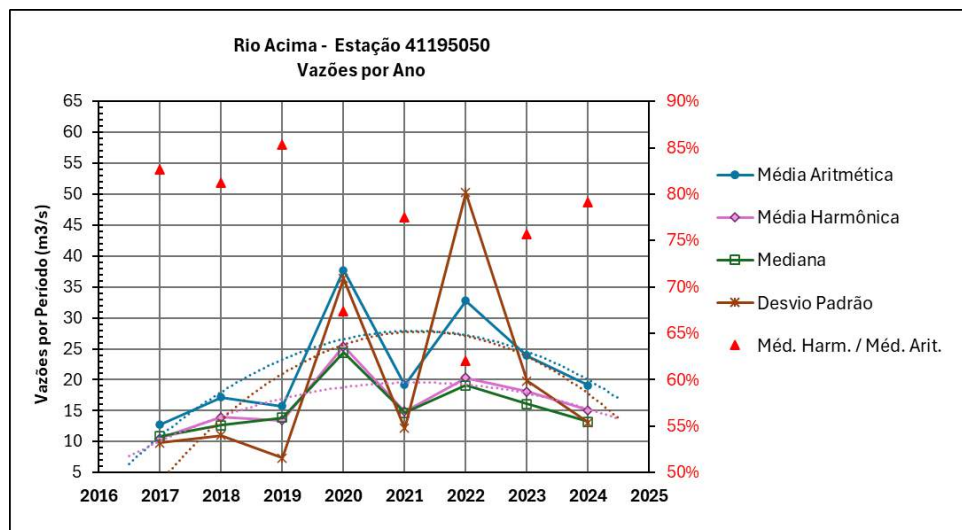
A análise preliminar dos dados da série disponíveis resultou nos seguintes parâmetros característicos:

	Série Completa	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Data do início do período	23/02/2017	23/02/2017	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	01/01/2021	01/01/2022	01/01/2023	01/01/2024	-
Data do final do período	30/09/2024	31/12/2017	31/12/2018	31/12/2019	31/12/2020	31/12/2021	31/12/2022	31/12/2023	30/09/2024	-
Quantidade de dias da série	2777	312	365	365	366	365	365	365	274	-
Total de dados	2777	312	365	365	366	365	365	365	274	-
Abrangência dos dados no ano	-	85,48%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	74,86%	-
Abrangência dos dados no período	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	-
Média Aritmética	22,58	12,76	17,14	15,74	37,69	19,15	32,79	23,92	19,10	m <sup>3</sup> /s
Mediana	15,29	10,89	12,69	13,86	24,40	14,67	19,09	16,08	13,24	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica	15,59	10,55	13,93	13,43	25,41	14,85	20,34	18,11	15,12	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica/Média Aritmética	69,03%	82,66%	81,25%	85,33%	67,43%	77,54%	62,03%	75,70%	79,15%	%
Desvio padrão	26,35	9,76	11,02	7,37	36,38	12,18	50,27	19,83	13,06	m <sup>3</sup> /s
Volume total escoado no período	5.417,09	342,67	540,50	496,37	1.191,79	603,96	1.034,01	754,44	452,12	Mm <sup>3</sup>
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%	6,33%	9,98%	9,16%	22,00%	11,15%	19,09%	13,93%	8,35%	%
Vazão diária máxima do período	627,57	98,42	98,42	50,26	352,58	89,61	627,57	185,07	144,15	m <sup>3</sup> /s
Vazão diária mínima do período	5,03	7,26	8,65	8,08	12,69	8,95	10,99	10,74	5,03	m <sup>3</sup> /s
Amplitude	124,77	13,56	11,37	6,22	27,79	10,01	57,12	17,23	28,66	m <sup>3</sup> /s

O gráfico a seguir mostra a distribuição temporal das vazões diárias da Estação fluviométrica em Rio Acima entre 23/02/2017 e 30/09/2024. No gráfico, observam-se picos significativos ao longo da série, com um ponto de 346,6 m<sup>3</sup>/s em janeiro de 2020 e um (recorde) de 627,6 m<sup>3</sup>/s no dia 9 de janeiro de 2022. A equação da reta de regressão linear, com coeficiente da variável positivo, aponta para uma tendência geral de aumento das vazões ao longo do tempo, ou seja, das vazões intermediárias e das baixas vazões, mas a variação é pequena e não pode ser considerada uma tendência de longo prazo devido ao fato de que a série abrange um período de apenas oito anos.



Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação



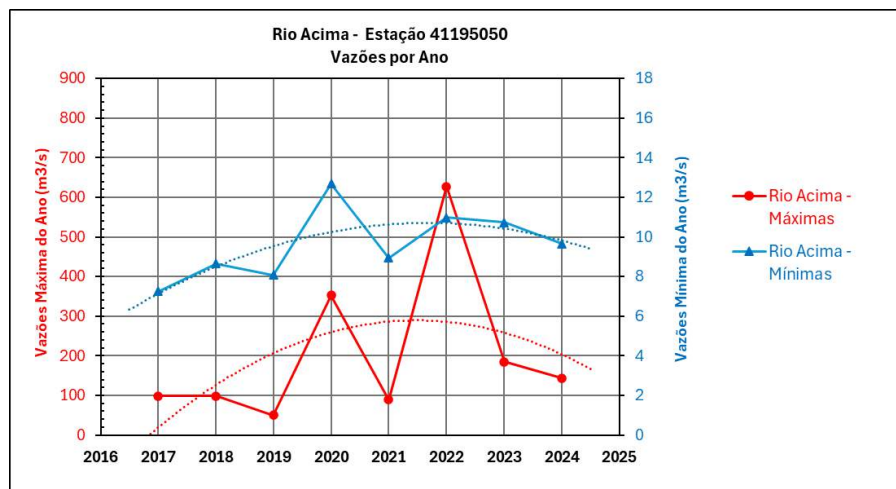
Medidas estatísticas das vazões diárias registradas na Estação

O gráfico acima indica:

- **Média Aritmética:** A média aritmética das vazões anuais mostra um aumento significativo em 2020 e 2022, seguido por uma diminuição nos anos seguintes. Esses picos se devem a eventos de chuvas intensas nesses anos.
- **Média Harmônica:** A média harmônica segue o comportamento da média aritmética, mas em um nível mais baixo. Como a média harmônica é influenciada pelos valores menores de vazão, a curva indica a presença de vazões menores na distribuição anual, especialmente em anos onde a média aritmética também é mais baixa.
- **Mediana:** A mediana apresenta uma tendência similar à da média harmônica. A proximidade entre a mediana e a média harmônica nos anos de menores vazões indica que a distribuição de vazões está mais concentrada em valores baixos nesses períodos.
- **Desvio Padrão:** O desvio padrão apresenta picos nos mesmos anos em que a média aritmética os apresenta (2020 e 2022), indicando uma maior variabilidade das vazões nesses períodos. Nos anos de menor desvio padrão, as vazões foram mais uniformes, sem grandes extremos.

- **Relação Média Harmônica/Média Aritmética:** A relação entre a média harmônica e a média aritmética apresenta oscilações, mas se mantém em torno de 60-85%, com picos em 2019 e 2024. Valores mais baixos dessa relação em 2020 e 2022 indicam que as vazões extremas foram maiores nesses anos, reduzindo o valor da média harmônica em relação à média aritmética.

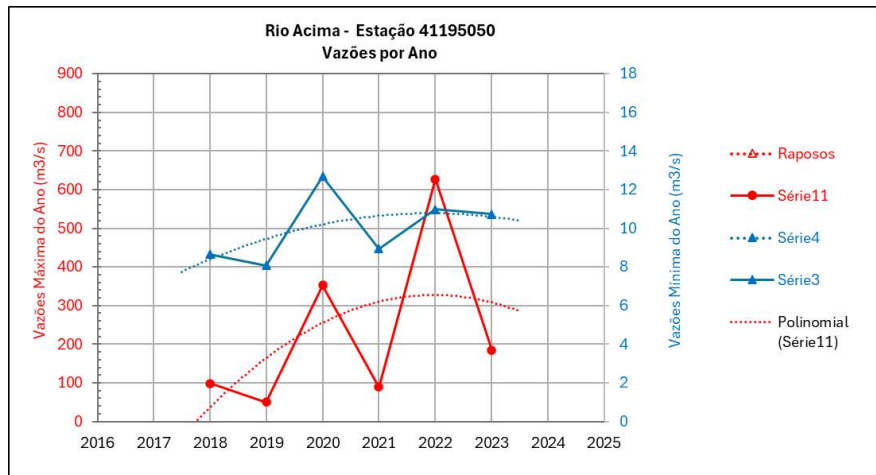
No geral, o gráfico acima indica uma alta variabilidade nas vazões da Estação Rio Acima, com anos de picos elevados em 2020 e 2022. Esses anos registraram eventos extremos de vazão, resultando em aumentos significativos na média aritmética, no desvio padrão e no volume total de vazão. Nos demais anos, as vazões tendem a ser mais uniformes, com menores valores para a média e o desvio padrão, sugerindo uma ausência de extremos significativos. A análise desses picos pode ser relevante para entender o impacto de eventos climáticos excepcionais ou mudanças nas condições hidrológicas locais.



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação

No gráfico acima pode-se ver que as vazões máximas variam bastante ao longo dos anos, efeitos de sazonalidades, com picos significativos em 2020 e 2022 (346,6 e 627,6 m³/s, respectivamente); há uma tendência de aumento nas vazões máximas até o ano de 2022 e redução dessas vazões em 2023 e 2024. Em geral as vazões mínimas são mais estáveis do que as máximas, apresentando um pico somente em 2020, ano de maior pluviosidade, o que pode ter tido influência no valor das mínimas, mas apresentando tendência de redução em 2023 e 2024.

Como os dados de vazões diárias relativos aos anos de 2017 e 2024 são incompletos na série dessa Estação (84,5% e 74,9% do total dos dias desses anos respectivamente), uma análise mais adequada da tendência da série – dentro das limitações já apontadas por se tratar de uma série de duração muito curta, como as das demais estações telemétricas – pode ser feita eliminando-se do gráfico acima os valores referentes aos dois anos mencionados, obtendo-se, assim, o gráfico a seguir:



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação

Comparando-se os dois gráficos, o primeiro incluindo os anos 2017 e 2024 e o segundo, acima, excluindo-se estes anos, pode-se observar uma atenuação nas linhas de tendência das vazões máximas e mínimas ao longo do período, porém com um viés de aumento das vazões máximas e ligeiro aumento das mínimas.

Os comportamentos das vazões em Rio Acima são similares aos de Raposos, o que indica coerência entre as medições de vazões dessas duas estações no trecho de rio relativamente curto entre elas.

## 6.3 HONÓRIO BICALHO – CÓD. FLUV.: 41199998

### 6.3.1 Série Completa

A série temporal de dados da Estação convencional de Honório Bicalho é mais importante da região do Alto Rio das Velhas para efeitos de avaliação da segurança hídrica, pois a Estação situava-se imediatamente a montante de Bela Fama e tem duração de mais de 52,6 anos de dados (de 27/04/1971 a 30/11/2023), constituindo uma série completa, sem falha nos dados diários.

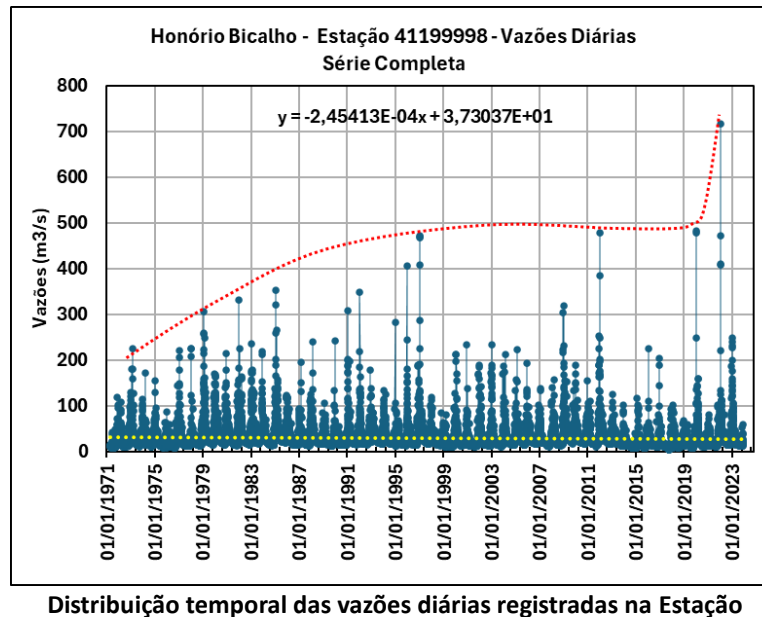
A área de drenagem do rio das Velhas, na altura da estação de Honório Bicalho, é da ordem de 1.550 km<sup>2</sup> e a precipitação média anual na bacia é de 1.568 mm.

### 6.3.2 Análise Preliminar das Vazões Diárias

A série da Estação Honório Bicalho disponibilizada pela ANA no portal HidroWeb na data de 30/09/2024 (data final de coleta de dados para o presente relatório) abrange um período de 19.211 dias. A primeira abordagem dos dados, apresentada a seguir, tratou de explorar os aspectos mais evidentes das vazões diárias, procurando identificar os intervalos anuais que poderiam ser considerados os períodos úmido e seco, bem como as tendências mais gerais.

Nesse sentido, o gráfico a seguir mostra a distribuição temporal das vazões diárias da Estação fluviométrica em Honório Bicalho entre 27/04/1971 e 30/11/2023. A envoltória constituída pela linha tracejada vermelha procura destacar uma possível tendência de aumento das vazões máximas no período, possivelmente associado aos eventos de chuva mais intensos causados pelas mudanças climáticas. De fato, no gráfico, observam-se vários picos significativos ao longo da série, com alguns pontos alcançando vazões acima de 400 m<sup>3</sup>/s na década de 1990 e vários pontos na faixa de 400 a mais de 500 m<sup>3</sup>/s a partir de 2012, culminando a vazão recorde histórica do dia 09/01/2022 de 715,0 m<sup>3</sup>/s

Por outro lado, a equação da reta de regressão linear, com coeficiente da variável negativo, aponta para uma tendência de longo prazo de redução das vazões, ou seja, das vazões intermediárias e das baixas vazões.



Tanto um aumento na frequência e intensidade dos eventos de alta vazão quanto uma redução das vazões baixas e intermediárias ao longo dos anos, uma vez confirmados pelos estudos a serem feitos, constituem-se fatos de grande importância para a gestão de recursos hídricos e para o planejamento de mitigação dos efeitos das enchentes.

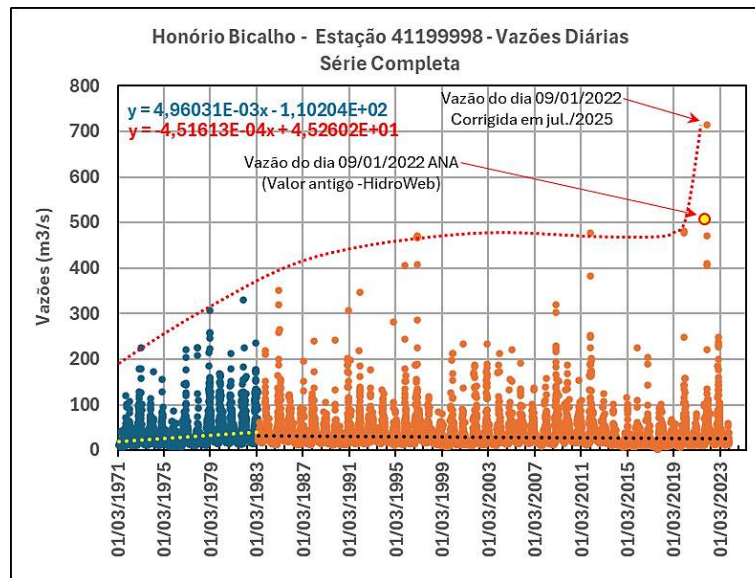
A análise detalhada das tendências dessa e das demais séries temporais será apresentada nos próximos Relatórios e incluirão estudos específicos, baseados em métodos estatísticos robustos, tanto da série completa quanto de subconjuntos dela, incluindo o das vazões referentes aos períodos de estiagem e o das vazões dos períodos chuvosos.

Nota-se, ainda, que a maior parte das vazões diárias está concentrada em valores menores que  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , indicando que, em geral, o rio mantém uma vazão relativamente baixa na maior parte do tempo, com picos esporádicos.

Visualmente, não se identifica nesse gráfico um padrão cíclico claro de vazões, o que pode indicar uma grande influência de variabilidade climática e precipitações irregulares ao longo das décadas.

Com o objetivo de apontar caminhos exploratórios para os estudos que se seguirão, mostra-se a seguir a distribuição de vazões do gráfico acima dividida em dois períodos, sendo que o primeiro abrange as vazões desde o início dos registros, em 1971, até o dia 30/04/1983. Essa data de partição da série foi selecionada, por tentativa e erro, de modo a maximizar os coeficientes de inclinação das retas de regressão dos dados dos dois períodos. Coincidentemente, o dia 30 de abril de cada ano foi considerado, para efeitos do presente estudo, como sendo o do fim do período úmido anual (ver detalhes mais à frente).

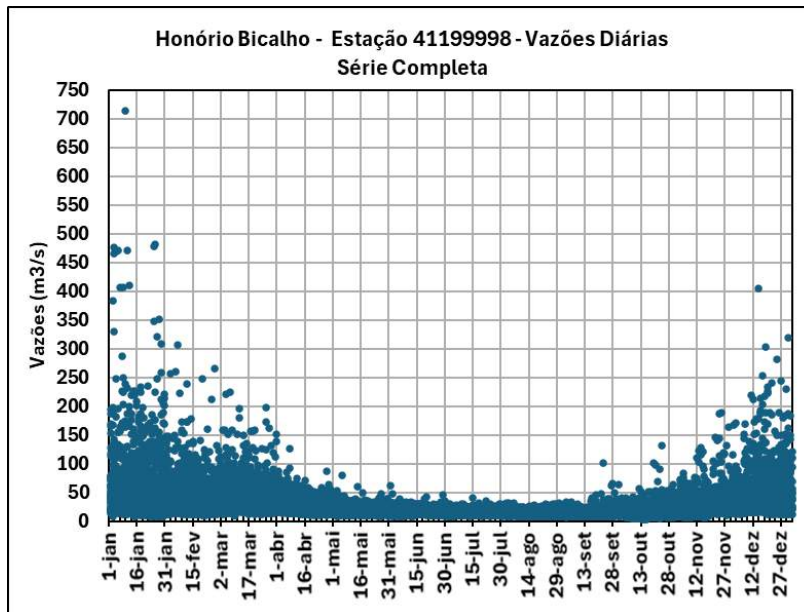
A reta de regressão linear dos dados do primeiro período (pontos azuis do gráfico) indica nitidamente uma tendência de aumento geral das vazões (coeficiente positivo), tendência essa que se inverte no segundo período (pontos de cor laranja). Métodos estatísticos que permitem identificar melhor as mudanças de tendências, tais como o denominado CUSUM (Cumulative Sum), serão utilizados para a análise detalhada das séries temporais objeto do Projeto “De Olho no Velhas”.



**Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação**

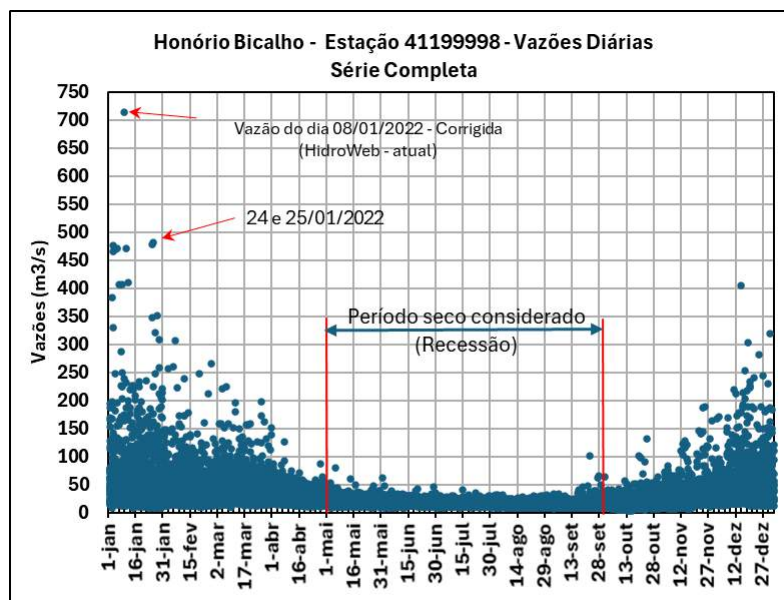
O gráfico acima introduz um fato importante que será objeto de análise e considerações em itens mais abaixo: a série de vazões utilizada informava, inicialmente, um valor de vazão de 505,43 m<sup>3</sup>/s no dia 09/01/2022, vazão recorde de toda a série. Entretanto, a comparação dos valores das vazões de janeiro de 2022 das estações de Honório Bicalho, Rio Acima e Raposos revelou inconsistência entre os dados entre as três estações e conduziu a cálculos (ver itens 4.3.6 e 4.3.9 a seguir) que resultaram em um valor de vazão de cerca de 700,0 m<sup>3</sup>/s em Honório Bicalho, ponto esse, mostrado no gráfico, que desloca bem para cima a curva envoltória das vazões máximas, acentuando consideravelmente uma possível tendência de aumento dessas vazões ao longo do tempo. Comunicamos o fato à ANA e enviamos a essa Agência nossos cálculos, o que resultou em correção do valor dessa vazão – e todos os valores dos meses de janeiro e fevereiro de 2022. A série disponível no portal da Hidroweb a partir de jul./2025 registra o valor de **715,0 m<sup>3</sup>/s no dia 09/01/2022**.

A distribuição das vazões diárias de toda a série ao longo dos dias do ano é mostrada a seguir. As maiores vazões concentram-se em janeiro. O mês de dezembro apresenta um único ponto de vazão superior a 320,0 m<sup>3</sup>/s, que é o de vazão 405,52 m<sup>3</sup>/s ocorrida no dia 14/12/1995. Das 20 maiores vazões de toda a série, 17 ocorreram em janeiro, duas em dezembro e uma no princípio de fevereiro. Das 17 maiores vazões de janeiro, onze ocorreram do dia 2 ao dia 11 e seis do dia 24 ao dia 28, o que indica dois períodos do mês de janeiro que, historicamente, apresentam as maiores vazões de toda a série. Esses períodos podem ser considerados os de maior risco de enchentes desastrosas e podem ser objeto de atenção especial por parte dos órgãos de defesa civil.



Distribuição das vazões da série ao longo dos dias do ano

Com base nesse gráfico, pode-se selecionar as dadas que limitam o que podem ser considerados os períodos seco e úmido. Como se verá a seguir, em detalhes, o período seco, para efeitos dos estudos realizados no âmbito do Projeto “De Olho no Velhas”, pode ser definido como o que vai do dia 1º de maio ao dia 30 de setembro. Consequentemente, adotou-se como período úmido o que vai de 1º de outubro a 30 de abril. O gráfico a seguir mostra essas datas e destaca três dos pontos de maiores vazões, além de incluir o ponto referente à vazão do dia 09/01/2022 corrigida.

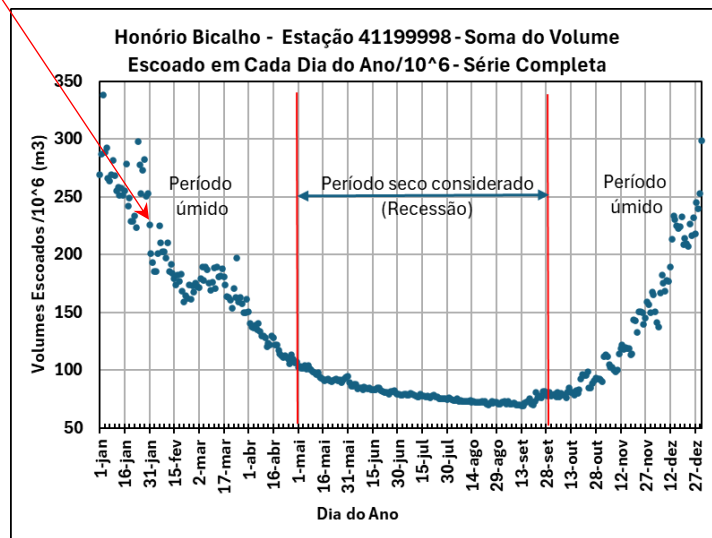


Distribuição das vazões da série ao longo dos dias do ano

Para permitir o aprofundamento da análise e, ao mesmo tempo, facilitar a visualização do comportamento das vazões ao longo do ano, adotou-se como variável o volume diário escoado pelo rio na seção da Estação Honório Bicalho. Esse volume pode ser estimado considerando-se que a vazão registrada para cada dia permaneceu constante durante as 24 horas ou que ela constitui a média do dia; essa hipótese aproxima-se bastante do volume escoado real para os casos de vazões menores, não influenciadas por chuvas, pois chuvas mais intensas,

principalmente se forem de curta duração, podem resultar em maior variação da vazão ao longo do dia, valor esse que pode não ser captado nos momentos das leituras das réguas limimétricas (como as de Honório Bicalho).

O volume escoado diariamente pode ser, assim, calculado, multiplicando-se o valor da vazão registrada na série pela quantidade de segundos de um dia (24 x 3600). Para adequar a escala a números menores, os gráficos a seguir consideram o volume escoado diário, em m<sup>3</sup>, dividido por 1.000.000. Para cada dia do ano (eixo das abscissas), os gráficos apresentam a soma (eixo das ordenadas) dos volumes escoados naquele dia em toda a série. Ex.: o ponto referente ao dia 31 de janeiro (225,94 E+06 m<sup>3</sup>) é a soma dos volumes de todos os dias 31 de janeiro da série, ou seja, a soma de 52 valores.



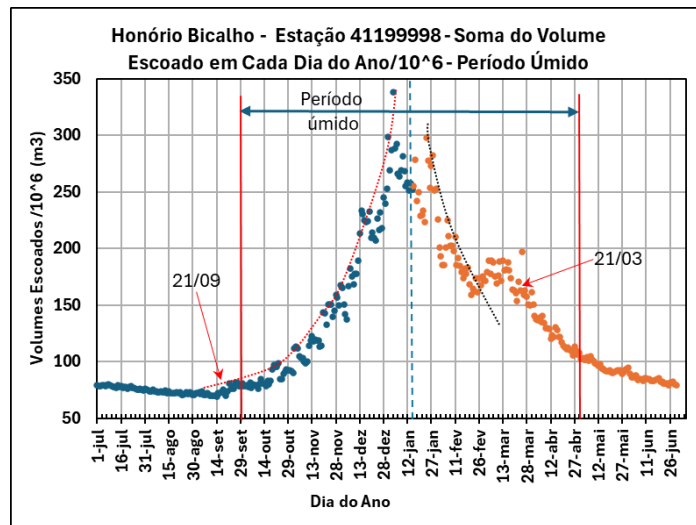
Volume total escoado por dia do ano

O dia que acumula o maior volume escoado é o dia 3 de janeiro e pode ser considerado o dia que tem a maior probabilidade de se ter uma vazão alta. Esse dia é seguido pelos dias 31/12 e 24/01. Dos 30 maiores valores acumulados de toda a série, 26 ocorrem em janeiro e apenas 4 em dezembro. Janeiro é, portanto, o mês em que, historicamente ocorreram as maiores vazões do rio.

Considerando-se janeiro como o centro do ciclo hidrológico das vazões do Rio das Velhas, **o dia 15 de janeiro pode ser eleito como o dia central do ciclo.** A soma do volume escoado ao longo dos 52,6 anos da série foi 4,74062 E+10 m<sup>3</sup>. Dividindo-se esse valor por dois e comparando-o com a soma dos valores de cada dia do ano ao longo de toda a série, antes e depois do dia central elegido, verifica-se que metade do volume total escoou do dia 16/jan. ao dia 30/jun. (166 dias) e a outra metade, do dia 1º/jul. ao dia 15/jan. (199 dias). Portanto, em geral, o primeiro período (que abrange quase todo o primeiro semestre de cada ano) apresenta maiores vazões que o segundo, o que pode ser equivalente a dizer que o primeiro dos períodos acima definidos é mais chuvoso que o segundo. Em termos de valores médios da soma dos valores diários referida, o primeiro período é 19,88% mais chuvoso que o segundo.

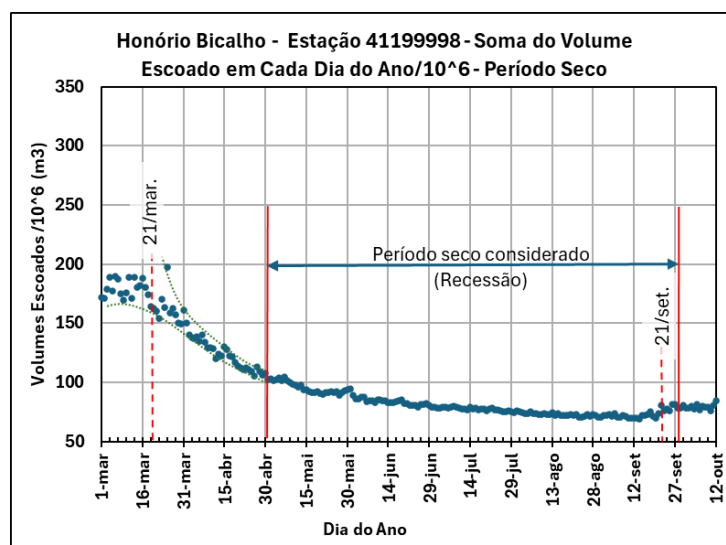
O gráfico a seguir, elaborado segundo esse princípio de partição, mostra à esquerda a curva ascendente (linha pontilhada vermelha) das somas dos volumes escoados, culminando com o ponto do dia 3 de janeiro, já mencionado. À direita, mostra-se a curva descendente dos volumes (linha pontilhada preta). O dia 15 de janeiro, visualmente, situa-se bem ao meio dessas duas curvas. Assinala-se, no gráfico, as datas adotadas como início e fim do período úmido (linhas verticais vermelhas, pelos dias 1º de outubro e 30 de abril). As setas apontam para os dias dos

equinócios da primavera e do outono (21 a 23/09 e 20 a 23/03) os quais, a princípio, poderiam ser tomados como sendo as datas de início e de fim do período úmido. Porém, observando-se o gráfico de distribuição das vazões ao longo de todos os 52,6 anos da série verifica-se que ocorreram várias vazões altas no final de março e no princípio de abril e, assim, por segurança, poder-se-ia adotar como início do período seco o dia 15 de abril, o que excluiria quase que completamente a chance de se ter alguma vazão maior a partir desse dia, ou seja, tornaria mais confiável o estudo da recessão a partir desse dia. Entre os dias 21 e 30 de setembro a série registra, também, algumas vazões maiores, o que recomendaria adotar o dia 21 de setembro como sendo o final do período seco. Para simplificar a análise, entretanto, tomando-se meses completos para os períodos seco e úmido, resolveu-se adotar como data de início do período seco o dia 1º de maio e data final, o dia 30 de setembro.



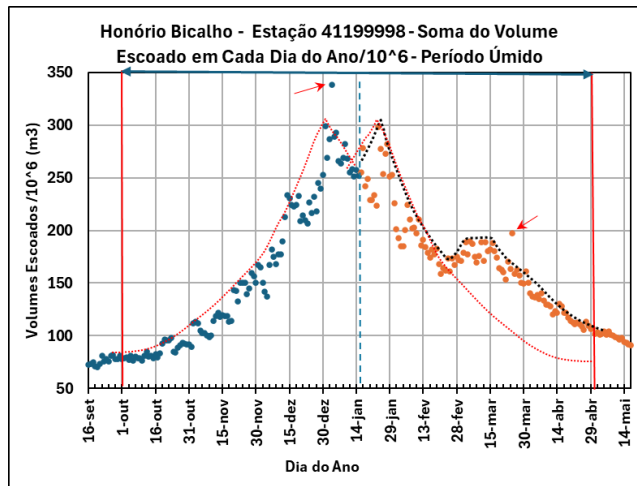
**Volume total escoado por dia do ano – Centro do ciclo hidrológico**

Um “zoom” do gráfico acima, abrangendo o período de 1º de março a 12 de outubro, permite ver a variabilidade dos valores acumulados dos volumes desde o início de março até o final de abril, valores esses que se situam entre as duas curvas envoltórias (linhas pontilhadas azuis) que convergem até se encontrarem por volta de 30 de abril. A partir dessa data, até 21 de setembro, os valores acumulados formam praticamente uma linha contínua, quase sem variações, denotando o comportamento ideal esperado para um período de recessão, ou sem oscilações provocadas por chuvas.



**Volume total escoado por dia do ano – Período seco**

Uma ampliação do gráfico anual de volumes do período úmido permite a visualização de algumas características bastante peculiares (ver abaixo). As curvas ascendente e descendente dos valores de volumes acumulados são praticamente simétricas com relação à data central de 15 de janeiro entre as datas de 30/nov. e 25/fev. Isso sugere um comportamento, em média, uniforme no que diz respeito ao aumento e à redução das chuvas durante o período úmido.

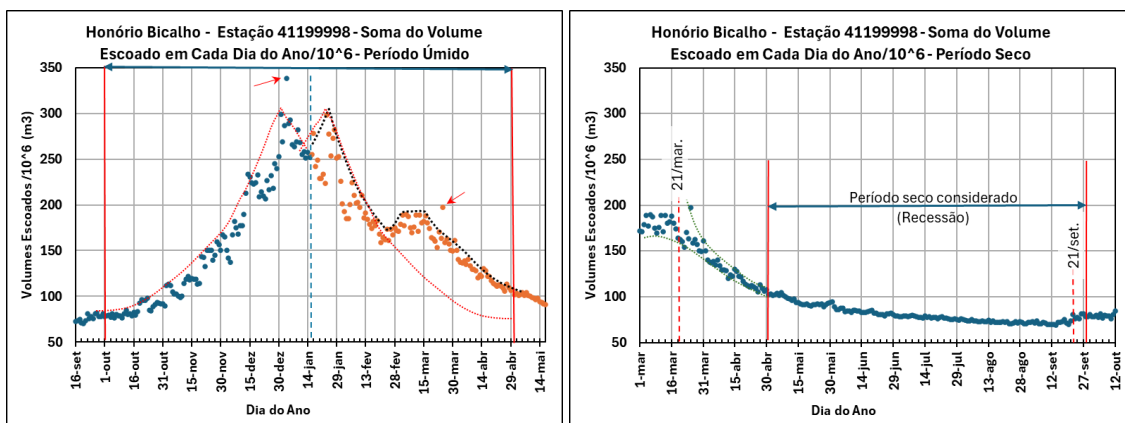


**Volume total escoado por dia do ano – Centro do ciclo hidrológico**

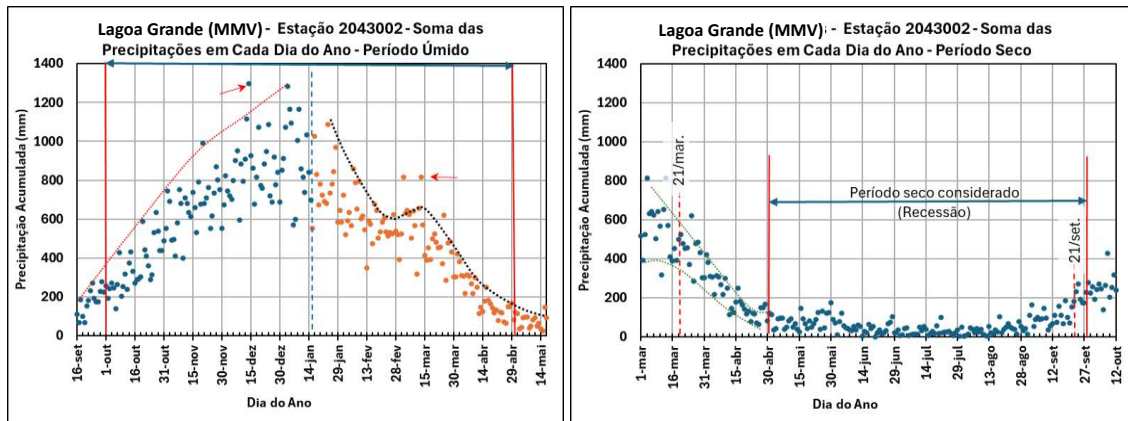
Entre 26/fev. e 18/mar. os volumes acumulados crescem novamente, reduzindo-se depois, de maneira mais uniforme a partir do dia 19 de março<sup>2</sup>, nas vésperas do equinócio do outono (que ocorre de 20 a 23 de março, dependendo do ano), o que denota que é comum que se tenha menos chuvas em fevereiro e recrudescimento delas desde o final de fevereiro até pouco depois da metade de março.

Dois pontos se destacam fora das curvas, indicando um comportamento histórico particular: os do dia 3 de janeiro e o do dia 25 de março (indicados por setas).

Os gráficos acima podem ser comparados aos das precipitações acumuladas da Estação Lagoa Grande (MMV) para demonstrar a similaridade entre o ciclo pluviométrico e o fluviométrico, comportamento esse que é o esperado:



<sup>2</sup> É curioso notar que, por volta dos dias 15 a 19 de março, de acordo com a tradição popular de Minas Gerais, é comum que ocorra o que é denominado “enchente das goiabas, ou “enchente de São José”.



## Conclusões

Foi realizada a análise da série histórica de vazões da Estação Honório Bicalho, cobrindo um período de 19.211 dias (de 27/04/1971 a 30/11/2023), com foco na identificação de tendências e padrões nas vazões diárias. As principais conclusões são:

1. **Tendência de aumento das vazões máximas:** A análise visual e a envoltória das vazões máximas sugerem um aumento nos picos de vazão ao longo do tempo, com vazões de 466 e 477 em 1997 e 2012  $\text{m}^3/\text{s}$  nos primeiros dias de janeiro de 1997 e 2012 respectivamente e 715,0  $\text{m}^3/\text{s}$  no dia 09/01/2022. Isso pode estar associado a chuvas mais intensas devido às mudanças climáticas.
2. **Redução das vazões médias e baixas:** A reta de regressão linear indica uma tendência de longo prazo de redução das vazões intermediárias e baixas, o que pode impactar a disponibilidade hídrica e a segurança do abastecimento.
3. **Concentração das maiores vazões em janeiro:** As maiores vazões históricas ocorreram predominantemente em janeiro, com dois períodos críticos: início de janeiro (2 a 11) e final de janeiro (24 a 28). Esses períodos representam maior risco de enchentes desastrosas.
4. **Definição dos períodos úmido e seco:**
  - Período úmido: 1º de outubro a 30 de abril, com maior ocorrência de vazões altas.
  - Período seco: 1º de maio a 30 de setembro, caracterizado por vazões mais baixas e estáveis.
5. **Inconsistência nos dados de 2022:** A vazão registrada para 09/01/2022 (505,43  $\text{m}^3/\text{s}$ ) foi revisada pela ANA, em jul./2022,, como resultado do presente trabalho, para 715  $\text{m}^3/\text{s}$ , tornando-se o maior valor da série e reforçando a tendência de aumento das vazões máximas.
6. **Distribuição dos volumes escoados:**
  - Janeiro é o mês com maior volume escoado, sendo o dia 3 de janeiro o de maior probabilidade de vazões altas.
  - Metade do volume total escoado ocorre entre 16 de janeiro e 30 de junho, indicando maior precipitação no primeiro semestre do ano.
7. **Comportamento cíclico das vazões:**

- O ciclo hidrológico é centrado em 15 de janeiro, com simetria no aumento e redução das vazões durante o período úmido.
  - Recrudescimento de chuvas no final de fevereiro e início de março, seguido de redução mais uniforme após o equinócio de outono.
8. **Correlação entre ciclos pluviométricos e fluviométricos:** Os gráficos de vazões e precipitações mostram similaridade, confirmando a relação esperada entre chuvas e vazões.

Em resumo, a análise revela uma tendência de aumento das vazões máximas (especialmente em janeiro) e redução das vazões médias e baixas, com implicações para a gestão de recursos hídricos e a prevenção de enchentes. A definição clara dos períodos úmido e seco, aliada à identificação de padrões históricos, fornece subsídios para o planejamento e mitigação de riscos.

### 6.3.3 Análise Descritiva e Análise Inferencial (Tendências)

#### 6.3.3.1 Períodos Decenais

Para a análise inicial, como já mencionado nesse documento, introduziu-se nesse estudo – o que pode se constituir uma proposta para estudos semelhantes – o critério de divisão do conjunto de dados em períodos que abarquem uma fração igual do volume total escoado pelo rio em toda a duração da série. Tendo em vista a duração da série, escolheu-se dividi-la em 5 períodos, cada um com 20% (1/5) do volume total escoado, o que resultou em períodos de duração aproximada de um decênio.

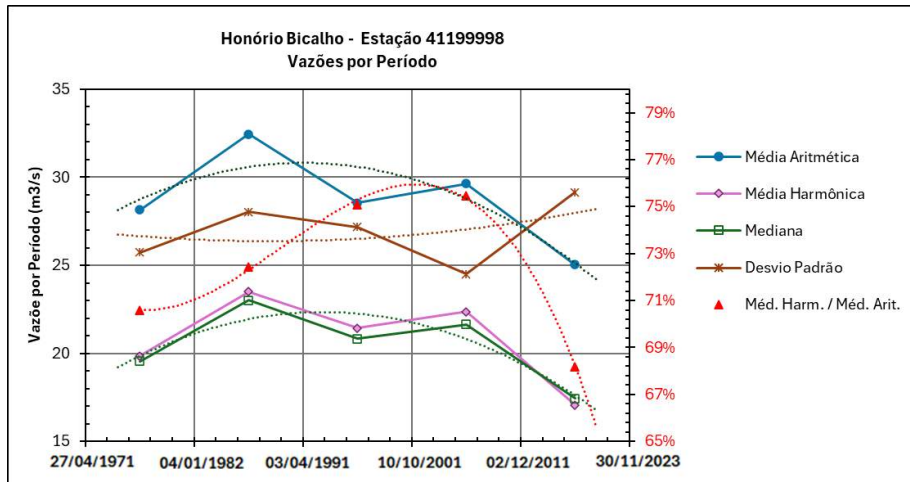
A tabela a seguir, resultante da análise preliminar dos dados da série, apresenta os parâmetros característicos resultantes da adoção do critério acima descrito. As datas de início e de fim de cada período são apresentadas, bem como a quantidade de dias de cada período. O aumento da quantidade de dias para escoar um mesmo volume (terceira linha de valores da tabela), por si só indica uma tendência da redução geral das vazões ao longo do tempo.

	Série Completa	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	
Data do início do período	27/04/1971	27/04/1971	04/01/1982	03/04/1991	10/10/2001	02/12/2011	-
Data do final do período	30/11/2023	03/01/1982	02/04/1991	09/10/2001	01/12/2011	30/11/2023	-
Quantidade de dias da série	19211	3905	3376	3843	3705	4382	-
Total de dados	19211	3905	3376	3843	3705	4382	-
Abrangência dos dados no período	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	-
Média Aritmética	28,55	28,15	32,46	28,55	29,63	25,00	m <sup>3</sup> /s
Mediana	20,42	19,55	23,01	20,83	21,64	17,43	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica	20,39	19,86	23,51	21,44	22,37	17,06	m <sup>3</sup> /s
Média Harmônica/Média Aritmética	71,43%	70,57%	72,45%	75,08%	75,48%	68,24%	%
Desvio padrão	27,35	25,72	28,03	27,18	24,50	30,08	m <sup>3</sup> /s
Volume total escoado no período	47.393,98	9.494,83	9.466,81	9.480,86	9.486,05	9.464,31	Mm <sup>3</sup>
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	%
Vazão diária máxima do período	715,00	330,82	352,35	470,59	319,12	715,00	m <sup>3</sup> /s
Vazão diária mínima do período	3,56	7,22	11,67	8,92	8,99	3,56	m <sup>3</sup> /s
Amplitude	201,12	45,84	30,19	52,78	35,51	201,12	m <sup>3</sup> /s

O gráfico a seguir apresenta a evolução de algumas das medidas estatísticas ao longo da duração da série. Pode-se visualizar nitidamente uma tendência de queda nos valores das médias e da mediana (denotada pela curva polinomial de regressão), o que indica que, de forma geral, as vazões têm se reduzido nos períodos mais recentes, o que pode ser resultante de mudanças na disponibilidade de água ao longo do tempo, que tanto podem relacionadas a fatores climáticos, quando a alterações no uso das águas superficiais e subterrâneas. O aumento do desvio padrão

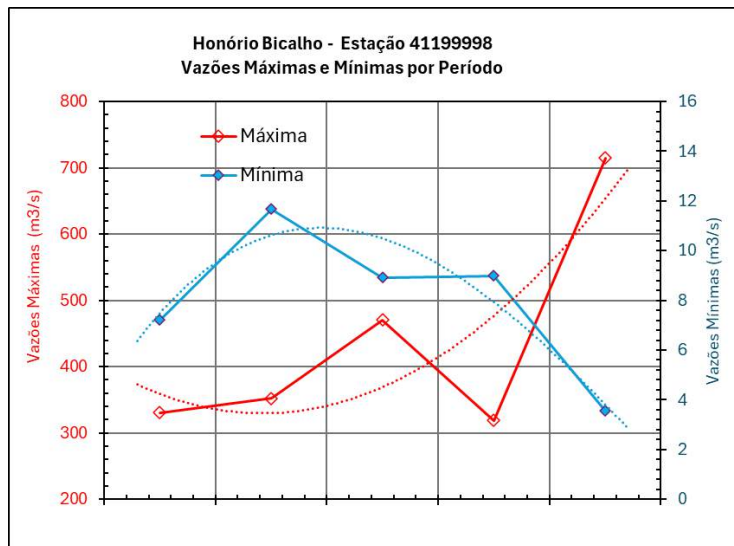
está associado à observação, feita acima, do incremento de eventos extremos de cheia e, simultaneamente, à redução dos valores das vazões intermediárias e baixas.

A tendência de redução da mediana e da média harmônica pode ser considerada um indicador da redução progressiva das baixas vazões do rio, o que impacta diretamente sobre a segurança hídrica da RMBH. O menor valor da relação entre as médias harmônica e aritmética no último período (propositalmente acentuada, para melhor visualização, pelo uso de um polinômio de 3º grau como curva de regressão) também é um indicador dessa tendência.



Medidas estatísticas das vazões diárias registradas na Estação

O gráfico a seguir pode ser considerado como confirmação das tendências, já citadas acima, de aumento na intensidade das cheias e de redução das baixas vazões.



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação

O valor da vazão do dia 09/01/2022 que consta da série da ANA (portal HidroWeb) para essa Estação foi de 505,43 m³/s. Conforme comentado no item referente à Estação de Rio Acima, esse valor pode estar subestimado e é mais provável que a vazão, nesse dia, tenha sido de aprox. 700 m³/s, o que acentuaria bastante a tendência de crescimento das máximas mostrada no gráfico.

## Conclusões

Foi realizada uma análise das tendências das vazões ao longo da série histórica da Estação Honório Bicalho utilizando a divisão dos dados em períodos que representam frações iguais do volume total escoado pelo rio. As principais conclusões são:

1. **Divisão da série em períodos com volumes iguais:** A série foi dividida em 5 períodos, cada um representando 20% do volume total escoado, resultando em intervalos de aproximadamente uma década. Essa abordagem revelou um aumento no número de dias necessários para escoar o mesmo volume, indicando uma tendência de redução geral das vazões ao longo do tempo.
2. **Tendência de queda nas médias e na mediana:** A análise estatística mostrou uma redução progressiva nas médias e na mediana das vazões, sugerindo uma diminuição na disponibilidade de água ao longo do tempo. Essa tendência pode estar relacionada a fatores climáticos ou a mudanças no uso das águas superficiais e subterrâneas.
3. **Aumento do desvio padrão e eventos extremos:** O aumento do desvio padrão indica uma maior variabilidade nas vazões, com incremento de eventos extremos de cheias e, simultaneamente, redução das vazões intermediárias e baixas. Isso reforça a ocorrência de fenômenos mais intensos e contrastantes.
4. **Redução das baixas vazões e impacto na segurança hídrica:** A queda na mediana e na média harmônica sugere uma redução progressiva das baixas vazões, impactando diretamente a segurança hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).
5. **Confirmação das tendências de cheias e baixas vazões:** Gráficos e dados confirmam a tendência de aumento na intensidade das cheias e de redução das baixas vazões.

Em resumo, o estudo aponta para uma redução geral das vazões ao longo do tempo, com aumento na intensidade de eventos extremos de cheias e diminuição das vazões baixas, o que representa um desafio significativo para a gestão hídrica e a segurança da RMBH.

#### 6.3.3.2 Vazões Mínimas Históricas

O Rio das Velhas atingiu sua vazão mínima histórica de 3,55 m<sup>3</sup>/s em Honório Bicalho nos dias 13, 14 e 15 de 2017. O que a princípio poderia ser tomado como “outliers” foi, na verdade consequência de um período crítico, com vazões extremamente baixas, que já vinham se reduzindo desde o início de julho daquele ano.

O Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH/Velhas), por meio do seu grupo Convazão (coordenado pela Copasa e composto por representantes da Cemig, Anglo Gold e CBH Velhas) já tinha alertado desde meados de agosto que a vazão do rio estava extremamente baixa e que medidas emergenciais já estavam sendo tomadas. Para tentar aumentar a vazão as seguintes providências foram tomadas, de acordo com notícia veiculada pelo CBH/Velhas em 17/08/2017<sup>3</sup>:

1. redução da captação da Copasa na ETA Bela Fama para abastecimento da Grande BH, de 6,5 m<sup>3</sup>/s para 5,5 m<sup>3</sup>/s, corte de 15%;
2. paralização, pela Vale, de sua captação na Mina da Fábrica, deixando de puxar água do Córrego Mata Porcos nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2017;
3. redução em 50%, pela Vale, de sua captação no Rio Itabirito para sua unidade de Vargem Grande (juntas, as duas reduções da Vale proporcionariam um aumento de 0,34 m<sup>3</sup>/s no leito do Velhas;

<sup>3</sup> Disponível em:

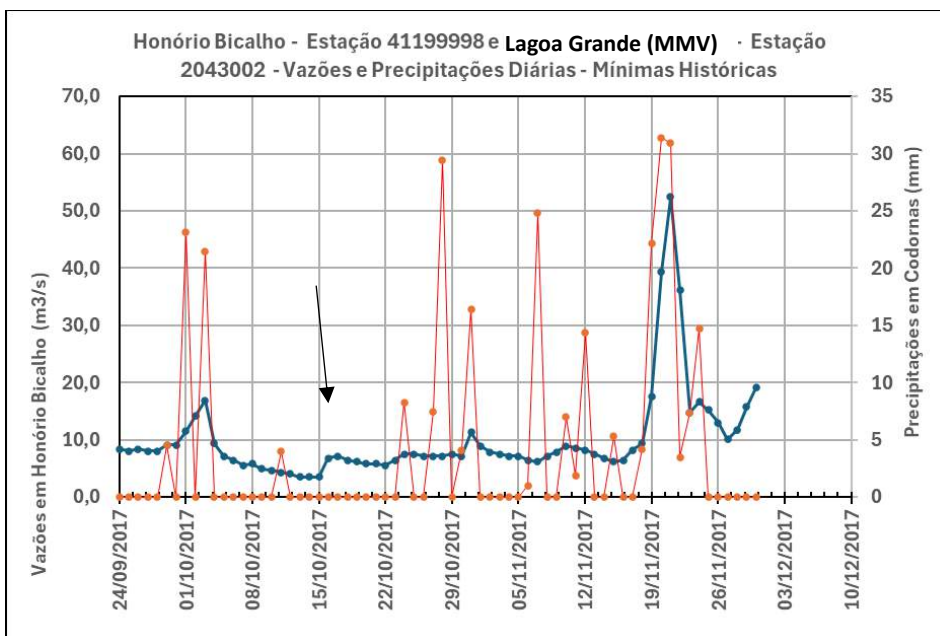
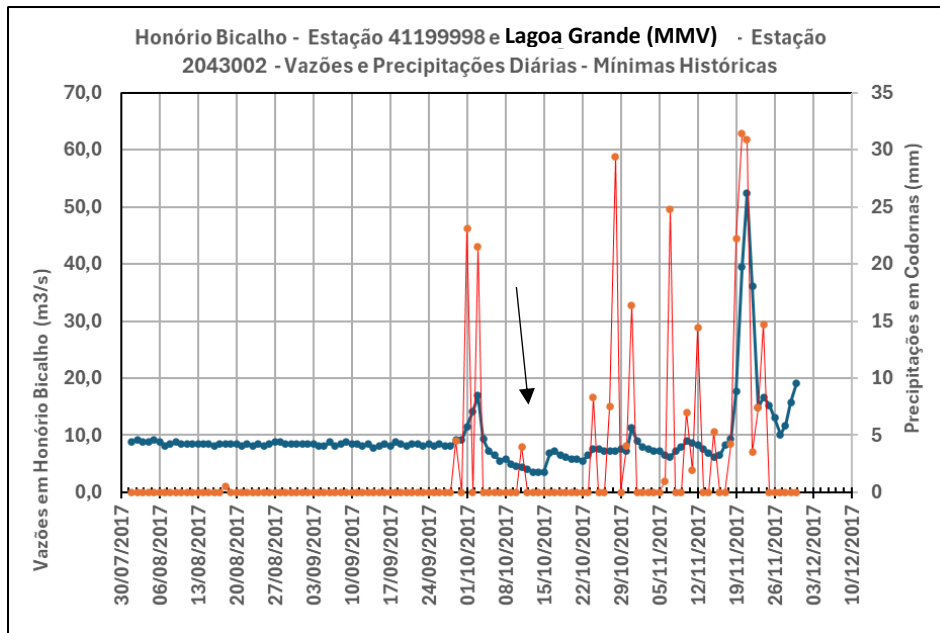
[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/08/17/interna\\_gerais,892583/comite-alerta-para-necessidade-de-revitalizacao-do-rio-das-velhas.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/08/17/interna_gerais,892583/comite-alerta-para-necessidade-de-revitalizacao-do-rio-das-velhas.shtml). Acesso em 21/03/2025.

4. continuação, pela Anglogold, da liberação de uma vazão de 2,0 m<sup>3</sup>/s em seu sistema Rio do Peixe (ou seja, liberação de água das lagoas das Codornas, dos Ingleses e do Miguelão;
5. a Cemig se comprometeu a aumentar a vazão da Represa de Acuruí, contribuindo para liberar mais água para o Velhas e assim deixando o manancial mais tempo longe do período de restrição extrema.

Os valores das vazões nos meses de agosto a novembro de 2017, registrados na Estação Honório Bicalho e os das precipitações registradas na Estação Lagoa Grande (MMV) são informados nas tabelas a seguir plotados nos dois gráficos que as seguem:

Vazões Registradas na Estação Honório Bicalho de Agosto a Novembro de 2017 (m <sup>3</sup> /s)							
Data	Vazão	Data	Vazão	Data	Vazão	Data	Vazão
01/08/2017	8,77	01/09/2017	8,40	01/10/2017	11,55	01/11/2017	8,97
02/08/2017	9,15	02/09/2017	8,40	02/10/2017	14,15	02/11/2017	7,87
03/08/2017	8,77	03/09/2017	8,40	03/10/2017	16,94	03/11/2017	7,52
04/08/2017	8,77	04/09/2017	8,04	04/10/2017	9,35	04/11/2017	7,17
05/08/2017	9,15	05/09/2017	8,04	05/10/2017	7,17	05/11/2017	7,17
06/08/2017	8,77	06/09/2017	8,77	06/10/2017	6,50	06/11/2017	6,50
07/08/2017	8,04	07/09/2017	8,04	07/10/2017	5,54	07/11/2017	6,18
08/08/2017	8,40	08/09/2017	8,40	08/10/2017	5,86	08/11/2017	7,17
09/08/2017	8,77	09/09/2017	8,77	09/10/2017	4,94	09/11/2017	7,87
10/08/2017	8,40	10/09/2017	8,40	10/10/2017	4,65	10/11/2017	8,97
11/08/2017	8,40	11/09/2017	8,40	11/10/2017	4,36	11/11/2017	8,60
12/08/2017	8,40	12/09/2017	8,04	12/10/2017	4,09	12/11/2017	8,23
13/08/2017	8,40	13/09/2017	8,40	13/10/2017	3,555	13/11/2017	7,52
14/08/2017	8,40	14/09/2017	7,68	14/10/2017	3,555	14/11/2017	6,83
15/08/2017	8,40	15/09/2017	8,04	15/10/2017	3,555	15/11/2017	6,18
16/08/2017	8,04	16/09/2017	8,40	16/10/2017	6,83	16/11/2017	6,50
17/08/2017	8,40	17/09/2017	8,04	17/10/2017	7,17	17/11/2017	8,23
18/08/2017	8,40	18/09/2017	8,77	18/10/2017	6,50	18/11/2017	9,35
19/08/2017	8,40	19/09/2017	8,40	19/10/2017	6,18	19/11/2017	17,67
20/08/2017	8,40	20/09/2017	8,04	20/10/2017	5,86	20/11/2017	39,44
21/08/2017	8,04	21/09/2017	8,40	21/10/2017	5,86	21/11/2017	52,42
22/08/2017	8,40	22/09/2017	8,40	22/10/2017	5,54	22/11/2017	36,10
23/08/2017	8,04	23/09/2017	8,04	23/10/2017	6,50	23/11/2017	14,81
24/08/2017	8,40	24/09/2017	8,40	24/10/2017	7,52	24/11/2017	16,69
25/08/2017	8,04	25/09/2017	8,04	25/10/2017	7,52	25/11/2017	15,27
26/08/2017	8,40	26/09/2017	8,40	26/10/2017	7,17	26/11/2017	13,02
27/08/2017	8,77	27/09/2017	8,04	27/10/2017	7,17	27/11/2017	10,12
28/08/2017	8,77	28/09/2017	8,04	28/10/2017	7,17	28/11/2017	11,74
29/08/2017	8,40	29/09/2017	9,15	29/10/2017	7,52	29/11/2017	15,74
30/08/2017	8,40	30/09/2017	9,15	30/10/2017	7,17	30/11/2017	19,17
31/08/2017	8,40			31/10/2017	11,33		

Precipitações Registradas na Estação Lagoa Grande (MMV)							
Data	Precipit.	Data	Precipit.	Data	Precipit.	Data	Precipit.
18/08/2017	0,5	27/10/2017	7,5	10/11/2017	7	20/11/2017	31,4
29/09/2017	4,5	28/10/2017	29,4	11/11/2017	1,9	21/11/2017	30,9
01/10/2017	23,1	30/10/2017	4,1	12/11/2017	14,4	22/11/2017	3,5
03/10/2017	21,5	31/10/2017	16,4	15/11/2017	5,3	23/11/2017	7,4
11/10/2017	4	06/11/2017	1	18/11/2017	4,2	24/11/2017	14,7
24/10/2017	8,3	07/11/2017	24,8	19/11/2017	22,2		



Devido às providências acima listadas, as vazões do Velhas se mantiveram na faixa de 8,04 a 9,15 m<sup>3</sup>/s até do dia 30 de setembro de 2017. Nos dias 29/09, 01 e 03/10 ocorreram chuvas de 4,5, 23,1 e 21,5 mm (Lagoa Grande (MMV), com precipitações também em outras áreas da bacia), que fizeram a vazão, em Honório Bicalho, elevar-se a 16,94 m<sup>3</sup>/s. Esse aumento de vazão ocasionou o cancelamento dos cortes de vazão pela Vale e aporte de água adicional pela CEMIG e AngloGold, o que resultou em queda progressiva das vazões até o mínimo de 3,55 m<sup>3</sup>/s, pois as chuvas somente retornaram no final de outubro (os 4 mm registrados em 11/10 não fizeram efeito nas vazões).

Devido à situação crítica das vazões, em 16/10 as liberações de água e interrupção de captação foram retomadas, proporcionando um aporte adicional de cerca de 2,5 m<sup>3</sup>/s, com novo aporte a partir de 23/10. As vazões somente voltaram a atingir valores superiores a 10 m<sup>3</sup>/s a partir de meados de novembro, pois as chuvas que ocorreram de 24/10 a 12/11 não resultaram em aumento expressivo das vazões, provavelmente por terem sido distribuídas ao longo dos dias de chuva de modo que abstração inicial impediu que volumes maiores chegassem ao rio.

Para melhor evidenciar a situação crítica da seca de 2017, situação que tem se repetido, de forma um pouco menos intensa, até os dias de hoje, a seguir são reproduzidos trechos extraídos da notícia do CBH/Velhas acima mencionada:

*“Manter o Rio das Velhas minimamente vivo (...) Esse é o objetivo do Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH/Velhas), a partir do anúncio de quatro medidas emergenciais para que as vazões do manancial na região de Honório Bicalho (...) não baixem além do limite de 9 metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), o que já é um volume menor do que a vazão média mínima histórica do curso d’água nesse ponto, de 10,25  $m^3/s$ . (...)”*

*“Nesses últimos quatro anos tem sido mais ou menos esse o cenário. O que temos assistido é a uma perda cada vez maior de rio. Cada vez nosso rio tem diminuído em quantidade, qualidade e vitalidade. Mesmo que chova muito, se não revertermos o quadro para que o solo possa se alimentar de água, possa manter essa água durante o ano fortalecendo nascentes, vamos ter cada vez rios mais secos e isso cria uma insegurança hídrica para a capital a médio e longo prazos”, diz o presidente do CBH/Velhas (Marcus Vinícius Polignano).*

*O ideal seria que a vazão nunca ficasse abaixo da barreira de 10,25  $m^3/s$  (...). Porém, na primeira quinzena de agosto, por 11 dias seguidos o volume ficou abaixo da marca (...). Isso é suficiente para que essa porção do manancial entre em estado de alerta, último estágio antes que se torne obrigatório o corte nas captações, conforme Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos número 49, de 25 de março de 2015. (...)”*

*Se a situação piorar e permanecer durante uma semana rompendo a barreira de 70% do valor médio mínimo dos últimos 10 anos, o próximo passo é a restrição obrigatória do uso da água. Nesse caso, as vazões teriam que permanecer, durante pelo menos sete dias seguidos, abaixo de 7,17  $m^3/s$ , valor equivalente a 70% dos 10,25  $m^3/s$ . (...)”*

*“A gente tem alertado que essa não é uma situação somente conjuntural, de falta de chuva. Nós temos um problema muito maior, que é a gestão da bacia. Na medida em que estamos impermeabilizando, desmatando, acabando com nascentes, nós estamos deixando de ter um sistema alimentador da produção da água do rio. E temos que entender que o rio tem que sobreviver não só no período de chuva”, completa Marcus Vinícius Polignano.*

*Para monitorar as baixas vazões dos mananciais que cortam Minas Gerais durante o período seco, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente criou a Q7,10, valor médio mínimo de vazão medido nas estações de monitoramento durante sete dias consecutivos nos últimos 10 anos. As variações nas vazões consideram esse patamar, que na estação Honório Bicalho do Rio das Velhas é de 10,25  $m^3/s$ , para determinar qual é a situação do manancial. Entre 100% e 200% da Q7,10, o rio fica em estado de atenção. Entre 70% e 100% da Q7,10, o estado é considerado de alerta. Abaixo de 70% da Q7,10, está configurada a restrição de uso, tornando obrigatório o corte nas captações, que segue a regra:*

- 20% de redução para consumo humano
- 25% de redução para irrigação
- 30% de redução para indústria
- 50% para outras finalidades.”

Apesar da vazão do rio ter permanecido 11 dias seguidos com valores inferiores a 70% da Q7,10 (7,12  $m^3/s$ ) não foi declarado o estado de restrição hídrica prescrito pelas normas vigentes.

Notícia divulgada em 09/08/2017<sup>4</sup> informava:

*“A vazão do Rio das Velhas está baixa há pelo menos 30 dias. Em 8 de julho, a vazão estava em 11,3  $m^3/s$ . Chegou a subir para 12,8  $m^3/s$  oito dias depois, mas desde 26 de julho não supera os 10,6  $m^3/s$ . Por duas vezes, atingiu a marca de 8,85  $m^3/s$ , a menor do ano. Mas são os dados dos últimos cinco dias que preocupam. Se a vazão abaixo de 10  $m^3/s$  se mantiver por sete dias consecutivos, o curso d’água entra em estado de restrição de uso.*

<sup>4</sup> Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/08/09/interna\\_gerais,890450/rio-das-velhas-esta-a-dois-dias-de-entrar-em-estado-de-restricao-de-us.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/08/09/interna_gerais,890450/rio-das-velhas-esta-a-dois-dias-de-entrar-em-estado-de-restricao-de-us.shtml). Acesso em 21/03/2025.

*O presidente do CBH Velhas, Marcus Vinícius Polignano, diz que a situação é crítica. “É extremamente preocupante. Queremos dar um grito de alerta para a população, pois o Rio das Velhas já entrou em alerta. Está com uma vazão abaixo daquilo que se poderia tirar. Isso significa que o rio está em escassez grave”, afirmou. Polignano explicou ainda que a Copasa retira em torno de 6,5 m<sup>3</sup>/s do Rio das Velhas para atender à Grande BH. Considerada a vazão de ontem, sobrariam apenas 2,35 m<sup>3</sup>/s para o rio continuar a correr. (...)*

*O comitê da bacia pretende anunciar medidas nas próximas semanas para enfrentar esse período de seca. “Será uma série de providências para fazer uma política de suporte e tentar dar uma sobrevida ao rio. Já mostramos a situação de sofrimento que o rio está vivendo e isso requer ajuda de todos os usuários, desde empresas até a população. Tem que haver um consumo mais sustentável, porque vamos passar por uma fase crítica pelo menos até novembro, que é quando há previsão de chuva. Temos três meses pela frente e nosso rio está em um estado crítico. Acende todos os sinais possíveis de alerta sobre a gravidade da situação que estamos vivendo”, advertiu Polignano.”*

A gravidade da situação do Velhas e da seca no Estado de Minas Gerais foram objeto de Audiência Pública da ALMG realizada na quinta-feira (21/9/17)<sup>5</sup>.

**As baixas vazões mostradas na tabela acima não se constituem, portanto, “outliers” e devem ser consideradas válidas para as análises feitas no presente documento.**

#### 6.3.3.3 Médias Anuais e dos Períodos Úmidos e Secos

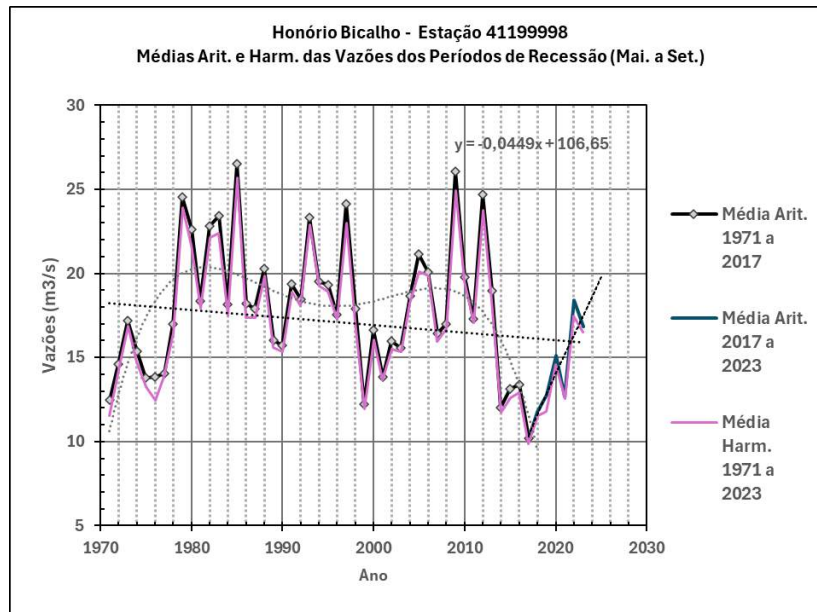
No item anterior foi feito um estudo preliminar de tendências dos períodos aprox. decenais, ou seja, sob uma visão mais ampla. A seguir adota-se como que uma lupa para examinar o comportamento das vazões não apenas durante um ano completo, mas também durante os períodos seco e úmido de cada ano.

Para uma análise das tendências de médio e longo prazos de redução das vazões menores, necessária para as avaliações concernentes à segurança hídrica da RMBH, se faz necessário focar no comportamento das vazões durante o período de recessão (período seco do ano) que, no caso da bacia do Alto Velhas, pode ser considerado se estendendo do início de maio até o final de setembro.

---

<sup>5</sup> Disponível em:

[https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2017/09/21\\_participacao\\_popular\\_crise\\_hidrica\\_comites\\_bacias.html](https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2017/09/21_participacao_popular_crise_hidrica_comites_bacias.html). Acesso em 21/03/2025.

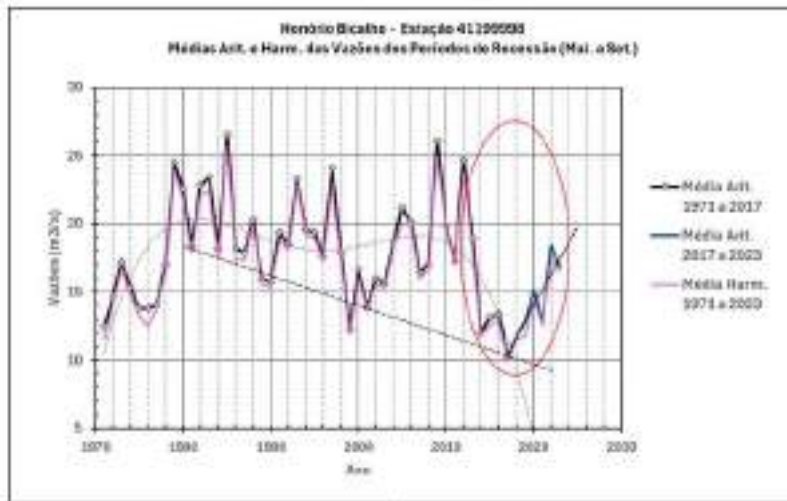


**Médias aritmética e harmônica dos períodos de recessão (1º/maio e 30/setembro)**

Evidencia-se, nesse gráfico, que a média aritmética e a harmônica têm valores praticamente coincidentes e isso se deve à pequena variabilidade das vazões durante o período de recessão (pequeno desvio padrão). Como já destacado, a média harmônica representa melhor os valores mais baixos em um conjunto de dados que inclui valores em uma ampla faixa. O polinômio de interpolação utilizado, nesse caso, tem como único objetivo apontar um comportamento geral, com ênfase na queda acentuada das vazões de 2014 a 2017, seguida de uma recuperação, mais lenta que a queda, a começar de 2018 e indicada pela reta inclinada. A queda dos valores das médias em 2023 (último ponto do gráfico) considera os dados até o final de novembro daquele ano, ou seja, seria reduzida ou, até mesmo invertida, se a série tivesse incluído o mês de dez./2023. Se adotada uma reta de regressão para o período completo da série, em que pesem as variações cíclicas, evidencia-se a redução geral das médias de vazões (coeficiente negativo da variável), o que implica em riscos à segurança hídrica da RMBH.

Visualmente, é possível identificar no gráfico acima apresentado, em um período de cerca de 40 anos, tendência gerais e ciclos, como descrito a seguir.

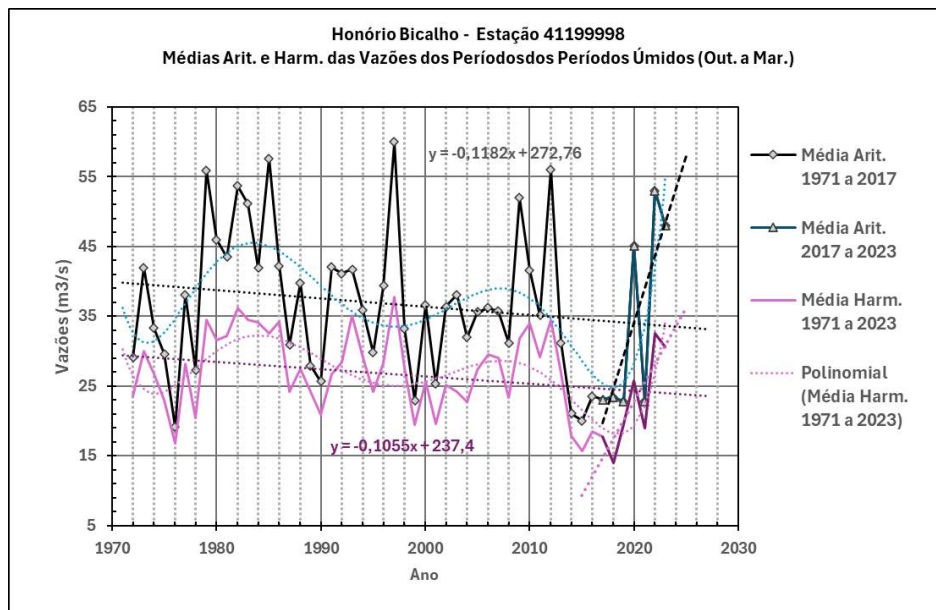
O período de 2012 a 2024, destacado a seguir por meio de um círculo, com as curvas de vazão média do período seco formando um grande “V”, não encontra similar nos anos anteriores, desde o início da série, e pode apontar para uma situação atípica, talvez vinculada às mudanças climáticas. Não há como prever se algo semelhante poderá ocorrer no futuro. A reta tracejada inserida no gráfico assinala uma tendência de longo prazo, identificada visualmente, de redução das vazões mínimas dos períodos secos num período de 40 anos.



**Médias aritmética e harmônica dos períodos de recessão (1º/maio e 30/setembro)**

No gráfico abaixo, das **médias dos períodos úmidos**, pode-se ver a diferença entre as médias aritmética e harmônica, a qual se deve à grande variabilidade de vazões nesses períodos. Destacam-se, nesse gráfico, as vazões muito baixas dos períodos úmidos 2013-2014 a 2018-2019, inclusive, e de 2020-2021, devido à baixa pluviosidade, vazões essas que influenciaram muito nas vazões do Rio das Velhas nos períodos de estiagem. Em toda a série mostrada no gráfico, desde 1971, não existe período similar, com duração de tantos anos seguidos e com vazões (pluviosidade) tão baixas. Os períodos úmidos de 2013-14 a 2019-20 tiveram vazões mais baixas que as dos períodos de 1997-98 a 2007-08.

Os anos de 1976, 1978, 1980, 1999, 2001 são os únicos com vazões médias tão baixas quanto às dos 6 anos de 2013 a 2019, anos de seca esses que foram logo seguidos de dois anos de grande pluviosidade, incluindo os eventos extremos de chuva e cheias desastrosas de 24/01/2020 (478,3 m³/s) e de 09/01/2022 (715,0 m³/s). Esse fato permite cogitar se a seca prolongada daqueles anos recentes, se a seca histórica de 2024 (com grande número de incêndios em áreas de vegetação em todo o país e semanas de fumaça no ar) e se os eventos extremos de chuva mencionados já não constituem amostras do nos trarão, com maior intensidade e frequência, as mudanças climáticas.



**Médias aritmética e harmônica dos períodos úmidos (de 1º/outubro a 30/abril)**

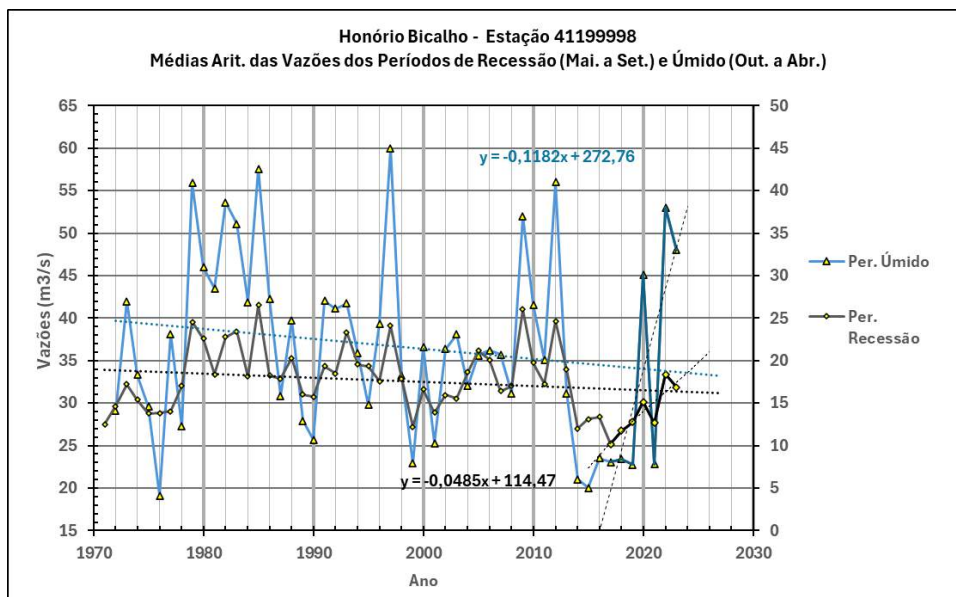
Se adotadas retas de regressão para o período completo da série, em que pesem as variações cíclicas, evidencia-se a redução geral de ambas as médias de vazões (coeficientes negativos da variável), o que implica em riscos à segurança hídrica da RMBH. Essa redução das médias está em acordo com a redução do volume total escoado pelo rio, aspecto esse analisado mais acima.

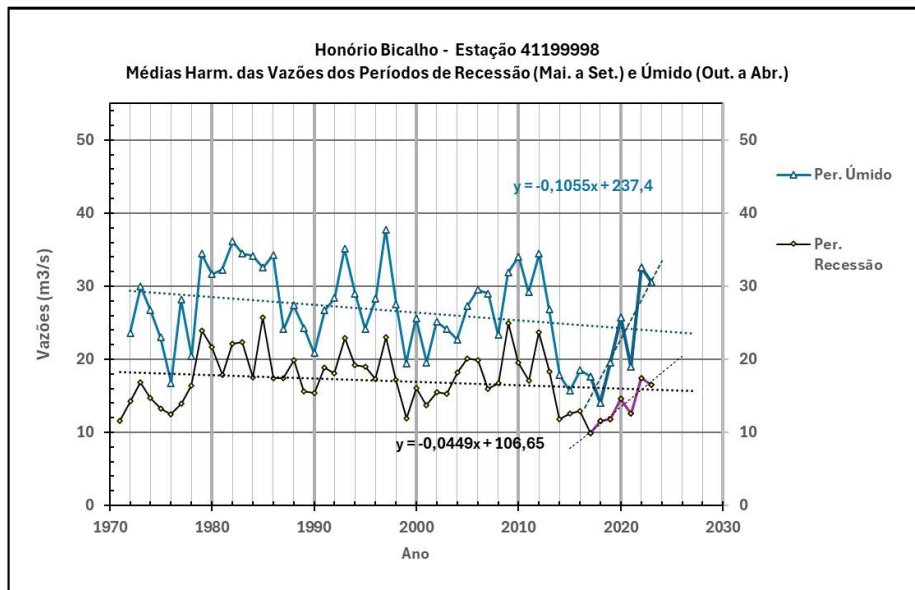
O forte aumento das vazões a começar de 2019 (retas de grande inclinação positiva) deve ser monitorado pela continuação dos registros, motivo pelo qual se faz imprescindível a reinstalação da Estação em Honório Bicalho.

As curvas de regressão polinomial sugerem alguns ciclos de aumento e redução das vazões ao longo do tempo.

Os picos de vazão (chuvas) dos períodos 2019-2020 e 2021-2022 refletiram-se na recuperação das vazões da época de seca. Para mostrar isso, a seguir se sobrepõe as curvas de médias aritméticas do período de recessão e do período úmido imediatamente anterior a ele, ou seja, que engloba os meses de outubro a dezembro do ano anterior e de janeiro a abril do ano a que se refere o período de recessão. As vazões do período úmido representam a pluviosidade desse período, o que permite avaliar a influência das chuvas do período úmido no comportamento das vazões do período seco a ele subsequente. Para melhor representar a evolução e a proporção das vazões, utiliza-se nos dois eixos (direito e esquerdo) a mesma escala, porém com um deslocamento de valores para resultar em uma sobreposição de curvas que facilite a comparação dos picos e vales.

Primeiramente, nota-se a tendência geral de redução das médias (aritmética e harmônica) de ambos os períodos (coef. negativo das variáveis das retas de regressão). Pode-se observar, no entanto, apesar das oscilações, uma forte tendência de aumento das médias de ambos os períodos a partir de 2017.





**Médias aritméticas e harmônicas dos períodos úmidos e dos secos**

Em geral, um aumento da média das vazões durante a recessão corresponde ao aumento da média do período úmido anterior e vice-versa (picos e vales das duas curvas), porém a resposta do aumento ou redução das vazões durante a recessão se faz em proporção bem menor que do que as das correspondentes alterações do período úmido anterior. Assim, as vazões durante a estiagem são sensíveis, porém não na mesma proporção, aos índices de pluviosidade do período anterior, o que é de se esperar, pois as chuvas recompõem, em parte, os aquíferos que alimentam as nascentes durante o período seco. Deve-se lembrar que médias altas durante o período úmido incluem precipitações de maior intensidade que, em geral, por não terem tempo para infiltrar no solo, aumentam o escoamento superficial e as erosões e resultam em cheias.

As médias das vazões dos períodos úmidos de 2019-2020 e 2021-2022 são altas, devido a chuvas mais intensas, concentradas. Possivelmente por esse motivo, a recuperação das vazões dos períodos secos que os seguiram se fez mais lentamente. Porém nota-se algum aumento as vazões nos períodos secos de 2018 e 2019 (assim como em 2015), mesmo sem um correspondente aumento das vazões médias dos períodos úmidos correspondentes, o que pode indicar um aumento das vazões durante estiagem devido a ações antrópicas, como por exemplo, o recurso que tem sido utilizado, coordenado pelo grupo Convazão do CBH Velhas, de se aumentar as vazões de vertimento da Lagoa dos Ingleses (Lagoa Grande), do Miguelão e das Codornas. Pode-se, também, cogitar que esteja sendo feito aumento do aporte contínuo, em córregos e ribeirões, de águas bombeadas de cavas de mineração. Essas intervenções, cada vez mais frequentes, mascaram o comportamento natural do rio, podendo gerar a impressão – em uma análise puramente teórica, que não coloque à parte os aportes de vazão artificiais – de que não há redução acentuadas das vazões nos períodos secos mais recentes.

## Conclusões

### 1. Redução Geral das Vazões

- Há uma tendência de longo prazo de redução das vazões médias nos períodos secos e nos úmidos, o que representa riscos para a segurança hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

### 2. Ciclo Atípico entre 2012 e 2024

- O período entre 2012 e 2024 apresenta um comportamento anômalo, com um padrão em forma de "V" nas curvas de vazão média dos períodos secos, indicando um declínio acentuado seguido por uma recuperação gradual. Esse fenômeno pode estar relacionado às mudanças climáticas.

### 3. Influência das Chuvas nos Períodos Secos

- Existe uma correlação entre as médias de vazão dos períodos úmidos e os subsequentes períodos secos, mas a recuperação das vazões na estiagem ocorre de forma menos expressiva do que a redução provocada por períodos úmidos de baixa pluviosidade. Isso sugere que as chuvas ajudam a recompor os aquíferos, mas o impacto nas vazões de estiagem é limitado.

### 4. Seca Prolongada e Eventos Extremos

- O período de 2013 a 2019 se destacou por uma sequência de anos com vazões muito baixas nos períodos úmidos, algo sem precedentes na série histórica desde 1971. Esse período foi seguido por eventos extremos de cheia em 2020 e 2022, o que pode ser um indicativo das consequências das mudanças climáticas.

### 5. Interferências Antrópicas nas Vazões

- Observa-se um aumento das vazões em alguns períodos secos, mesmo sem um aumento correspondente nos períodos úmidos anteriores. Isso pode estar relacionado a ações humanas, como o aumento das vazões liberadas por reservatórios e o bombeamento de água de cavas de mineração. Essas interferências podem mascarar a tendência natural de redução das vazões.

### 6. Importância do Monitoramento

- O aumento das vazões observado a partir de 2019 deve ser acompanhado de forma contínua, o que reforça a necessidade da reinstalação da estação de monitoramento em Honório Bicalho.

### 7. Efeito da Variabilidade Pluviométrica

- Os períodos úmidos recentes apresentaram chuvas intensas e concentradas, o que levou a cheias significativas, mas a recuperação das vazões durante a estiagem foi lenta. Isso indica que chuvas intensas podem aumentar o escoamento superficial sem contribuir de forma significativa para a recarga dos aquíferos.

### 8. Implicações para a Segurança Hídrica

- A redução das vazões mínimas nos períodos secos, associada à maior frequência de eventos climáticos extremos, representa um desafio crescente para a gestão dos recursos hídricos da bacia do Alto Velhas, tornando fundamental a adoção de medidas de monitoramento e gestão integrada das águas.

#### 6.3.3.4 Precipitações e Volumes Escoados Anuais e dos Períodos Úmidos e Secos

A seguir são apresentados gráficos comparando os volumes escoados pelo Rio das Velhas em Honório Bicalho e as precipitações na Lagoa Grande (MMV), para os períodos úmido e seco e para o ano completo. Nesses gráficos as séries temporais são subdivididas em três conjuntos para evidenciar tendências parciais ao longo do tempo.

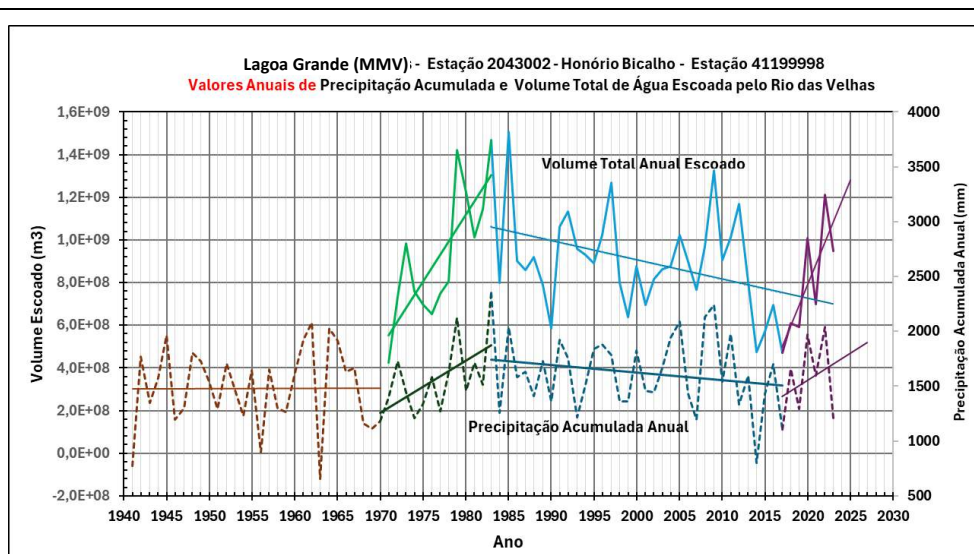
Como os volumes escoados anualmente pelo rio das Velhas são da ordem de centenas de milhões de metros cúbicos, para permitir uma avaliação comparativa mais fácil adota-se como índice o volume médio diário captado pela COPASA para abastecer a Região Metropolitana de

Belo Horizonte (RMBH). Considerando-se que a vazão média captada em Bela Fama por essa empresa é de  $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , o volume diário captado é obtido multiplicando-se esse número por 3600 segundos/ hora x 24 horas por dia, obtendo-se assim o valor de  $604.800 \text{ m}^3/\text{dia}$ , ou seja,  $0,6048 \text{ Mm}^3$  (milhões de metros cúbicos). Para referenciar esse valor adotaremos a sigla **VDA-RMBH (Volume Diário para Abastecimento da RMBH)**.

Dividindo-se, por exemplo, um volume perdido pelo rio, devido à redução das suas vazões, pelo valor VDA-RMBH, obtém o índice **TA-RMBH (Tempo de Abastecimento da RMBH)**, cuja unidade é o dia, ou seja, a quantidade equivalente de dias de abastecimento perdidos.

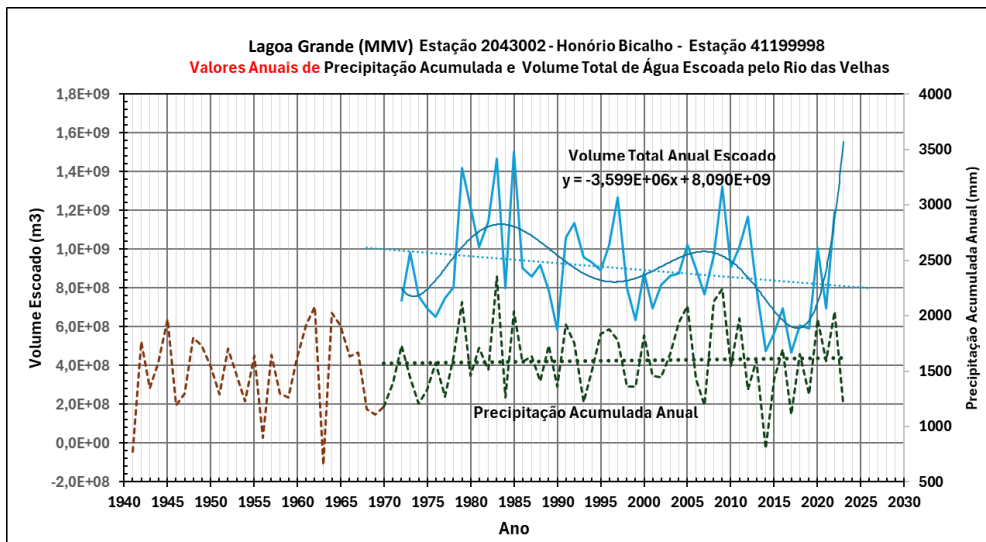
Exemplo: uma perda de volume anual escoado de  $50 \text{ Mm}^3$  em um ano corresponde a um TDA-RMBH = 82,7, ou seja, uma perda que daria para abastecer toda a RMBH por 82,7 dias.

Pode-se considerar que precipitações na Lagoa Grande (MMV) representam as precipitações de toda a região alta, entre os flancos leste e oeste, do Sinclinal Moeda, situada à margem esquerda do Rio das Velhas, uma área considerável cujas precipitações têm influência marcante nas vazões do rio. As estações Itabirito Linígrafo e Fazenda Água Limpa podem ser consideradas como representativas da parte de menor altitude (o vale) da Bacia do Alto Rio das Velhas. As diferenças das médias anuais de precipitação dessas três estações demonstram as características climáticas regionais e o efeito orográfico do Sinclinal, onde a média é maior.



Esse gráfico mostra que, em termos de valores anuais, as tendências dos volumes totais escoados referentes a três segmentos da série de Honório Bicalho (1971 a 1983, 1983 a 2017 e 2017 a 2023) estão diretamente correlacionadas com as tendências das precipitações acumuladas anuais medidas na Lagoa Grande (MMV), como se era de esperar. Verifica-se aumento progressivo e acentuado do volume escoado e das precipitações nos períodos de 1971 a 1983 e de 2017 a 2023 e redução progressiva nos 34 anos do período de 1983 a 2017.

A duração de cada um dos segmentos foi determinada com base na constatação de uma certa regularidade do comportamento das vazões durante o intervalo de tempo selecionado. Embora as tendências, sob esse ponto de vista, sejam, em geral, correspondentes, é possível que existam diferenças de pluviosidade, ao longo do tempo, que implicam na redução do volume escoado pelo rio.



Quando se considera as séries completas constata-se tendências opostas e não tendências similares como as que são verificadas quando se considera os três segmentos. Assim, tem-se tendência à redução progressiva dos volumes totais anuais escoados pelo Rio das Velhas ao longo dos 53 anos da série embora a pluviosidade anual acumulada tenha aumentado ligeiramente ao longo do mesmo período.

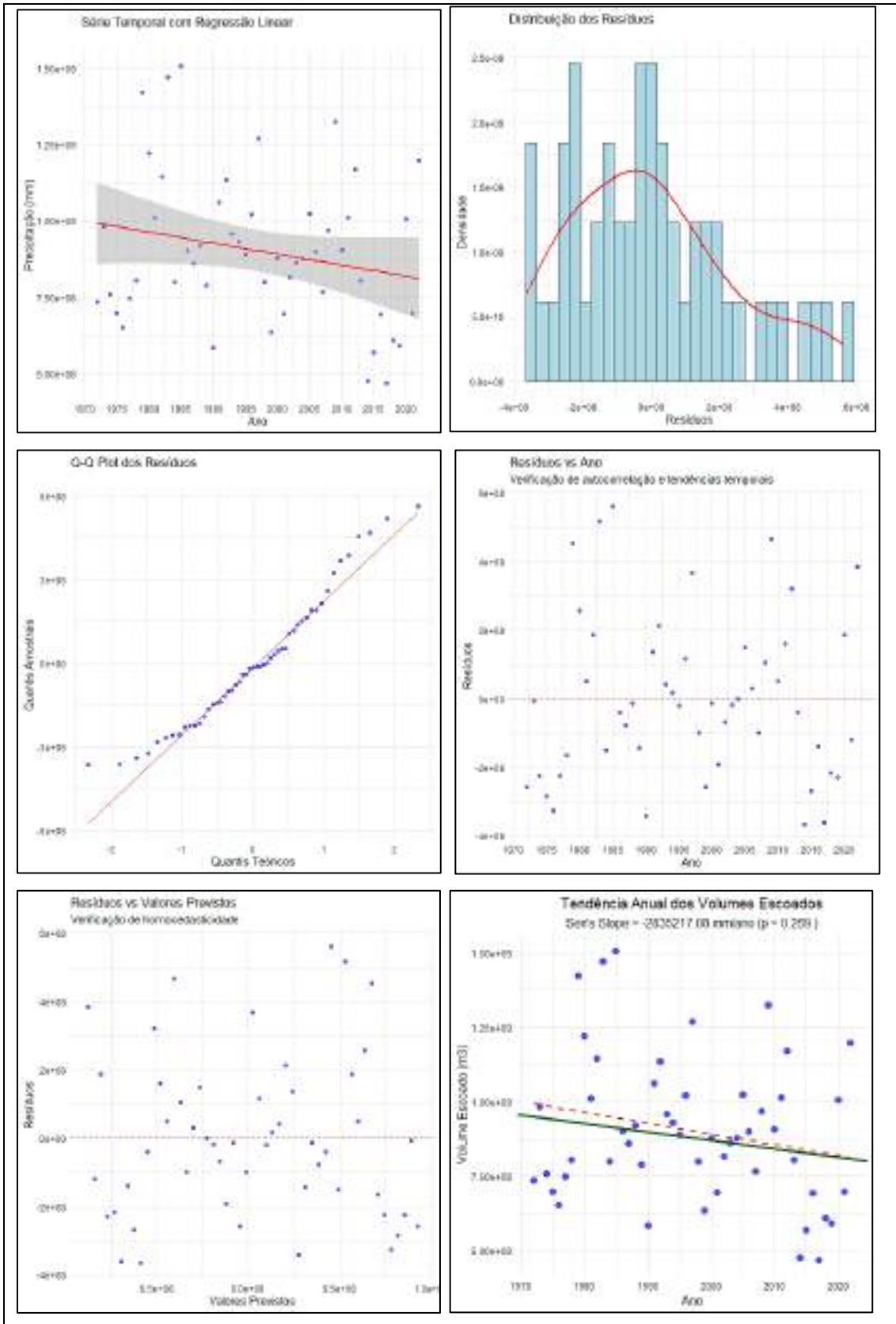
A princípio, pode-se cogitar que a redução progressiva do volume escoado pode estar relacionada a menores vazões nos períodos secos, ou seja, redução da pluviosidade dos períodos secos e do escoamento de base, o qual depende do nível dos aquíferos, sendo que essa alteração nos períodos secos influenciaria o balanço hídrico anual. No entanto, como se verá a seguir, também nos períodos úmidos verifica-se tendências opostas similares às do ano como um todo.

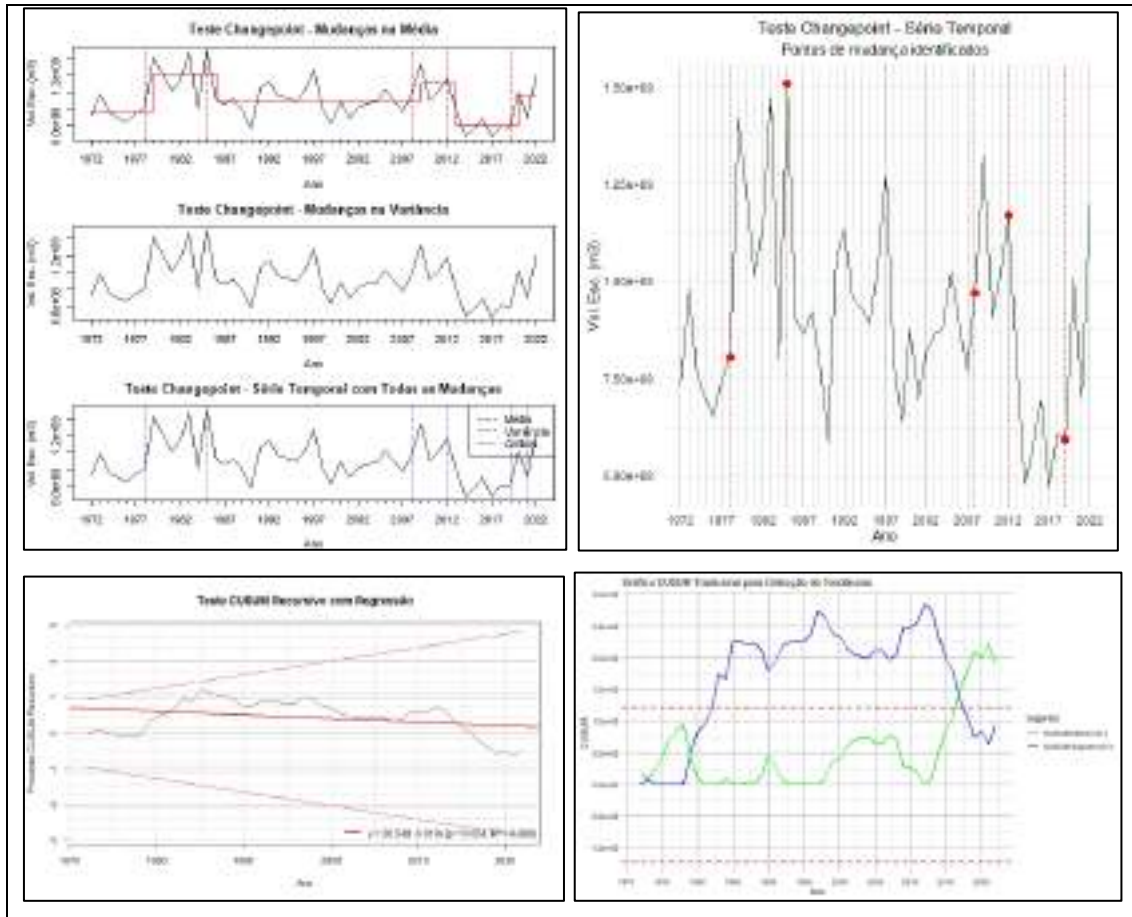
Assim, a aparente contradição entre o aumento da precipitação na estação pluviométrica e a redução progressiva dos volumes escoados no rio deverá ser investigada para que se possa identificar as causas.

### Análise Estatística dos Volumes Escoados Anualmente – Período 1972 a 2022

Apresenta-se a seguir os gráficos, tabelas e conclusões decorrentes da análise estatística dos volumes escoados anualmente pelo Rio das Velhas. São desconsiderados desse estudo os volumes dos anos de 1971 e 2023, pois a série de vazões do Rio das Velhas inicia-se em 27/04/1971 e termina em 30/11/2023, faltando, portanto, para completar esses anos, quatro meses de medições no início da série e um no final.

Honório Bicalho – **Volumes Escoados Anualmente** – 1972 a 2022 – Milhões de m<sup>3</sup> por ano

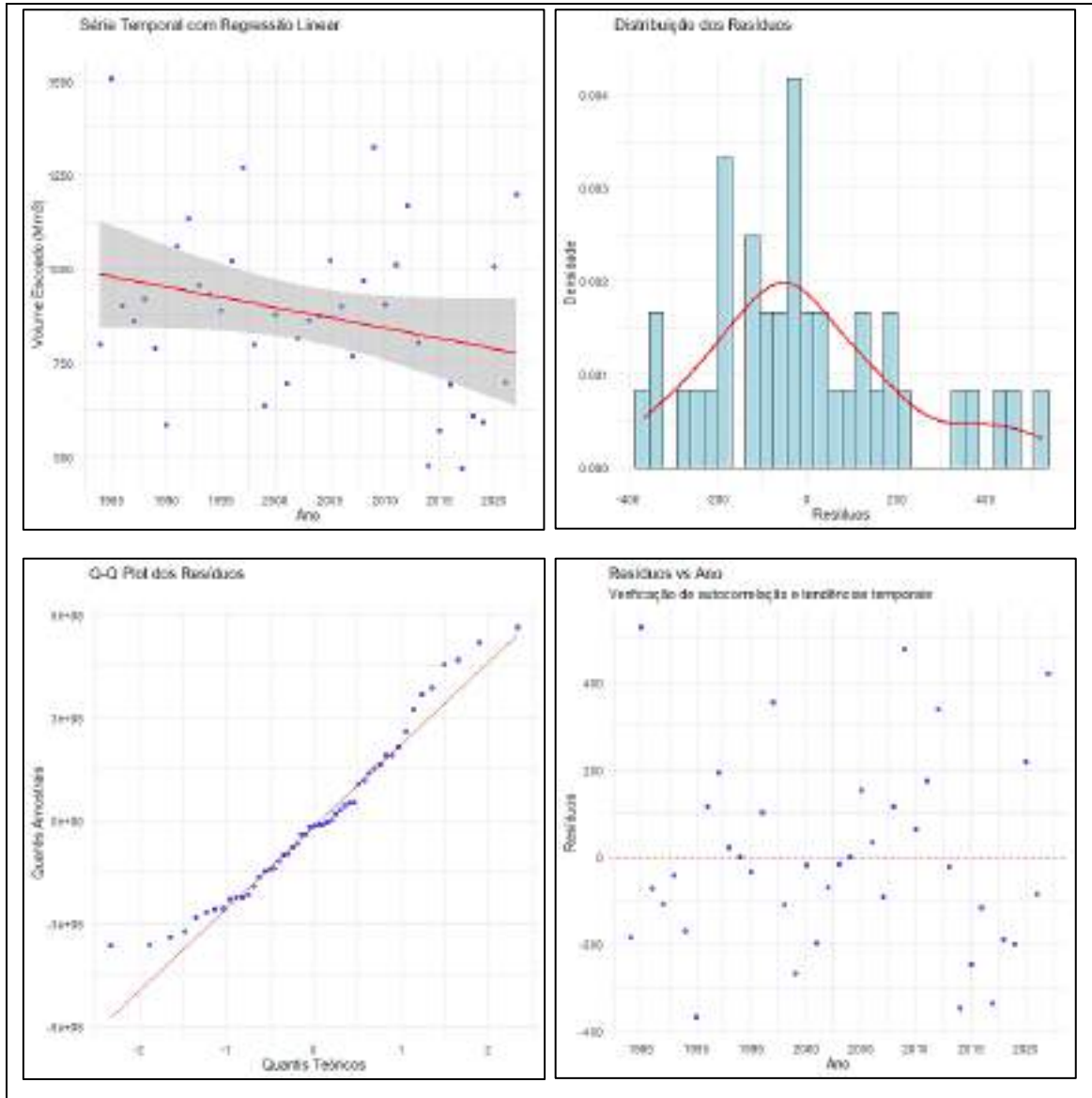


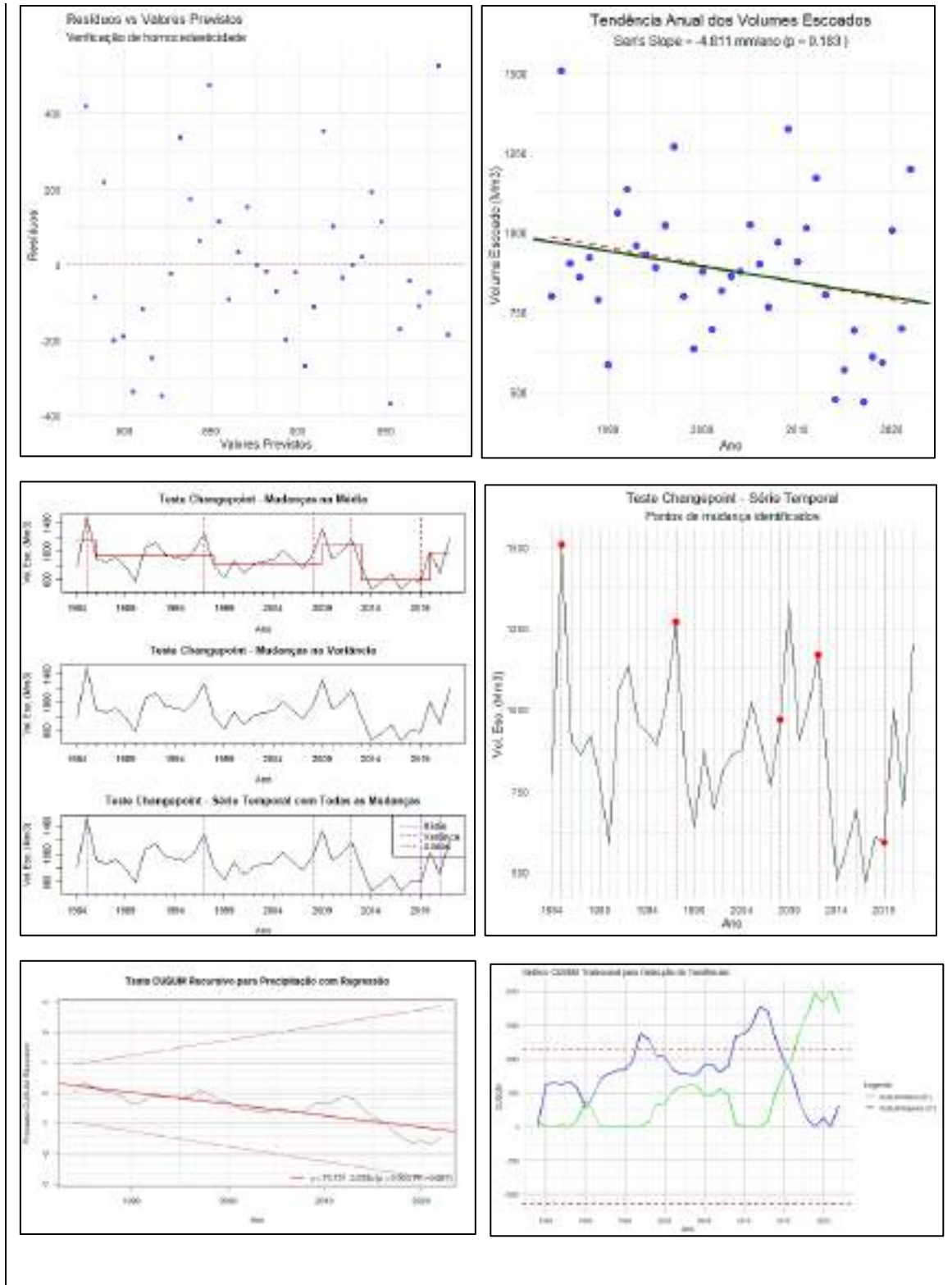


Honório Bicalho – Volumes Escoados Anualmente (m³) – Valores Anuais	Resultados
Período analisado:	1972 a 2022
Quant. de Dados da Série Analisada:	51
Valor mínimo:	468,954 Mm³ (TDA-RMBH = 775 dias = 2,12 anos)
1º Quartil:	741,631 Mm³
Mediana (2º Quartil):	878,265 Mm³
Média:	902,360 Mm³ (TDA-RMBH = 1492 dias = 4,08 anos)
3º Quartil:	1017,150 Mm³
Valor Máximo:	1505,42 Mm³ (em 1985) (TDA-RMBH = 2489 dias = 6,81 anos)
Variância:	59321,796
Desvio Padrão:	243,561 Mm³
<b>Regressão Linear</b>	
Equação da reta:	Volume Escorado = $-3,5995 * \text{tempo} + 8,0905E+3$ (Mm³)
Coefficiente angular (variação por ano):	-3,599468
p-valor do coeficiente angular:	0.1213675
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-8,188010, 0,989074)
R² do modelo:	0.04826747
Interpretação:	Há evidências de redução do volume anual escoado pelo rio ao longo do tempo, com 3,599 Mm³ a menos por ano (183,57 Mm³ em todo o período analisado, -20,34% da média total da série (902,360 Mm³ escoados).
<b>Testes de Pressupostos da Regressão:</b>	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	W = 0.9568   p-valor = 6.11e-02
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	A = 0.5745   p-valor = 1.29e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal

Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1014   p-valor = 0.6339 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 0.3026   p-valor = 5.82e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 0.2506   p-valor = 6.17e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.4461   p-valor = 1.46e-02 Resíduos autocorrelacionados
<b>Testes de tendências e mudanças</b>	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.1075   p-valor = 0.2693 Não há evidência de tendência significativa ( $p > 0.05$ )
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:	-2,835217 IC95% = ( -8,032497 , 2,460795 ) 0.269324 Conclusão: Não há evidências de tendência estatisticamente significativa ( $p \geq 0.05$ e IC inclui o zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 242   p-valor = 0.1488 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.1728   p-valor = 0.2254 Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta:  Coeficiente angular:  R <sup>2</sup> da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO  Interpretação:   CUSUM Tradicional	<p>– <math>y = 20.548 - 0.010x</math> (<math>p = 0.024</math>, <math>R^2 = 0.099</math>) (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– <math>i0.01</math>(negativo: Indica redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.099 (valor de R2 baixo, ajuste muito pequeno)</p> <p>– 1217803309.91</p> <p>– detectada (<math>C^+ &gt; H</math>)</p> <p>– detectada (<math>C^- &gt; H</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curva inicia-se em zero em 1972, sobe a partir de 1978 e avança com tendência sistemática decrescente até passar abaixo de zero em 2012. Forte declínio a partir de 2012</li> <li>• Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.</li> </ul> <p>A curva C- oscila abaixo da banda superior até que a ultrapassa em 2016, mantendo-se acima dessa banda até o final da série.</p> <p>A curva C+ inicia-se em zero, ultrapassa a banda superior em 1981 e se mantém acima dela até que, a partir de 2012, apresenta forte tendência de queda e cruza a banda superior em 2017.</p>
Changepoint: Análise de Mudança na Média:   Análise de Mudança na Variância:   Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1978, 1985, 2008, 2012, 2019</p> <p>– Período 1972-1978: Média 768,493 Mm3</p> <p>– Período 1978-1985: Média 1171,959 Mm3</p> <p>– Período 1985-2008: Média 918,655 Mm3</p> <p>– Período 2008-2012: Média 1076,124 Mm3</p> <p>– Período 2012-2019: Média 672,816 Mm3</p> <p>– Período 2019-2022: Média 873,851 Mm3</p> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <p>– Mudança mais significativa detectada em: 2021</p> <p>– Nova média: 119,801 Mm3</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

Honório Bicalho – **Volumes Escoados Anualmente** – 1984 a 2022 (para comparação com as séries da Fazenda Água Limpa, Itabirito Linígrafo e Lagoa Grande (MMV) – Milhões de m<sup>3</sup> por ano





Honório Bicalho – Volumes Escoados Anualmente (Mm³)	Resultados
Período analisado:	1984 a 2022
Quant. de Dados da Série Analisada:	39
Valor mínimo:	468,954 Mm³ (em 2017) (TDA-RMBH = 775 dias = 2,12 anos)
1º Quartil:	732,26 Mm³



Mediana (2º Quartil):	878,265 Mm <sup>3</sup>
Média:	881,42 Mm <sup>3</sup> (TDA-RMBH = 1457 dias = 4,00 anos)
3º Quartil:	1009,62 Mm <sup>3</sup>
Valor Máximo:	1505,42 Mm <sup>3</sup> (em 1985) (TDA-RMBH = 2489 dias = 6,81 anos)
Variância:	52487,37
Desvio Padrão:	229,10 Mm <sup>3</sup>
<b>Regressão Linear</b>	
Equação da reta: Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R <sup>2</sup> do modelo: Interpretação:	Volume Escoado = -5.482861*tempo + 11.864 -5.482861 0.09282578 (-11.92, 0.9564) 0.07445657 Há evidências de redução do volume anual escoado pelo rio ao longo do tempo, com 5,483 Mm <sup>3</sup> a menos por ano (213,83 Mm <sup>3</sup> em todo o período analisado, -24,26% da média anual da série (881,42 Mm <sup>3</sup> escoados).
<b>Testes de Pressupostos da Regressão:</b>	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9598   p-valor = 1.76e-01 Resíduos seguem distribuição normal (p > 0.05).
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 0.4915   p-valor = 2.07e-01 Resíduos seguem distribuição normal (p > 0.05).
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1148   p-valor = 0.641 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos (p > 0.05)
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 0.2247   p-valor = 6.35e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 0.2147   p-valor = 6.43e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.5812   p-valor = 6.57e-02 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
<b>Testes de tendências e mudanças</b>	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.1498   p-valor = 0.1833 Não há evidência de tendência significativa (p > 0.05)
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:	-4,811078 IC95% = ( -11.687 , 2.6371 ) 0.1833022 Conclusão: Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05 e IC inclui o zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 170   p-valor = 0.1157 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.2342   p-valor = 0.1513 Não há correlação significativa com o tempo (p > 0.05)
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta:  Coeficiente angular:  R <sup>2</sup> da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO  Interpretação:	- y = 75.731 -0.038x (p = 0.000, R <sup>2</sup> = 0.687) (ver reta vermelha no gráfico) - -0,038 (negativo: Indica redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). - 0.687 (valor de R2 baixo, ajuste razoável) - 1145.51 - detectada (C <sup>+</sup> > H) - detectada (C <sup>-</sup> > H)  • Curva inicia-se em zero em 1984, mas a partir de 1987 desce abaixo de zero e permanece decrescente até o final da série. Forte declínio a partir de 2012 • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.

CUSUM Tradicional	<p>A curva C- mantém-se abaixo da banda superior até 2013, quando apresenta forte aumento, cruzando a banda em 2016 e mantendo-se acima dela a partir de então.</p> <p>A curva C+ oscila abaixo da banda superior até que a ultrapassa em 1992, desce um pouco e novamente ultrapassa a banda superior em 2006. Forte declínio a partir de 2012 até atingir 0 novamente em 2017.</p>
<p>Changepoint: Análise de Mudança na Média:</p> <p>Análise de Mudança na Variância:</p> <p>Análise de Mudança na Média e na Variância:</p>	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1985, 1997, 2008, 2012, 2019</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Período 1984-1985: Média = 1152.623 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 1985-1997: Média = 986.64 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 1997-2008: Média = 874.206 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2008-2012: Média = 1076.124 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2012-2019: Média = 672.816 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2019-2022: Média = 873.851 Mm<sup>3</sup></li> </ul> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mudança mais significativa detectada em: 2021</li> <li>– Nova média: 1198.012 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Nova variância: NA mm</li> </ul>

### Análise da Tabela de Resultados dos Testes Estatísticos

#### Características Gerais da Série

A série histórica dos volumes anuais escoados pelo rio das Velhas em Honório Bicalho (1984–2022) apresenta valores entre 468,95 Mm<sup>3</sup> e 1505,42 Mm<sup>3</sup>, com média de 881,42 Mm<sup>3</sup> e desvio-padrão de 229,10 Mm<sup>3</sup>, evidenciando variação moderada no regime de escoamento.

#### Regressão Linear:

A regressão linear indicou redução média de 5,48 Mm<sup>3</sup>/ano (–213,83 Mm<sup>3</sup> ao longo de 39 anos, equivalente a –24,26% da média), porém essa tendência não foi estatisticamente significativa ( $p = 0,093$ ; IC95% inclui zero;  $R^2 = 0,074$ ).

#### Testes de Pressupostos da Regressão

Os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos da regressão linear foram atendidos, conferindo robustez ao modelo, embora sem significância estatística.

#### Testes Não-Paramétricos:

Os testes de Mann-Kendall e Spearman corroboram a ausência de tendência significativa, enquanto o Sen's Slope estimou redução de –4,81 Mm<sup>3</sup>/ano, também não significativa ( $p = 0,183$ ; IC95% inclui zero).

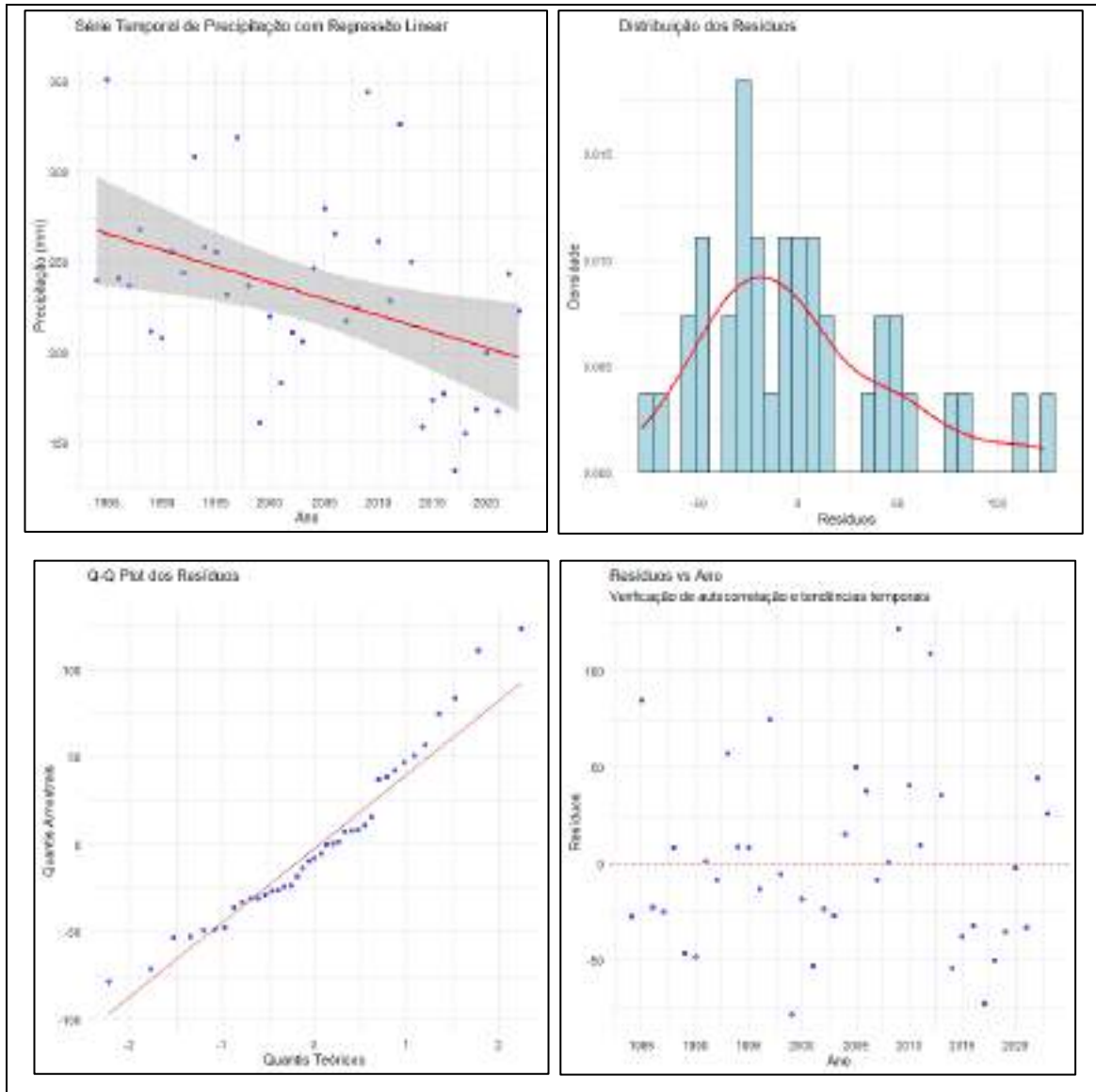
O teste de Pettitt e o BFAST não identificaram pontos de mudança abruptos, mas o CUSUM Tradicional evidenciou uma tendência de redução persistente a partir de 1987, com forte declínio após 2012, sugerindo deterioração gradual dos volumes, apesar da ausência de confirmação estatística formal em alguns testes.

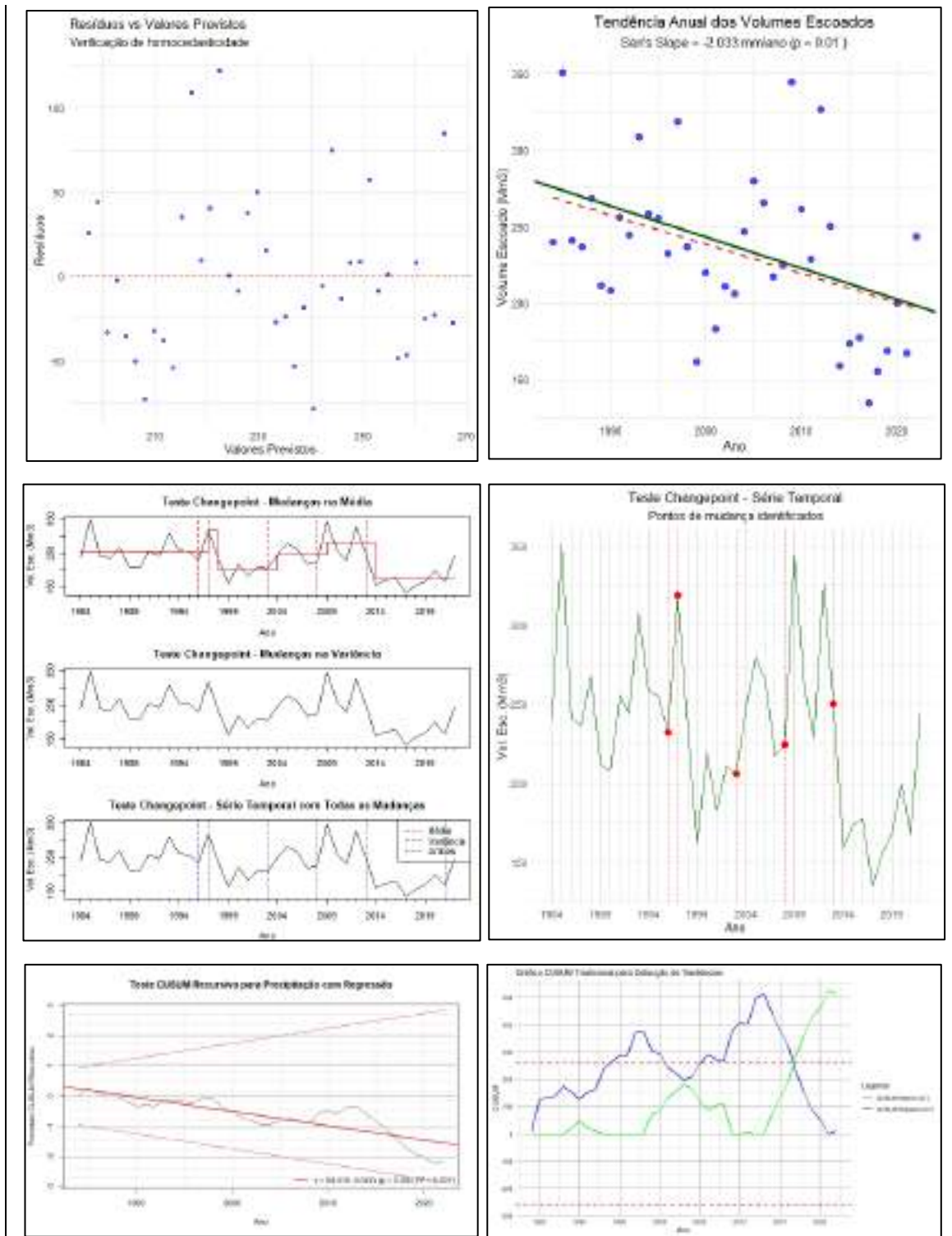
A análise de Changepoint detectou alterações na média em 1985, 1997, 2008, 2012 e 2019, com destaque para a acentuada queda do período 2012–2019 (média de 672,82 Mm<sup>3</sup>), e apontou 2021 como ano de mudança mais significativa, com elevação da média para 1198,01 Mm<sup>3</sup>.

### Conclusões Principais

Embora a tendência geral de redução não seja estatisticamente significativa pelos testes clássicos, há indícios consistentes de declínio prolongado dos volumes escoados, reforçados pela análise do CUSUM e das mudanças por segmentos, sugerindo que o período recente (pós-2012) representa um ponto crítico de intensificação da redução hídrica na bacia.

**Honório Bicalho – Volumes Escoados nos Períodos Secos – 1984 a 2022 (para comparação com as séries da Fazenda Água Limpa, Itabirito Linígrafo e Lagoa Grande (MMV) – Milhões de m<sup>3</sup> por ano**





Honório Bicalho – Volumes Escorados nos Períodos Secos (Mm <sup>3</sup> )	Resultados
Período analisado:	1984 a 2022
Quant. de Dados da Série Analisada:	39
Valor mínimo:	134,72 Mm <sup>3</sup> (em 2017) (TDA-RMBH = 223 dias = 0,61 anos)
1º Quartil:	202,94 Mm <sup>3</sup>
Mediana (2º Quartil):	236,63 Mm <sup>3</sup>
Média:	232,57 Mm <sup>3</sup> (TDA-RMBH = 384 dias = 1,05 anos)



3º Quartil:	257,03 Mm <sup>3</sup>
Valor Máximo:	350,58 Mm <sup>3</sup> (em 1985) (TDA-RMBH = 580 dias = 1,59 anos)
Variância:	2722,91
Desvio Padrão:	52,19 Mm <sup>3</sup>
<b>Regressão Linear</b>	
Equação da reta: Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R <sup>2</sup> do modelo: Interpretação:	Volume Escoado = -1.9046 *tempo + 4047 -1.9046 0.008411672 (-3.291, -0.5184) – Não inclui o zero 0.1731882 Há evidências de redução do volume anual escoado pelo rio ao longo do tempo, com 1,9046 Mm <sup>3</sup> a menos por ano (74,28 Mm <sup>3</sup> em todo o período, -31,94% da média anual da série (232,57 Mm <sup>3</sup> escoados).
<b>Testes de Pressupostos da Regressão:</b>	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9558   p-valor = 1.2e-01 Resíduos seguem distribuição normal (p > 0.05).
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 0.5513   p-valor = 1.46e-01 Resíduos seguem distribuição normal (p > 0.05).
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1186   p-valor = 0.5852 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos (p > 0.05)
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 0.3131   p-valor = 5.76e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 0.3345   p-valor = 5.63e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.4574   p-valor = 2.64e-02 Resíduos autocorrelacionados
<b>Testes de tendências e mudanças</b>	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.2821   p-valor = 0.01072 <b>Há tendência significativa (p &lt; 0.05)</b>
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:	-2,032963 IC95% = ( -3.0768 , -0.40422 ) 0.01033136 Conclusão: <b>Há uma tendência estatisticamente significativa de redução (p ≥ 0.05 e IC não inclui o zero)</b>
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 242   p-valor = 0.009435 <b>Ponto de mudança significativo detectado: 2013</b>
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.4229   p-valor = 0.006555 <b>Correlação negativa significativa com o tempo (p ≤ 0.05).</b>
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta:  Coeficiente angular:  R <sup>2</sup> da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO  Interpretação:	– $y = 94.418 - 0.047x$ (p = 0.000, R <sup>2</sup> = 0.707) (ver reta vermelha no gráfico) – -0,047 (negativo: Indica redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.707 (valor de R2 baixo, ajuste razoável) – 260,91 – detectada (C <sup>+</sup> > H) – detectada (C <sup>-</sup> > H)  • Curva inicia-se em zero em 1984, mas a partir de 1987 desce abaixo de zero e permanece decrescente até o final da série. Forte declínio a partir de 2012 • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.

CUSUM Tradicional	<p>A curva C- mantém-se abaixo da banda superior até 2013, quando apresenta forte aumento, cruzando a banda em 2016 e mantendo-se acima dela a partir de então.</p> <p>A curva C+ oscila abaixo da banda superior até que a ultrapassa em 1994, desce um pouco e novamente ultrapassa a banda superior em 2005. Forte declínio a partir de 2013 até atingir 0 novamente em 2021.</p>
<p>Changepoint: Análise de Mudança na Média:</p> <p>Análise de Mudança na Variância:</p> <p>Análise de Mudança na Média e na Variância:</p>	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1996, 1997, 2003, 2008, 2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Período 1984-1996: Média = 254.614 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 1996-1997: Média = 275.453 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 1997-2003: Média = 219.565 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2003-2008: Média = 239.893 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2008-2013: Média = 272.588 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Período 2013-2022: Média = 182.94 Mm<sup>3</sup></li> </ul> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mudança mais significativa detectada em: 2021</li> <li>– Nova média: 243,265 Mm<sup>3</sup></li> <li>– Nova variância: NA</li> </ul>

### Análise da Tabela de Resultados dos Testes Estatísticos

#### Características Gerais da Série

A série histórica dos volumes escoados nos períodos secos pelo rio das Velhas em Honório Bicalho (1984–2022) variou entre 134,72 Mm<sup>3</sup> e 350,58 Mm<sup>3</sup>, com média de 232,57 Mm<sup>3</sup> e desvio-padrão de 52,19 Mm<sup>3</sup>, apresentando queda expressiva ao longo do tempo.

#### Regressão Linear:

A regressão linear indicou redução significativa de  $-1,90 \text{ Mm}^3/\text{ano}$  ( $-74,28 \text{ Mm}^3$  no período, equivalente a  $-31,94\%$  da média), confirmada pelo IC95% que não inclui zero ( $-3,29; -0,52$ ) e pelo baixo  $R^2$  (0,17), sinalizando tendência consistente, ainda que com explicação moderada da variabilidade.

#### Testes de Pressupostos da Regressão

Os pressupostos da regressão linear não foram totalmente atendidos: os resíduos atenderam à normalidade e homocedasticidade, mas apresentaram autocorrelação (DW = 1,46;  $p = 0,026$ ).

#### Testes Não-Paramétricos:

O teste de Mann-Kendall detectou tendência negativa estatisticamente significativa ( $\tau = -0,2821$ ;  $p = 0,0107$ ), corroborada pelo Sen's Slope ( $-2,03 \text{ Mm}^3/\text{ano}$ ;  $p = 0,0103$ ; IC95% não inclui zero).

O teste de Spearman ( $\rho = -0,4229$ ;  $p = 0,0066$ ) também identificou tendência negativa estatisticamente significativa.

O teste de Pettitt identificou ponto de mudança significativo em 2013, evidenciando alteração estrutural do regime hídrico, resultado reforçado pelo CUSUM Tradicional, que mostrou forte declínio a partir de 2012 e manutenção do rebaixamento até 2021.

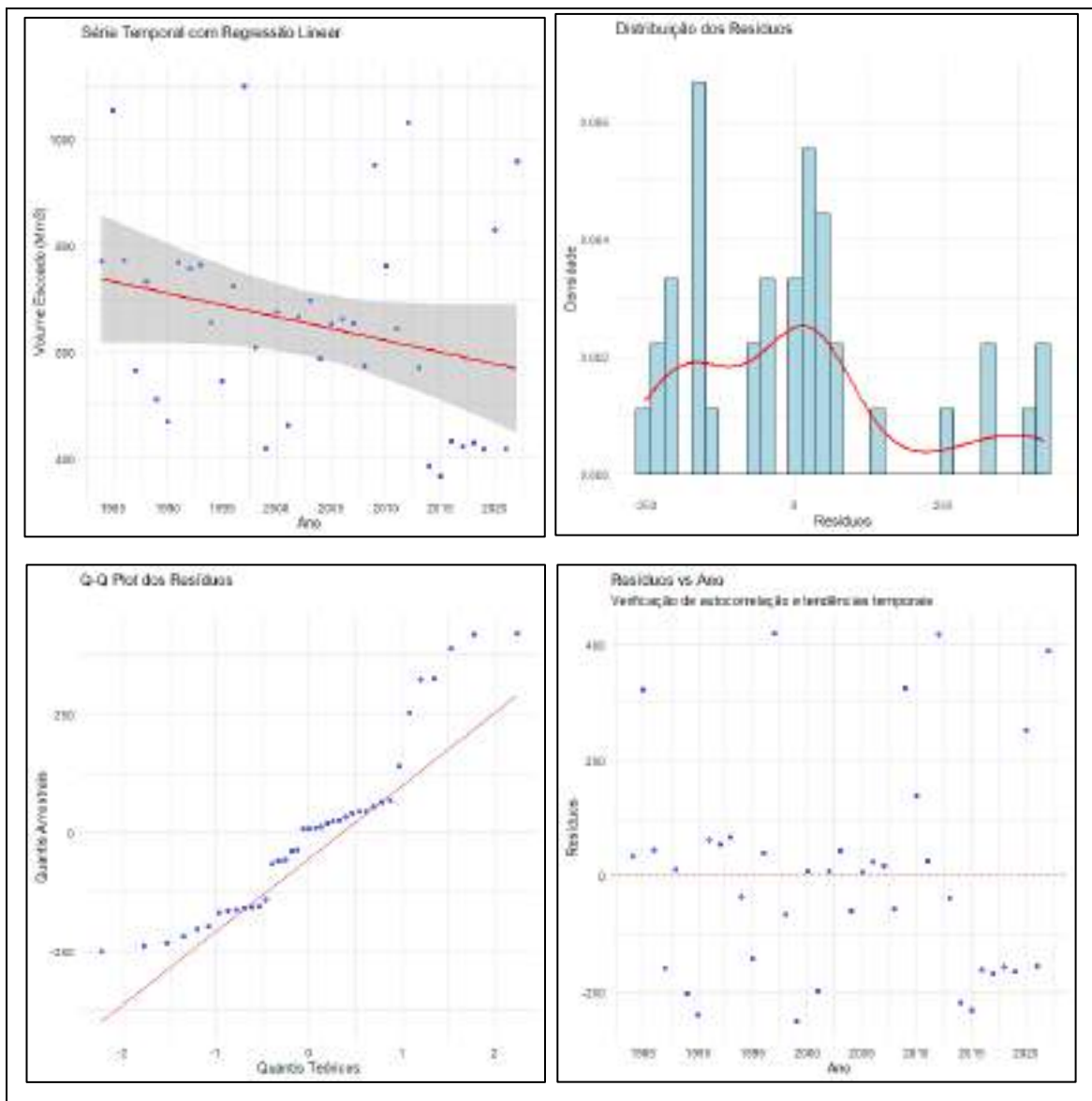
A análise de Changepoint revelou oscilações sucessivas nas médias segmentadas, com destaque para o período pós-2013 (182,94 Mm<sup>3</sup>), que confirma redução acentuada nos volumes escoados.

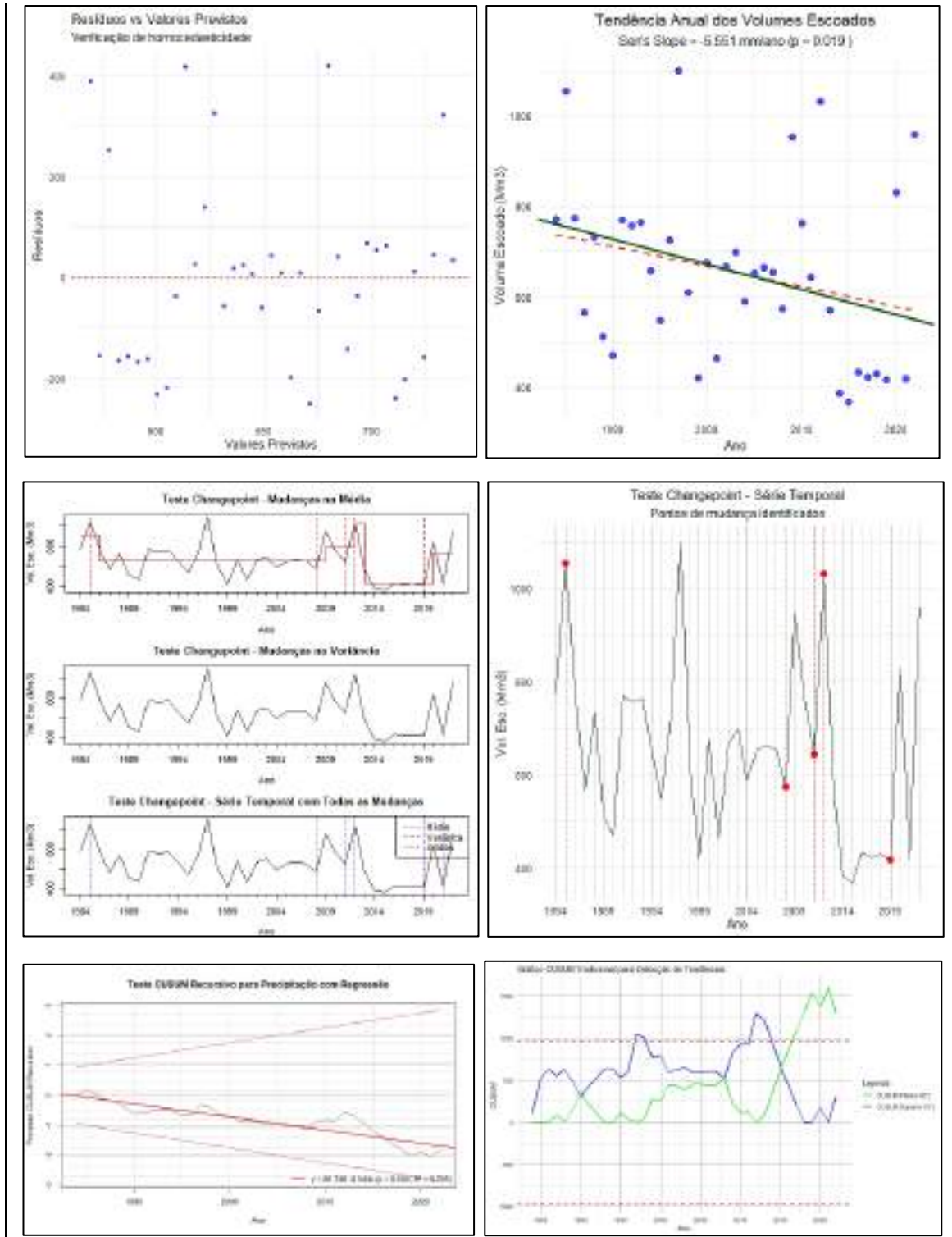
na estação seca, sendo a mudança mais marcante detectada em 2021 (nova média: 243,27 Mm<sup>3</sup>).

### Conclusões Principais

A análise dos períodos secos mostra evidências estatisticamente robustas de declínio nos volumes escoados, com intensificação da redução após 2012–2013, sugerindo um agravamento da vulnerabilidade hídrica em períodos críticos, com implicações diretas para a disponibilidade de água e a segurança hídrica da bacia.

### Honório Bicalho – Volumes Escoados nos **Períodos Úmidos** – 1984 a 2022 (para comparação com as séries da Fazenda Água Limpa, Itabirito Linígrafo e Lagoa Grande (MMV) – Milhões de m<sup>3</sup> por ano





Honório Bicalho – Volumes Escoados nos Períodos Úmidos (Mm <sup>3</sup> )	Resultados
Período analisado:	1984 a 2022
Quant. de Dados da Série Analisada:	39
Valor mínimo:	367,23 Mm <sup>3</sup> (em 2015)
1º Quartil:	491,10 Mm <sup>3</sup>
Mediana (2º Quartil):	653,98 Mm <sup>3</sup>
Média:	653,30 Mm <sup>3</sup>



3º Quartil:	763,27 Mm <sup>3</sup>
Valor Máximo:	1098,92 Mm <sup>3</sup> (em 1997)
Variância:	37029,56
Desvio Padrão:	192,43 Mm <sup>3</sup>
<b>Regressão Linear</b>	
Equação da reta: Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R <sup>2</sup> do modelo: Interpretação:	Volume Escoado = -4,427179 * tempo + 9521 -4,427179 0.1066889 (-9.852, 0.9978) – Inclui o zero 0.06880957 Há evidências de redução do volume anual escoado pelo rio ao longo do tempo, com 4,427 Mm <sup>3</sup> a menos por ano (172,66 Mm <sup>3</sup> em todo o período, -26,43% da média anual da série (653,30 Mm <sup>3</sup> escoados).
<b>Testes de Pressupostos da Regressão:</b>	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9017   p-valor = 2.46e-03 Resíduos <b>não</b> seguem distribuição normal (p < 0.05).
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 1.2552   p-valor = 2.5e-03 Resíduos <b>não</b> seguem distribuição normal (p < 0.05).
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1794   p-valor = 0.1434 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos (p > 0.05)
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 1.5572   p-valor = 2.12e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 1.542   p-valor = 2.14e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.7164   p-valor = 1.42e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
<b>Testes de tendências e mudanças</b>	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.2632   p-valor = 0.01894 <b>Há tendência significativa (p &lt; 0.05)</b>
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:	-5,551025 IC95% = (-10.262 , -0.8874) 0.01893576 Conclusão: <b>Há uma tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05 e IC não inclui o zero)</b>
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 170   p-valor = 0.1157 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.331   p-valor = 0.03958 <b>Correlação negativa significativa com o tempo (p ≤ 0.05).</b>
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta:  Coeficiente angular:  R <sup>2</sup> da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO  Interpretação:  CUSUM Tradicional	– y = 86.748 -0.044x (p = 0.000, R <sup>2</sup> = 0.795) (ver reta vermelha no gráfico) – -0,044 (negativo: Indica redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.795 (valor de R2 baixo, ajuste razoável) – 962,15 – detectada (C <sup>+</sup> > H) – detectada (C <sup>-</sup> > H)  • Curva inicia-se em zero em 1984, mas a partir de 1987 desce abaixo de zero e permanece decrescente até o final da série. Forte declínio a partir de 2012 • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.  A curva C- mantém-se abaixo da banda superior até 2012, quando apresenta forte aumento, cruzando a

	banda em 2016 e mantendo-se acima dela a partir de então. A curva C+ oscila abaixo da banda superior até que a ultrapassa em 1997, desce um pouco e novamente ultrapassa a banda superior em 2011. Forte declínio a partir de 2012 até atingir 0 novamente em 2018.
Changepoint: Análise de Mudança na Média:	Mudanças detectadas nos anos: 1985, 2008, 2011, 2012, 2019 – Período 1984-1985: Média = 912.976 Mm <sup>3</sup> – Período 1985-2008: Média = 670.297 Mm <sup>3</sup> – Período 2008-2011: Média = 732.772 Mm <sup>3</sup> – Período 2011-2012: Média = 837.118 Mm <sup>3</sup> – Período 2012-2019: Média = 506.991 Mm <sup>3</sup> – Período 2019-2022: Média = 656.03 Mm <sup>3</sup>
Análise de Mudança na Variância:	Nenhuma mudança significativa na variância detectada.
Análise de Mudança na Média e na Variância:	– Mudança mais significativa detectada em: 2021 – Nova média: 958,701 Mm <sup>3</sup> – Nova variância: NA

## Análise da Tabela de Resultados dos Testes Estatísticos

### Características Gerais da Série

A série de volumes escoados nos períodos úmidos do rio das Velhas em Honório Bicalho (1984–2022) variou entre 367,23 Mm<sup>3</sup> e 1098,92 Mm<sup>3</sup>, com média de 653,30 Mm<sup>3</sup> e desvio-padrão de 192,43 Mm<sup>3</sup>.

### Regressão Linear:

A regressão linear apontou tendência de redução de  $-4,43 \text{ Mm}^3/\text{ano}$  ( $-172,66 \text{ Mm}^3$  ao longo da série, equivalente a  $-26,43\%$  da média), embora não significativa ao nível de 5% ( $p = 0,107$ ; IC95% inclui zero).

### Testes de Pressupostos da Regressão Linear:

Os pressupostos da regressão linear não foram totalmente atendidos: os resíduos apresentaram homocedasticidade e independência, mas falharam nos testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Anderson-Darling,  $p < 0,05$ ), limitando a robustez da regressão.

### Testes Não-Paramétricos:

Por outro lado, os testes não paramétricos confirmaram evidências de queda significativa: Mann-Kendall ( $\tau = -0,2632$ ;  $p = 0,0189$ ), Sen's Slope ( $-5,55 \text{ Mm}^3/\text{ano}$ ; IC95% entre  $-10,26$  e  $-0,89$ ;  $p = 0,0189$ ) e Spearman ( $\rho = -0,331$ ;  $p = 0,0396$ ), **todos indicando tendência negativa estatisticamente significativa.**

O teste de Pettitt não identificou ponto único de mudança relevante, mas o CUSUM Tradicional mostrou redução contínua, intensificada após 2012, com forte declínio até 2018.

A análise de Changepoint revelou oscilações nas médias segmentadas, com destaque para a queda abrupta no período 2012–2019 (506,99 Mm<sup>3</sup>), muito inferior às médias anteriores, e aumento pontual após 2019, sendo a mudança mais significativa registrada em 2021 (nova média de 958,70 Mm<sup>3</sup>).

### Conclusões Principais

Os resultados demonstram que **os volumes escoados pelo Rio das Velhas nos períodos úmidos também apresentaram tendência estatisticamente significativa de redução**, especialmente após 2012, o que revela fragilidade crescente do regime hídrico da bacia e reforça o padrão de declínio também observado nos períodos secos, agravando o risco de comprometimento da segurança hídrica em anos recentes.

**Tabela-Resumo da Análise da Série de 1984 a 2022 de Honório Bicalho – Volumes Escoados Anualmente (Milhões de m<sup>3</sup>)**

Indicador	Volumes Anuais (1984–2022)	Períodos Secos (1984–2022)	Períodos Úmidos (1984–2022)
<b>Período analisado</b>	1984–2022	1984–2022	1984–2022
<b>Quant. de Dados da Série Analisada</b>	39	39	39
<b>Valor mínimo</b>	468,954 (em 2017)	134,72 (em 2017)	367,23 (em 2015)
<b>Mediana (2º Quartil)</b>	878,265	236,63	653,98
<b>Média</b>	881,42	232,57	653,30
<b>Valor Máximo</b>	1505,42 (em 1985)	350,58 (em 1985)	1098,92 (em 1997)
<b>Desvio Padrão</b>	229,10	52,19	192,43
<b>Regressão Linear – Coef. angular (variação por ano)</b>	( –5,4829 Mm <sup>3</sup> /ano )	( –1,9046 Mm <sup>3</sup> /ano )	( –4,4272 Mm <sup>3</sup> /ano )
<b>Variação em 39 anos</b>	( –213,83 Mm <sup>3</sup> )	( –74,28 Mm <sup>3</sup> )	( –172,66 Mm <sup>3</sup> )
<b>Variação percentual com relação à média total do segmento analisado</b>	( –24,26% )	( –31,94% )	( –26,43% )
<b>Teste Shapiro–Wilk</b>	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos não normais
<b>Teste Anderson–Darling</b>	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos não normais
<b>Kolmogorov–Smirnov</b>	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada
<b>Breusch–Pagan</b>	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
<b>White</b>	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
<b>Durbin–Watson</b>	Resíduos independentes	Resíduos autocorrelacionados	Resíduos independentes
<b>Mann–Kendall</b>	Sem tendência significativa	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO
<b>Sen’s Slope</b>	( –4,8111 Mm <sup>3</sup> /ano )   Sem inclinação significativa (IC95% inclui zero)	( –2,0330 Mm <sup>3</sup> /ano )   IC95% = ( –3,0768 ; –0,4042 )   p < 0,05   HÁ REDUÇÃO ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA	( –5,5510 Mm <sup>3</sup> /ano )   IC95% = ( –10,262 ; –0,8874 )   p < 0,05   HÁ REDUÇÃO ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA
<b>Alteração em 39 anos pelo Sen’s Slope</b>	( –187,63 Mm <sup>3</sup> )	( –79,29 Mm <sup>3</sup> )	( –216,49 Mm <sup>3</sup> )
<b>Variação percentual com relação à média total do segmento analisado</b>	( –21,29% )	( –34,10% )	( –33,15% )
<b>Teste de Pettitt</b>	Nenhum ponto de mudança significativo detectado	Ponto de mudança significativo em 2013	Nenhum ponto de mudança significativo detectado



Indicador	Volumes Anuais (1984–2022)	Períodos Secos (1984–2022)	Períodos Úmidos (1984–2022)
<b>Spearman</b>	Sem correlação significativa	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO
<b>BFAST</b>	Nenhuma mudança identificada	Nenhuma mudança identificada	Nenhuma mudança identificada
<b>CUSUM Recursivo</b>	Curva acima de zero até ~2012 e depois em queda; flutuações pequenas	Curva abaixo de zero em toda a série; redução mais pronunciada após 2017; flutuações pequenas	Curva abaixo de zero desde 1987; forte declínio após 2012; flutuações pequenas
<b>CUSUM Recursivo – Coef. angular</b>	( –0,038 )	( –0,047 )	( –0,044 )
<b>CUSUM Tradicional – Tendência de AUMENTO</b>	Detectada	Detectada	Detectada
<b>CUSUM Tradicional – Tendência de DIMINUIÇÃO</b>	Detectada	Detectada	Detectada
<b>Changepoint – Mudança na Média</b>	1985, 1997, 2008, 2012, 2019; médias variando entre 672,82 e 1152,62 Mm <sup>3</sup>	1996, 1997, 2003, 2008, 2013; médias variando entre 182,94 e 275,45 Mm <sup>3</sup>	1985, 2008, 2011, 2012, 2019; médias variando entre 506,99 e 912,98 Mm <sup>3</sup>
<b>Changepoint – Mudança na Variância</b>	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa
<b>Changepoint – Média + Variância</b>	Mudança mais significativa em 2021 – (nova média: 1198,01 Mm <sup>3</sup> )	Mudança mais significativa em 2021 – (nova média: 243,27 Mm <sup>3</sup> )	Mudança mais significativa em 2021 – (nova média: 958,70 Mm <sup>3</sup> )

### Observações Gerais

Os volumes anuais apresentam grande amplitude, variando de um mínimo de **468,95 Mm<sup>3</sup> em 2017** até um máximo de **1505,42 Mm<sup>3</sup> em 1985**, o que corresponde a uma diferença superior a **1000 Mm<sup>3</sup>** entre os extremos da série. Deve-se destacar que o valor máximo escoado ocorreu há 40 anos e o mínimo há apenas 8 anos, o que constitui mais um elemento para evidenciar a tendência de redução das vazões do rio. Essa variação reflete a forte influência de condições climáticas interanuais extremas, com anos muito secos e anos de elevada disponibilidade hídrica.

Nos períodos secos, observa-se padrão semelhante, com valores mínimos de **134,72 Mm<sup>3</sup> em 2017** e máximos de **350,58 Mm<sup>3</sup> em 1985**, evidenciando que o mesmo ano de 1985 concentrou o maior volume escoado tanto no ciclo anual quanto nos períodos de estiagem, o que pode estar associado a chuvas excepcionais naquele ano e/ou maior capacidade de recarga hídrica. Já em 2017, registra-se a menor disponibilidade hídrica tanto no volume anual quanto no período seco, revelando um evento crítico de escassez.

Por outro lado, nos períodos úmidos, os extremos se dão em anos distintos: o máximo ocorreu em **1997 (1098,92 Mm<sup>3</sup>)**, enquanto o mínimo foi registrado em **2015 (367,23 Mm<sup>3</sup>)**, **também em época bem recente**. Esse resultado aponta para reduções da pluviosidade na última década e mostra que as condições hidrológicas mais críticas não se repetem de forma idêntica nos diferentes compartimentos sazonais do ciclo hidrológico, sugerindo que os períodos chuvosos também sofrem fortes oscilações interanuais, com anos de recarga significativamente abaixo do esperado.

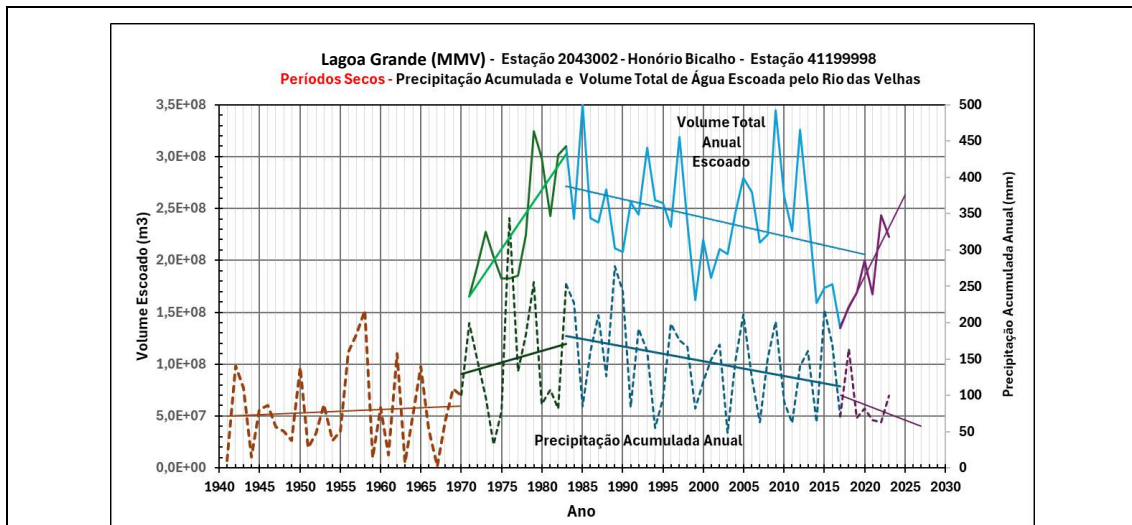
A análise integrada revela, portanto, que o rio das Velhas em Honório Bicalho apresentou:

- **redução sistemática nos volumes escoados ao longo do tempo**, confirmada pelos testes de tendência (Mann-Kendall, Sen's Slope e Spearman);
- **ausência de pontos de mudança abruptos estatisticamente significativos**, embora as análises de Changepoint tenham identificado quebras de média em determinados anos (2008, 2011, 2012 e 2019), indicando transições graduais;
- **anos críticos de estiagem** (2015 e 2017), nos quais os volumes mínimos atingiram patamares historicamente baixos, afetando tanto os períodos secos quanto os úmidos;
- **anos de abundância hídrica** (1985 e 1997), que destoam do padrão geral e ajudam a ampliar a variabilidade da série.

Em síntese, a série histórica evidencia forte variabilidade interanual com predominância de tendência negativa no escoamento, refletindo processos de redução de disponibilidade hídrica ao longo do período analisado.

Eventos críticos como 1985 (máximo histórico), 1997 (máximo nos períodos úmidos), 2015 (mínimo nos úmidos) e 2017 (mínimo absoluto anual e seco) configuram marcos de extremos hidrológicos que ajudam a compreender o comportamento dinâmico do regime do rio das Velhas em Honório Bicalho.

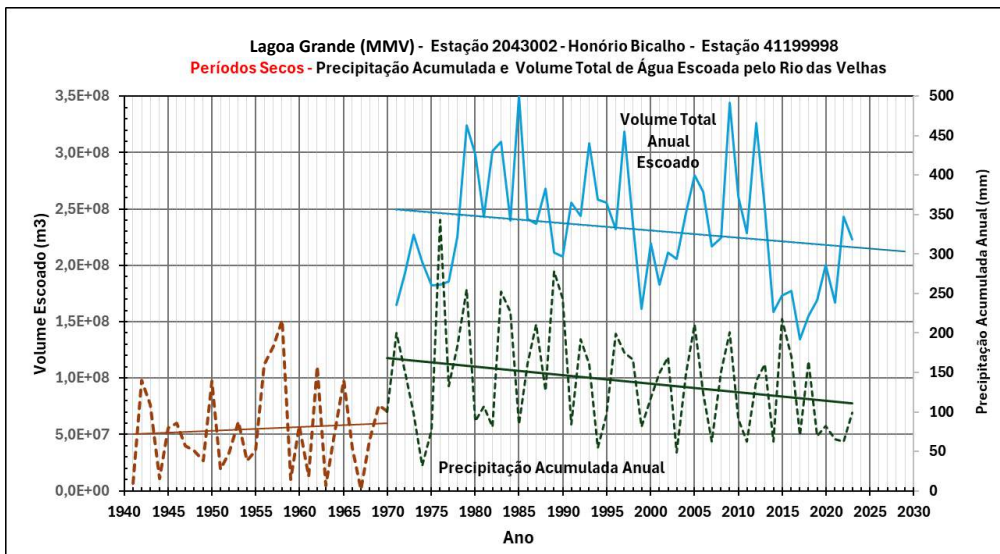
#### Comparação entre Volumes Escoados e Precipitação Registrada na Estação Lagoa Grande



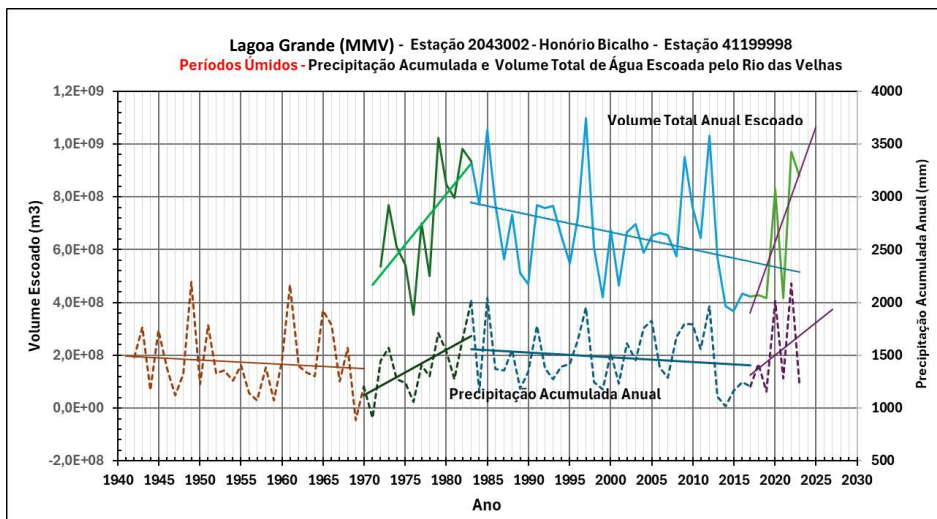
Quando se considera as tendências dos períodos secos dos três segmentos (1971 a 1983, 1983 a 2017 e 2017 a 2023), verifica-se que somente nos dois primeiros períodos as tendências dos volumes escoados em Honório Bicalho são correlacionadas às tendências das precipitações acumuladas medidas na Lagoa Grande (MMV), como se era de esperar. No entanto, no subperíodo mais recente (2017 a 2023) as tendências se invertem.

De fato, pode-se ver que já uma forte redução das precipitações a partir de 2017, situação essa que ocorreu em toda a bacia do Alto Rio das Velhas, da qual a Estação Lagoa Grande (MMV) é bastante representativa. Apesar dessa redução das precipitações as vazões apresentaram acentuado crescimento nos períodos secos a partir de 2017, em comparação com a tendência dos anos anteriores, o que pode ser considerado um comportamento anômalo, possivelmente devido ao aporte de vazões provenientes de bombeamento de águas

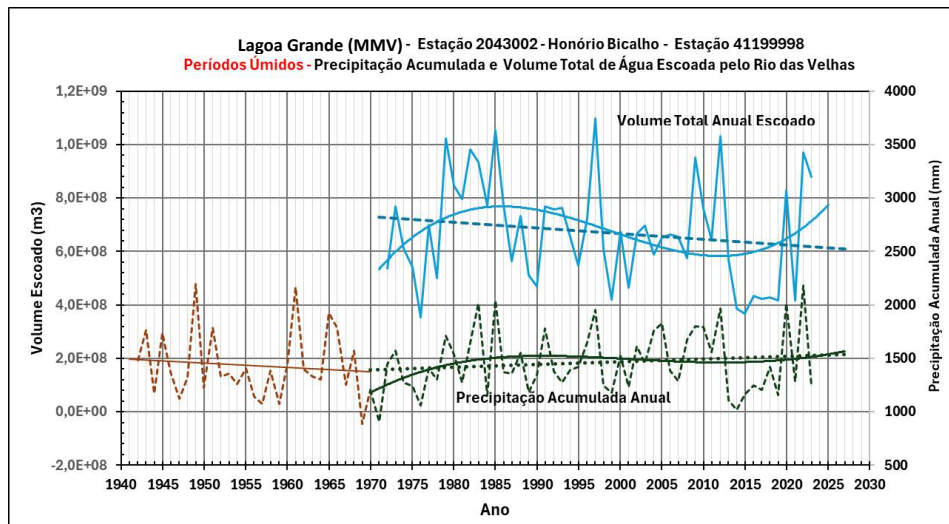
de cavas de mineração para rebaixamento do nível do lençol freático . Esse tema é tratado nesse relatório de forma detalhada no item referente à Estação Itabirito Linígrafo.



Quando se considera as séries completas constata-se tendências similares, ou seja tendência à redução progressiva dos volumes escoados pelo Rio das Velhas durante os períodos secos ao longo dos 53 anos da série assim como da pluviosidade anual acumulada do mesmo período. Pode-se atribuir a redução progressiva do volume escoado tanto à redução da pluviosidade quanto à redução do escoamento de base, o qual depende do nível dos aquíferos.



As tendências dos períodos úmidos dos três segmentos (1971 a 1983, 1983 a 2017 e 2017 a 2023) têm o mesmo comportamento das tendências dos valores anuais desses mesmos segmentos, ou seja, os volumes escoados nos períodos úmidos da série de Honório Bicalho estão diretamente correlacionados com as tendências das precipitações acumuladas anuais medidas na Lagoa Grande (MMV), como se era de esperar. Verifica-se aumento progressivo e acentuado do volume escoado e das precipitações nos períodos de 1971 a 1983 e de 2017 a 2023 e redução progressiva nos 34 anos do período de 1983 a 2017.



Similarmente ao que ocorre quando se toma os valores referentes aos anos completos constata-se a existência de tendências opostas também quando se considera somente os **períodos úmidos da série completa**. Assim, tem-se tendência à redução progressiva dos volumes escoados pelo Rio das Velhas durante os períodos úmidos ao longo dos 53 anos da série embora a pluviosidade acumulada de cada período úmido tenha apresentado tendência de estabilidade ou de pequeno aumento ao longo dos 53 anos na Estação Lagoa Grande.

A duração de cada um dos segmentos foi determinada com base na constatação de uma certa regularidade do comportamento das vazões durante o intervalo de tempo selecionado. Embora as tendências, sob esse ponto de vista, sejam, em geral, correspondentes, é possível que existam diferenças de pluviosidade, ao longo do tempo, que implicam na redução do volume escoado pelo rio.

Outra possível causa pode estar relacionada a diferenças de pluviosidade entre as várias regiões da bacia do Alto Velhas. A Estação Lagoa Grande (MMV), onde se registrou aumento de pluviosidade, situa-se na parte mais alta do Sinclinal Moeda, entre os flancos leste e oeste, e pode não ser representativa de toda a bacia. Outras áreas da bacia, como as das sub-bacias do Rio de Pedras e do Rio Itabirito e a vertente oeste da Serra do Gandarela, assim como a área da nascente do Velhas, região de Ouro Preto, podem ter tido redução da pluviosidade dos períodos úmidos, com reflexo no volume escoado pelo rio nesses períodos. Nesse caso, o aumento da pluviosidade na região da Lagoa Grande (MMV) não seria suficiente para suprir o déficit de outras regiões.

Assim, a relação entre os valores de precipitação registrados na bacia do Alto Velhas e a redução progressiva dos volumes escoados no rio deverá ser melhor investigada em estudos futuros para que se possa identificar as causas, entre as quais podem estar diferenças na distribuição da intensidade das chuvas dos períodos úmidos ao longo dos anos. Possivelmente um estudo que contemple o comportamento dos anos hidrológicos (de 1º de outubro de um ano até 30 de setembro do ano seguinte) possa trazer algum elemento novo para análise.

## Conclusões

O seguinte quadro resume o comportamento dos dados analisados:

		Anuais	Per. Úmidos	Per. Secos
Série Completa	Precip. Acum. Codomas	E	E	R
	Volume Escoado HB	R	R	R
4 Segmentos	Precip. Acum. Codomas	A R A	A R A	A R R
	Volume Escoado HB	A R A	A R A	A R A

onde:

A = Aumento    R = Redução    E = Estabilidade

### 1. Correlação entre precipitação e escoamento em segmentos

- Nos três segmentos (segmentos da série) analisados (1971-1983, 1983-2017 e 2017-2023), observa-se que as tendências dos volumes escoados em Honório Bicalho seguem, em geral, as tendências das precipitações acumuladas na Lagoa Grande (MMV), exceto com relação aos períodos secos do segmento mais recente (destacado na tabela acima), em que houve aumento das vazões mesmo com redução da precipitação, o que indica uma anomalia a ser estudada.
- Houve um aumento progressivo do volume escoado e das precipitações nos períodos de 1971 a 1983 e de 2017 a 2023, enquanto no período de 1983 a 2017 houve uma redução progressiva.
- A duração de cada um dos segmentos foi determinada com base na constatação de uma certa regularidade do comportamento das vazões durante o intervalo de tempo selecionado. Embora as tendências, sob esse ponto de vista, sejam, em geral, correspondentes, é possível que existam diferenças de pluviosidade, ao longo do tempo, que implicam na redução do volume escoado pelo rio ao longo do tempo, como se mostra no item referente à Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências

### 2. Tendências opostas ao considerar a série completa

- Quando se avalia o período total de 53 anos, verifica-se uma tendência de redução progressiva dos volumes escoados pelo Rio das Velhas, em um cenário de ano completo e de os períodos úmidos com estabilidade da pluviosidade anual acumulada. Essa aparente contradição sugere que fatores adicionais, além da precipitação, estão influenciando a redução do escoamento.
- Nos períodos secos verifica-se redução tanto dos volumes escoados quanto das precipitações acumuladas, sendo esse o comportamento esperado. A redução dos volumes escoados deve estar sendo influenciada, adicionalmente, pela redução do escoamento de base, ligado ao nível dos aquíferos.

### 3. Impacto das mudanças nos períodos secos

- Nos períodos secos, os volumes escoados apresentaram correlação com as tendências de precipitação nos dois primeiros segmentos (1971-1983 e 1983-2017).
- Entretanto, no subperíodo mais recente (2017-2023), ocorreu um comportamento anômalo, com aumento das vazões nos períodos secos, apesar da redução das precipitações. Esse fenômeno pode estar relacionado ao aporte de águas provenientes do bombeamento de cavas de mineração.

### 4. Tendências nos períodos úmidos e possíveis explicações

- Nos períodos úmidos, os volumes escoados seguem as tendências das precipitações nos três segmentos analisados, de forma semelhante ao que ocorre nos valores anuais.

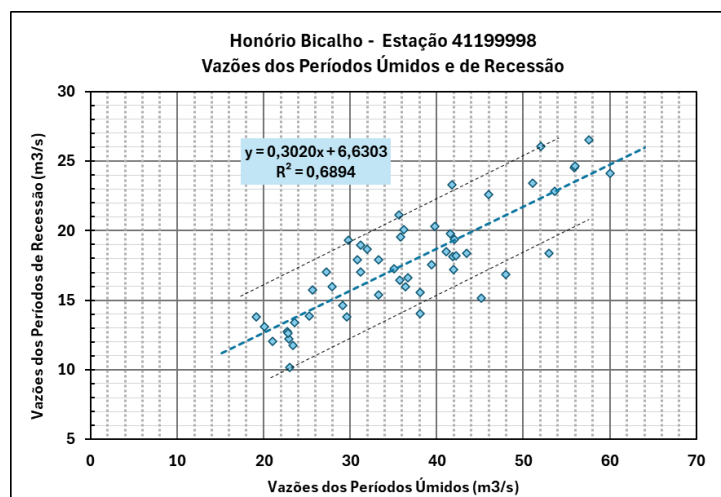
- No entanto, ao considerar toda a série, verifica-se uma tendência de redução progressiva do volume escoado nos períodos úmidos, apesar da estabilidade da pluviosidade acumulada nesses períodos.
- Essa discrepância pode estar relacionada a mudanças na distribuição das chuvas ao longo do tempo, com variações na intensidade das precipitações e sua localização dentro da bacia.

## 5. Hipóteses para a redução do volume escoado

- A redução do escoamento pode estar associada a mudanças na distribuição espacial da pluviosidade, pois a Estação Lagoa Grande (MMV) pode não representar toda a bacia do Alto Rio das Velhas. Ou seja, outras áreas da bacia, como as sub-bacias do Rio de Pedras, do Rio Itabirito e a região de Ouro Preto, podem ter sofrido redução da pluviosidade, impactando o escoamento.
- A influência do escoamento de base e do nível dos aquíferos pode ter sido determinante para a redução das vazões dos períodos secos ao longo dos anos.

### 6.3.3.5 Relação entre as Vazões Médias dos Períodos Úmidos e as dos Períodos Secos

A separação da série em dois conjuntos de vazões médias (período úmido e do seco) permite uma comparação direta dos valores, podendo-se relacionar a vazão de um período seco com a do úmido que o antecedeu. No gráfico a seguir, com os valores dos períodos úmidos indicados no eixo horizontal e com os dos períodos secos no vertical, pode-se observar uma relação aproximadamente direta entre as médias, o que permite fazer estimativas. Pela equação da reta de regressão, o valor da vazão média de um período seco pode ser estimado multiplicando-se a média do período seco a ele anterior por 0,3 e somando-se 7,0 ao resultado, com um erro máximo de  $\pm 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$  aprox.



**Relação entre as vazões médias dos períodos úmidos e as dos períodos secos**

Talvez seja possível – por exemplo, com uso dos recursos de IA hoje existentes – conseguir determinar uma relação quantitativa mais precisa entre as vazões de um período úmido e as vazões do período de recessão subsequente, independentemente de uma abordagem que leve em conta a pluviosidade do período úmido.

### 6.3.4 Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências

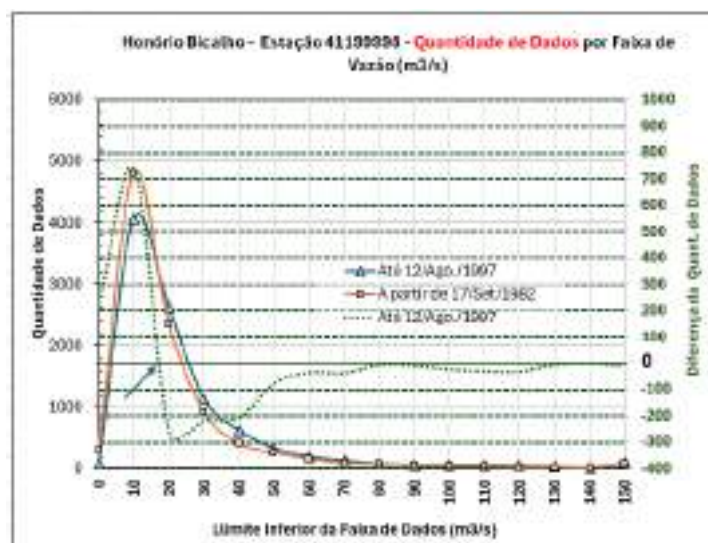
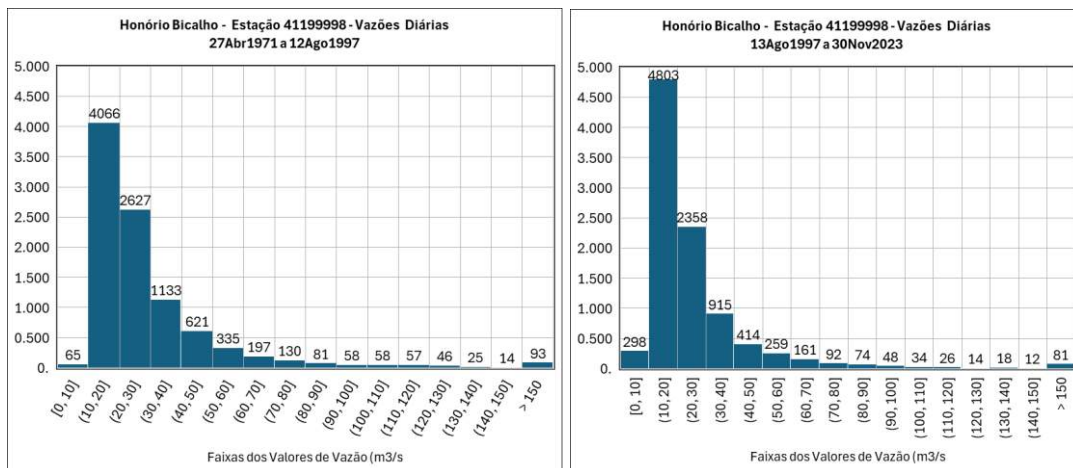
#### 6.3.4.1 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Anos Completos

Uma avaliação de tendências também foi feita dividindo-se a série de Honório Bicalho em dois períodos de 26,3 anos, ou seja, com igual quantidade de dias, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023. Os valores de vazões foram classificados em 14 faixas, de largura 10 m<sup>3</sup>/s mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 150 m<sup>3</sup>/s.

A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, bem como o gráfico de dispersão correspondente às frequências mostradas nos histogramas

Pode-se ver que nos 26,3 anos mais recentes, contados a partir de 12/ago./1997, houve uma **quantidade maior** de dias com baixas vazões (menores que 20 m<sup>3</sup>/s aprox.) do que nos 26,3 anos anteriores, o que pode indicar maior duração dos períodos de seca ou mesmo baixas vazões em meio aos períodos úmidos.

Nos 26,3 anos mais recentes houve uma **quantidade menor** de dias com vazões intermediárias (entre 20 e 60 m<sup>3</sup>/s aprox.) do que nos 26,3 anos anteriores) e a quantidade de dias com vazões maiores que 60 m<sup>3</sup>/s se alterou pouco de um período para o outro, apresentando alguma redução nos últimos 26,3 anos.



No gráfico de dispersão acima a linha pontilhada refere-se à diferença entre frequências em cada faixa. Essa linha mostra diferenças positivas apenas entre 0 a 17 m<sup>3</sup>/s (esse valor corresponde ao ponto em que a curva pontilhada de quantidade de dados cruza o zero do eixo vertical da

esquerda, ponto indicado por uma seta), ou seja, como já observado, houve uma **quantidade maior** de dias com baixas vazões (menores que 17 m<sup>3</sup>/s aprox.) do que nos 26,3 anos anteriores, o que pode indicar maior duração dos períodos de seca ou mesmo baixas vazões em meio aos períodos úmidos.

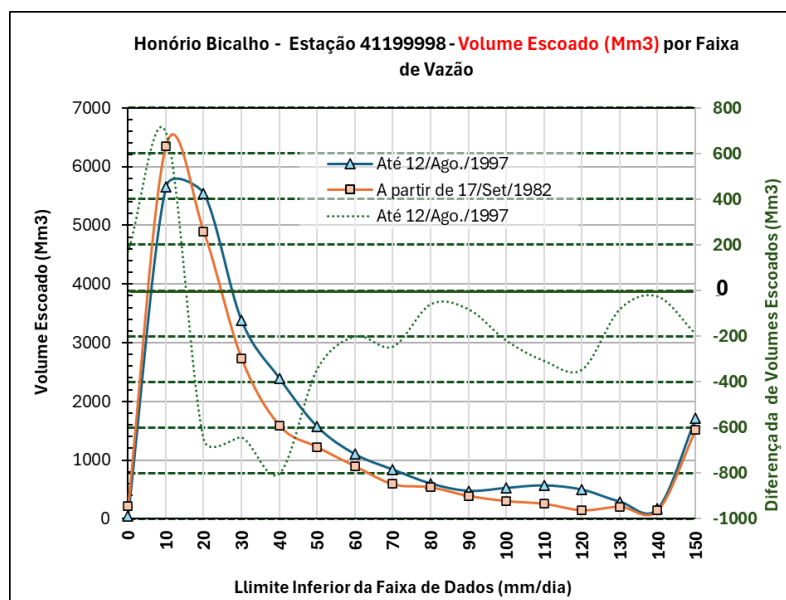
Nos 26,3 anos mais recentes houve uma **quantidade menor** de dias com vazões intermediárias (entre 17 e 60 m<sup>3</sup>/s aprox.) do que nos 26,3 anos anteriores), o que pode indicar que os períodos úmidos tiveram menor pluviosidade em faixas que resultam nessas vazões intermediárias e menor capacidade dos aquíferos para manter o fluxo de base no início dos períodos de recessão, em que as vazões ainda pode estar acima de 17 m<sup>3</sup>/s.

A quantidade de dias com vazões maiores que 60 m<sup>3</sup>/s quase não se alterou de um período para o outro, apresentando leve redução nos últimos 26,3 anos.

O gráfico a seguir mostra que a quantidade de dias em cada faixa de valores de vazões está diretamente relacionada ao volume escoado: em comparação com os primeiros 26,3 anos da série histórica, nos últimos 26,3 anos houve **maior volume** escoado com vazões menores que 17 m<sup>3</sup>/s, chegando a quase 700 milhões de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) na faixa de vazões de 10 a 20 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde ao maior número de dias com baixas vazões já mencionado.

Por outro lado, no período mais recente, houve perda de 655 Mm<sup>3</sup> na faixa entre 20 e 30 m<sup>3</sup>/s (ver também a tabela mais abaixo), perda de 643 Mm<sup>3</sup> na faixa entre 30 e 40 m<sup>3</sup>/s e perda de 2915 Mm<sup>3</sup> com vazões superiores a 40 m<sup>3</sup>/s. As vazões somente aumentaram na faixa de 0 a 20m<sup>3</sup>/s, evidenciando o aumento da quantidade de vazões baixas, ou seja, aumento do tempo em que o rio está mais seco. No total, os últimos 26,3 anos apresentaram um déficit de 3352 Mm<sup>3</sup> com relação aos 26,3 anos anteriores, o que represente 13,2% do volume escoado nos primeiros 26,3 anos.

Considerando-se que, em média, a ETA Bela Fama, da COPASA retira 7,0 m<sup>3</sup>/s do Rio das Velhas, ao volume perdido de 3352 Mm<sup>3</sup> daria para a ETA enviar água para o abastecimento da RMBH durante 5543 dias, ou seja, durante 15,2 anos.



Limites das Faixas de Vazões	Qt. de Dados	Vol. Escoado (Mm <sup>3</sup> )	Diferenças
------------------------------	--------------	---------------------------------	------------