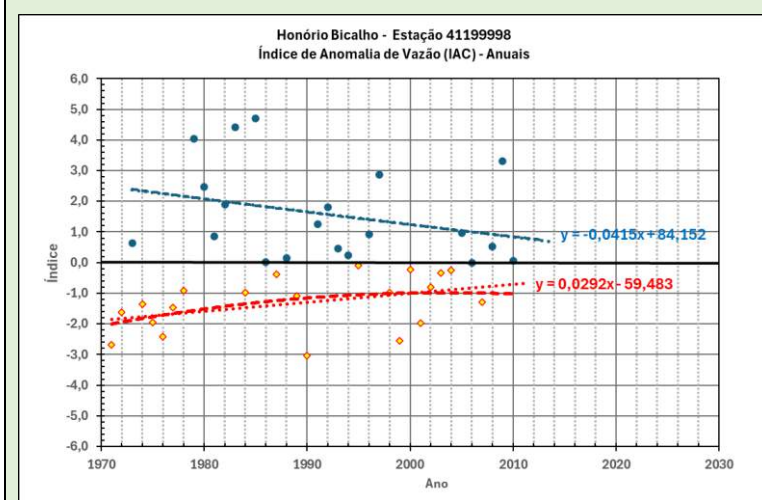
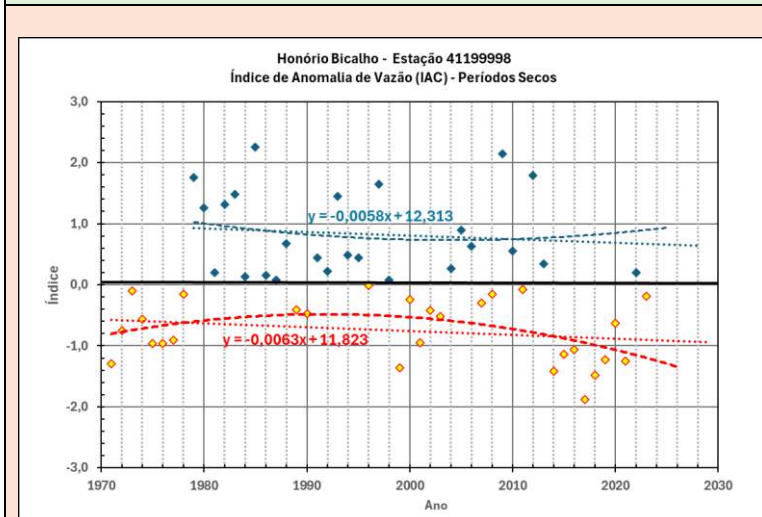


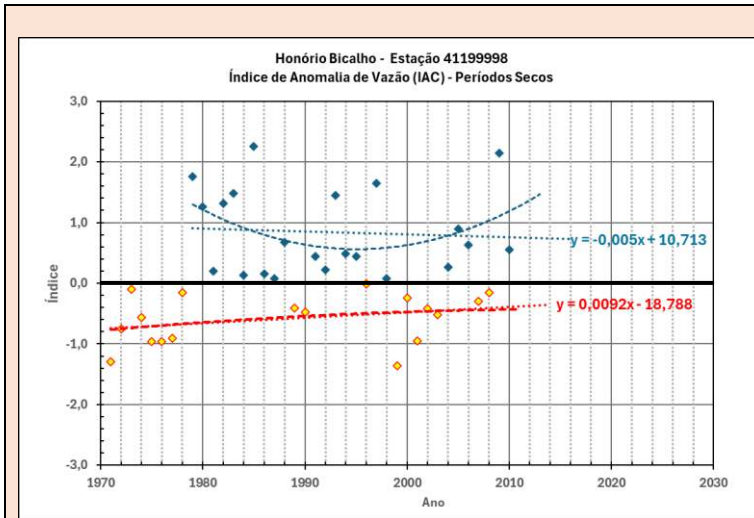
Considerando-se um período anual para a análise, o gráfico mostra redução da intensidade (valores) das anomalias positivas e crescimento das negativas (retas de regressão com a mesma inclinação neg.). A regressão polinomial sugere uma ligeira redução da intensidade da queda das anomalias positivas e um forte aumento dos valores das negativas a partir da década de 2010. Ou seja, uma redução geral das vazões do rio.



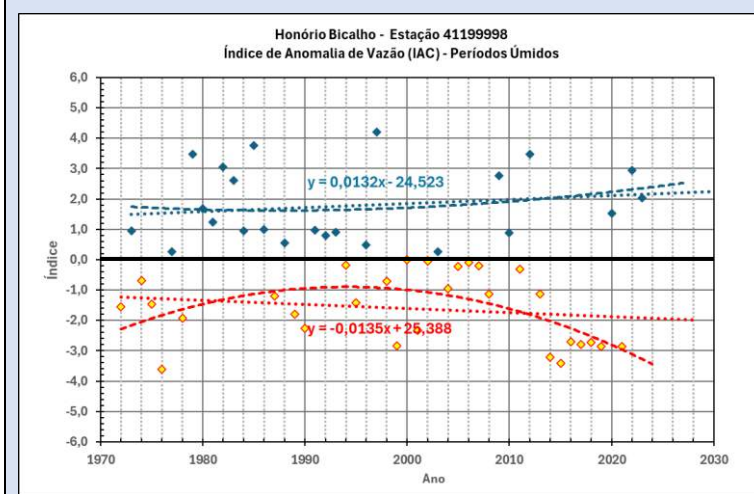
Se, no gráfico acima, consideramos apenas os primeiros 40 anos (até 2010), a tendência (gráf. ao lado) é de redução dos valores tanto das anomalias positivas quanto das negativas (retas convergentes). Comparando-se o gráfico ao lado com o anterior, constata-se que a partir de 2010 houve um crescimento acentuado das anomalias neg. (baixas vazões), com 5 anomalias positivas apenas nos últimos 13 anos (ver gráfico acima).



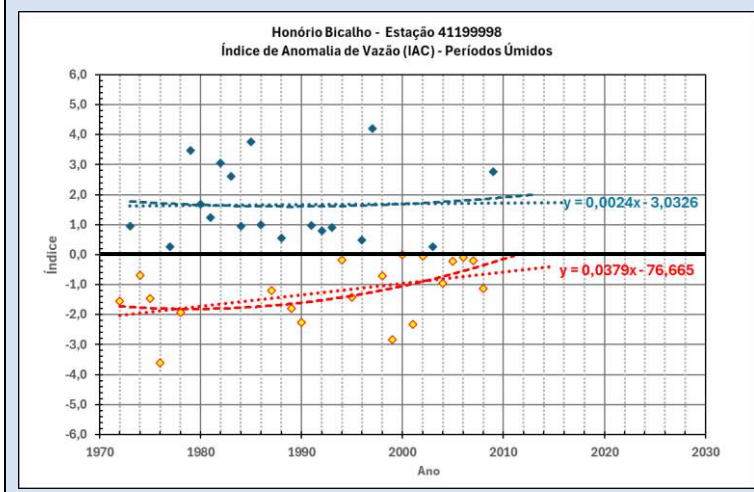
As observações acima valem para esse gráfico, do período seco de cada ano (maio a set). Nos últimos onze anos (de 2013 a 2023) ocorreram só duas anomalias positivas durante os períodos secos e ambas de baixa expressão. Trata-se de um período seco que não encontra similaridade nos 42 anos anteriores. Ou seja, os últimos 11 anos da série tiveram períodos secos bem mais intensos que todos os anteriores. Em geral, as vazões do rio estão se reduzindo no período seco.



Se, no gráfico acima, dos períodos secos, consideramos apenas os primeiros 40 anos (até 2010), a tendência, mostrada no gráfico ao lado, é de redução dos valores tanto das anomalias positivas quanto das negativas (retas convergentes), embora a regressão polinomial sugira um aumento das positivas devido às maiores vazões de 2009.



Quando se analisa os períodos úmidos (out. a dez. de um ano e jan. a abr. do ano seguinte) observa-se a existência de tendências similares: tanto as anomalias positivas quanto as negativas tendem a se intensificar a partir de 2010, com ênfase no aumento das anomalias negativas. Isso significa: alguns anos com vazões cada vez maiores e outros anos com vazões cada vez menores durante o período úmido.



Se, no gráfico acima, dos períodos úmidos, consideramos apenas os primeiros 40 anos (até 2010), a tendência (ver gráfico ao lado) é de redução dos valores das anomalias negativas e estabilidade (ou aumento bastante discreto) das anomalias positivas.

Conclusões

Foi realizada uma análise das tendências das médias das vazões anuais do Rio das Velhas ao longo de 53 anos, com foco em anomalias positivas (acima da média) e negativas (abaixo da média), tanto em períodos anuais quanto nos períodos secos (maio a setembro) e úmidos (outubro a abril). As principais conclusões são:

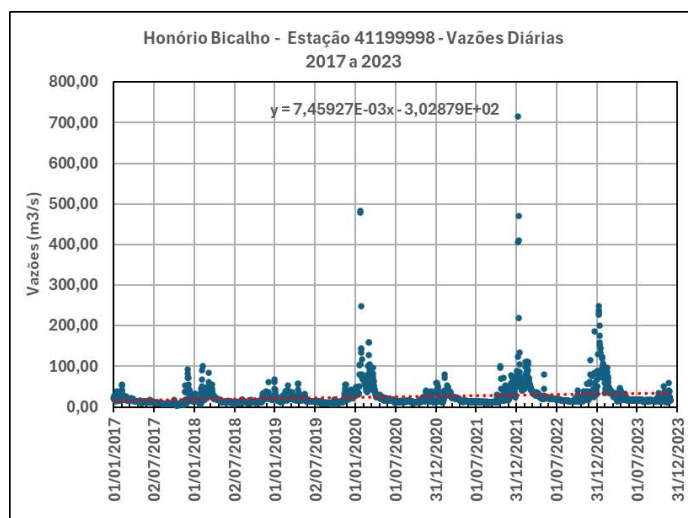
1. **Tendência geral de redução das vazões:** As retas de regressão e as envoltórias mostram uma tendência clara de diminuição das vazões ao longo do tempo, com aumento das anomalias negativas (períodos mais secos) e redução das anomalias positivas (períodos mais úmidos).
2. **Períodos úmidos e secos extremos:**
 - Os anos mais úmidos ocorreram entre 1979 e 1989, com poucas anomalias negativas.
 - Os anos mais secos foram de 2014 a 2019, com destaque para 2014 e 2017 como os mais secos da série histórica.
 - Nos últimos 11 anos (2013-2023), os períodos secos foram mais intensos, com apenas duas anomalias positivas de baixa expressão.
3. **Aumento das anomalias negativas a partir de 2010:**
 - A partir de 2010, houve um crescimento acentuado das anomalias negativas, tanto nos períodos secos quanto nos úmidos, indicando uma redução geral das vazões.
 - Nos períodos úmidos, observou-se uma intensificação das anomalias, com alguns anos apresentando vazões muito altas e outros, muito baixas.
4. **Recuperação recente (2020-2023):**
 - Nos anos de 2020, 2022 e 2023, houve uma recuperação das vazões, com anomalias positivas, mas isso não reverte a tendência geral de redução.
5. **Predominância de anos secos:**
 - Dos 53 anos analisados, 29 tiveram anomalias negativas, com uma soma de índices negativos maior que a dos positivos (46,60 contra 40,78), indicando uma predominância de anos secos ("vacas magras").
 - A duração dos períodos de anomalias positivas está diminuindo, enquanto a dos períodos negativos está aumentando.
6. **Comportamento diferenciado antes e depois de 2010:**
 - Até 2010, as anomalias positivas e negativas apresentavam tendência de redução, com retas convergentes.
 - A partir de 2010, houve um aumento significativo das anomalias negativas, especialmente nos períodos secos, e uma intensificação das variações nos períodos úmidos.

Em resumo, o estudo aponta para uma redução geral das vazões ao longo do tempo, com aumento da frequência e intensidade de períodos secos, especialmente a partir de 2010. Apesar de uma breve recuperação recente, a tendência é de maior escassez hídrica e maior variabilidade entre eventos extremos de cheias e secas.

6.3.9 Período de 2017 a 2023 em Honório Bicalho

Para que se possa fazer uma comparação direta dos valores da série de Honório Bicalho com os das estações telemétricas, cuja duração é bem mais limitada, os valores das vazões dos últimos anos nessa Estação foram destacados, gerando-se a tabela de parâmetros característicos e os gráficos, a seguir apresentados, correspondentes aos das outras estações.

	Série Completa	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Data do início do período	01/01/2017			01/01/2017	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	01/01/2021	01/01/2022
Data do final do período	30/11/2023			31/12/2017	31/12/2018	31/12/2019	31/12/2020	31/12/2021	31/12/2022
Quantidade de dias da série	2525			365	365	365	366	365	365
Total de dados	2525			365	365	365	366	365	365
Abrangência dos dados no período	100,00%			100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Total de dados	2525			365	365	365	366	365	365
Média Aritmética	25,31			14,87	19,32	18,81	31,84	22,11	37,99
Mediana	16,94			12,39	13,72	15,80	17,95	15,06	22,44
Média Harmônica	16,63			11,45	15,12	15,18	19,33	17,01	23,77
Média Harmônica/Média Aritmética	65,69%			76,99%	78,24%	80,73%	60,72%	76,95%	62,58%
Desvio padrão	32,56			10,51	12,73	9,94	43,28	14,80	56,70
Volume total escoado no período	5.522,46			467,05	609,40	593,13	1.006,94	697,32	1.198,01
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%			8,5%	11,0%	10,7%	18,2%	12,6%	21,7%
Vazão diária máxima do período	715,00			92,02	101,50	61,60	481,92	101,70	715,00
Vazão diária mínima do período	3,56			3,56	7,77	7,37	9,88	9,88	13,02
Amplitude	201,12			25,88	13,06	8,36	48,75	10,29	54,92

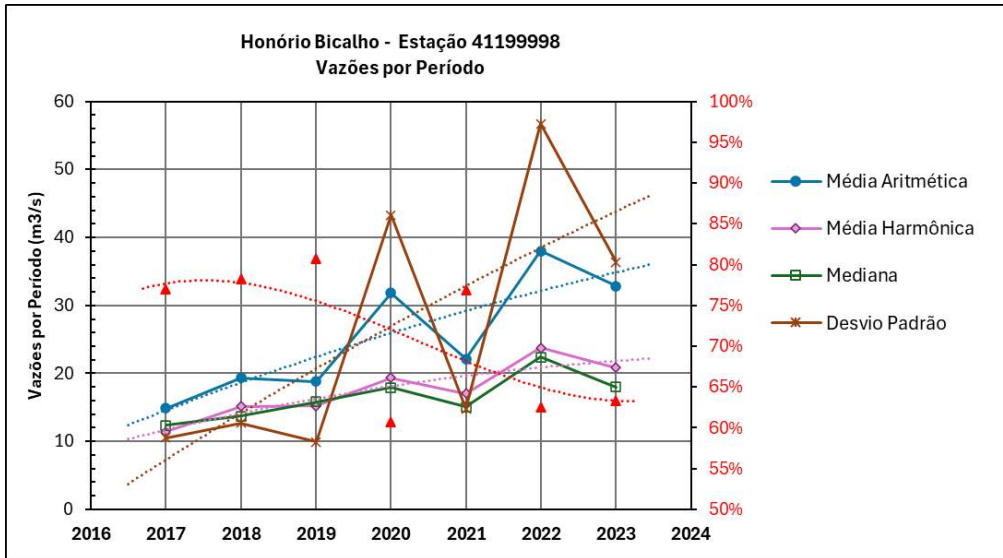


Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação

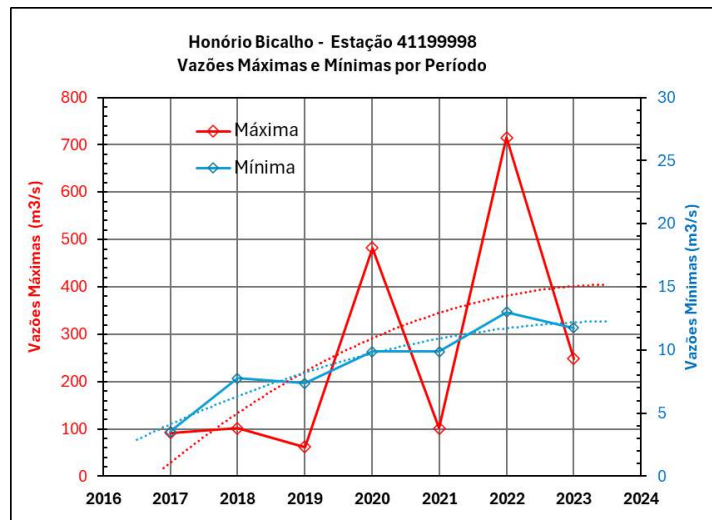
A equação da reta de regressão dos dados do período, mostrada no gráfico acima, indica uma tendência geral de aumento das vazões, possivelmente associada aos eventos extremos de cheia dos anos de 2020 e, principalmente, de 2022. Trata-se de uma tendência oposta à mostrada – ainda que forma preliminar – no gráfico de distribuição de vazões em toda a duração da série temporal e pode ser atribuída a sazonalidades e/ou a intervenções antrópicas. Como já explicado no presente documento a análise de apenas oito anos de dados hidrológicos não pode ser conclusiva a respeito de tendências a médio e longo prazos e, assim, tendências gerais que possam ser identificadas em séries mais longas prevalecem sobre as de segmentos dessa série.

A referida tendência de aumento das vazões de 2017 a 2023 aparece também nos dois gráficos a seguir, tanto com relação à média aritmética quanto à harmônica, à mediana e às vazões máximas e mínimas anuais. Os picos de 2020 e 2022 na curva do desvio padrão reforçam a constatação da disparidade entre o grande volume das cheias desses anos e o baixo volume dos períodos de estiagem.

Os menores valores da relação entre as médias harmônica e aritmética nos últimos anos (também aqui propositalmente evidenciados pelo uso de um polinômio de 3º grau como curva de regressão) apontam para a redução progressiva das baixas vazões do rio, o que impacta diretamente sobre a segurança hídrica da RMBH.



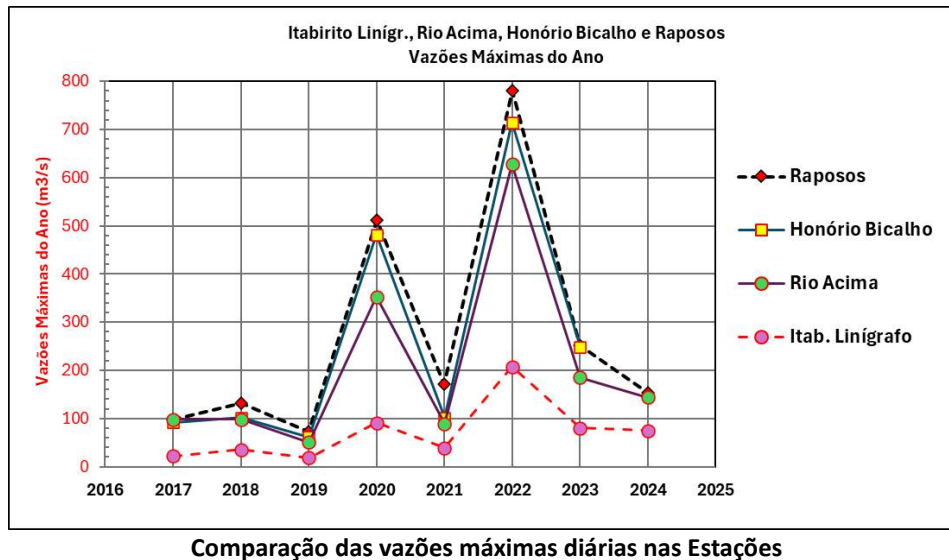
Medidas estatísticas das vazões diárias registradas na Estação



Vazões máximas e mínimas anuais na Estação

6.3.10 Período de 2017 a 2024 em Honório Bicalho – Comparação com Raposos, Rio Acima e Itabirito Linígrafo

Para efeitos de comparação, os gráficos a seguir incluem os valores de vazões máximas e mínimas de Honório Bicalho e de Raposos e Rio Acima, situadas, respectivamente, a jusante e a montante de Honório Bicalho e não muito distante dessa, bem como as vazões máxima e mínima da Estação Itabirito Linígrafo, um dos principais tributário do Rio das Velhas, situado a montante de Rio Acima e a montante da cidade de Itabirito. Entre as estações de Honório Bicalho e de Rio Acima está localizada a ETA Bela Fama.



Pode-se notar, no gráfico acima, que as vazões máximas em Raposos são superiores às máximas em Rio Acima e Honório Bicalho, como se é de esperar, pois entre Rio Acima e Honório Bicalho existem quatro afluentes do Velhas e entre Honório Bicalho e Raposos existem quatro outros. Esses ribeirões contribuem para com o aumento da vazão do rio entre Raposos as duas outras estações. As vazões máximas nessas três estações apresentam o mesmo comportamento, com aumentos e reduções anuais correspondentes, o que pode ser tomado como um indicativo da confiabilidade dos dados analisados, visto que as três encontram-se em um trecho relativamente curto do rio das Velhas. Durante as cheias, a vazão captada na ETA Bela Fama (quando essa captação não é suspensa devido à qualidade da água) não é significativa em relação ao volume total do rio.

As máximas do rio Itabirito acompanham o comportamento geral das outras três, comportamento esse resultante de uma intensidade de chuvas aproximadamente uniforme, em cada período chuvoso, em toda a bacia do Alto Rio das Velhas.

Um ponto importante a ser destacado refere-se à vazão máxima de Honório Bicalho em 2022. As vazões em Honório Bicalho sempre devem ser superiores às de Rio Acima devido às contribuições de 4 ribeirões existente entre as duas estações. No entanto, a série de Honório Bicalho registrava, quando do início do presente trabalho, em julho/2024, uma vazão máxima menor que a de Rio Acima em 2022, o que é fisicamente impossível. A princípio, podia-se pensar que tinha havido uma falha de registro do dado na série de Honório Bicalho (que era convencional), pois os valores das duas outras estações são coerentes entre si e essas estações são telemétricas. Os registros da Estação convencional, feitos duas vezes ao dia, são tomados como sendo o da média diária, enquanto os dados de Raposos e de Rio Acima, tomados a cada 15 minutos (séries do portal HidroTelemetria), resultam em valores instantâneos maiores, assim como em médias diárias maiores, que são as que constam das séries diárias obtidas do portal HidoWeb da ANA.

No entanto, a cheia excepcional e recorde de 09/01/2022 interrompeu a operação da estação telemétrica de Raposos, pelo fato de o nível do rio ter atingido o painel de instrumentos, e cobriu totalmente as régua linimétricas das três estações, impedindo o acesso do observador às régua de Honório Bicalho. Portanto, os valores constantes nas tabelas do portal HidoWeb para Honório Bicalho e Raposos, referentes ao período de interrupção dos dados, foram determinados pela ANA com base em metodologia usual para esses casos e, possivelmente, utilizando os dados registrados pela estação telemétrica de Rio Acima, cuja operação não foi interrompida pela cheia daquele dia.

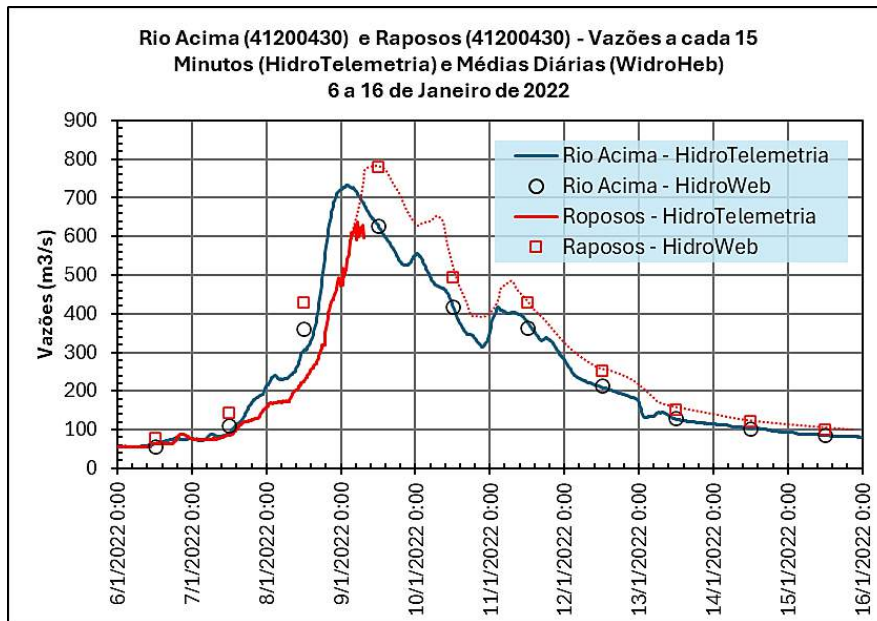
A tabela de dados de Raposos disponível no portal HidroTelemetria tem registros de dados de vazão até às 7:15 h da manhã do dia 8/01/2022 (595,73 m³/s), sendo que a vazão máxima foi registrada às 5:30 h (638,71 m³/s), porém depois de oscilações nas medições que começaram às 4:00 h, indicando interferências provocada pelo nível elevado do rio nos equipamentos da estação.

A série do Portal HidroWeb para Honório Bicalho informava uma vazão de 311,52 m³/s no dia 08/01/2022 e uma de 505,43 m³/s no dia 09/01/2024. Pelas considerações acima – e com cálculos baseados na metodologia de Dupla Massa descrita mais abaixo – estimamos que os valores corretos para Honório Bicalho deveriam ser próximos de 387,0 e 685,0 m³/s. Concluímos que seria necessário que a ANA revisasse, pelo menos, as vazões dos dois dias citados, assim como as dos 2 ou 3 dias imediatamente anteriores e posteriores a essas datas, pois esses números, por serem os maiores de toda a série histórica de Honório Bicalho, são de crucial importância para a estimativa dos tempos de retorno das vazões do rio (tema a ser abordado em outro Relatório), assim como para os estudos aqui apresentados.

A tabela a seguir resume os valores das vazões dos dias 7 a 14 de janeiro de 2022 nas três estações acima mencionadas e inclui, na última coluna, os valores que havíamos estimado como corretos para Honório Bicalho.

Dia	Rio Acima	Honório Bic.	Raposos	Estim. Hon. Bic.
07/01/2022	111,381	119,897	144,6095	
08/01/2022	361,58	311,52	429,2868	387,0
09/01/2022	627,57	505,43	780,5803	685,0
10/01/2022	419,64	474,14	494,5788	
11/01/2022	365,20	401,02	430,5128	
12/01/2022	213,54	264,56	252,2605	
13/01/2022	129,54	169,19	152,8838	
14/01/2022	103,55	126,40	121,9132	

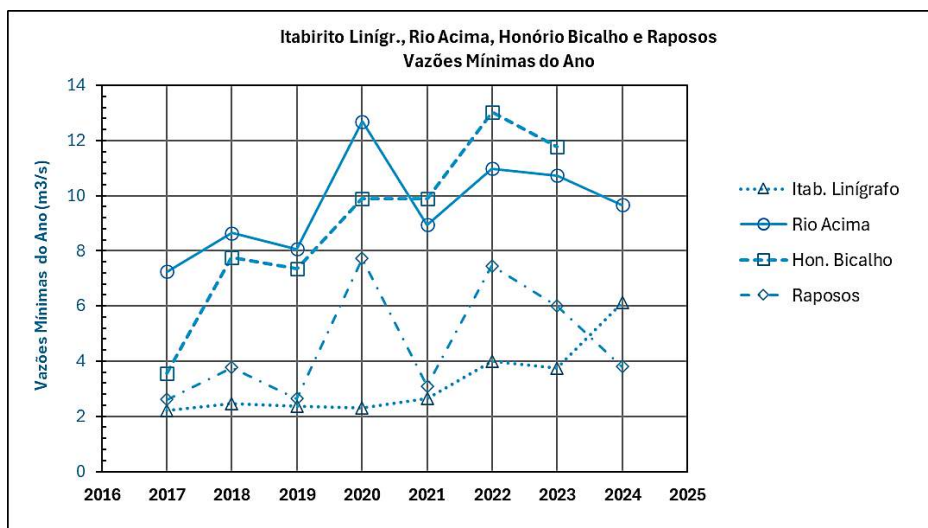
Destaca-se que as vazões máximas em Raposos e em Rio Acima ocorreram em 9 de janeiro de 2022, dia do evento extremo de chuva da região. Em Rio Acima a vazão máxima chegou a 627,57 m³/s nesse dia e em Raposos, devido à contribuição dos 8 ribeirões afluentes, atingiu o valor recorde de 780,58 m³/s. A estação voltou a operar às 18:00 h do dia 03/02/2022, porém com várias falhas de registros nos dias seguintes. A tabela do portal HidroWeb, entretanto, apresenta dados para todos os dias do mês de janeiro de 2022 e, para o dia 09 daquele mês, a vazão média constante da tabela é de 780,58 m³/s, maior que o máximo de 638,71 m³/s registrado pelo sistema telemétrico às 5:30 h. Portanto, os dados diários do dia 9 de janeiro até o dia 3 de fevereiro foram calculados pela ANA. Com base neles esboçamos a linha do hidrograma da Estação de Raposos mostrada no gráfico a seguir (curva pontilhada vermelha). O hidrograma de Raposos (em vermelho) é deslocado para a direita com relação ao de Rio Acima devido ao tempo de viagem da onda de cheia entre Rio Acima e Raposos e o máximo em Raposos deve ser superior ao de Rio Acima devido à contribuição dos 8 afluentes que existem entre as duas localidades.



A parte serrilhada na extremidade da curva da telemetria de Raposos corresponde a instabilidades nas medições que começaram a ocorrer na madrugada, a partir das 4:00 h, devido à influência do nível das águas na aparelhagem da estação.

O resumo feito acima é importante como registro do maior evento de cheias de que se tem notícia na história do Rio das Velhas.

O comportamento das vazões mínimas (gráfico a seguir) é oposto ao das máximas: elas são maiores em Rio Acima e Honório Bicalho que em Raposos. Isso pode ser explicado pelo fato de que a captação de água feita pela COPASA em Bela Fama, que reduz a vazão do rio, é significativa na época da estiagem, pois pode chegar a 8,77 m³/s (vazão outorgada para a ETA), embora, normalmente seja da ordem de 7,5 m³/s ou menos um pouco para que a vazão residual mínima a jusante da ETA Bela Fama não seja menor que o valor legal permitido 3,04 m³/s. A diferença de vazão entre os pontos das mínimas de Rio Acima e de Raposos constitui apenas parte da vazão captada pela COPASA, pois, além dessa diferença entre as vazões dessas duas estações, a vazão captada inclui a vazão total dos 8 ribeirões que afluem ao rio entre Rio Acima e Raposos, ribeirões esses que não possuem sistemas de medição de vazões.

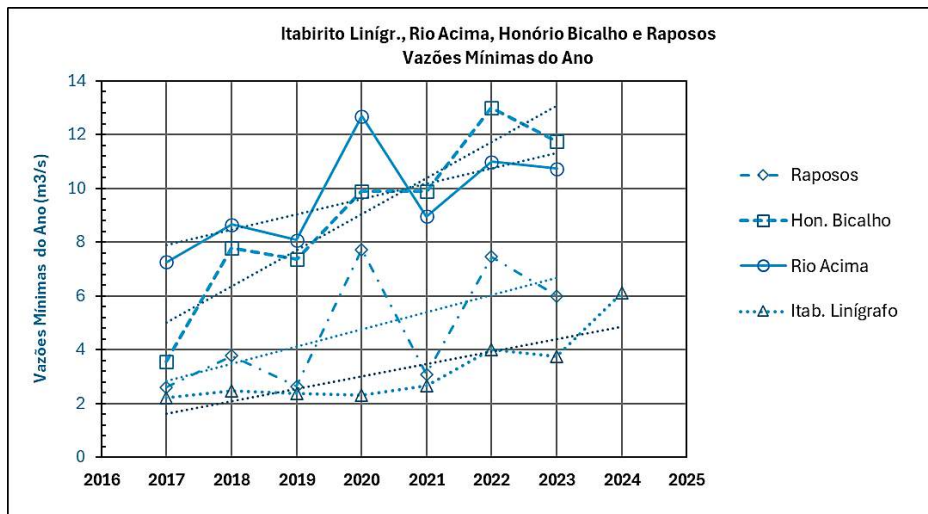


Comparação das vazões mínimas diárias nas Estações

Destaca-se, no gráfico acima, um comportamento anômalo das vazões de Honório Bicalho com relação às de Rio Acima e Raposos. Embora os aumentos e reduções (picos e vales) das três curvas sejam correspondentes entre si, a vazão registrada em Honório Bicalho, como já comentado, sempre deveria ser maior que a de Rio Acima devido à contribuição dos quatro ribeirões existentes entre as duas localidades. No entanto, de 2017 a 2020 as vazões em Honório Bicalho têm valores menores que os de Rio Acima, o que indica que as vazões em Honório Bicalho foram subestimadas nesse período ou, ao contrário, que houve as de Rio Acima foram sobrestimadas. Em qualquer dos dois casos, pode ter ocorrido erros de calibração da curva-chave em uma das estações ou em ambas. Ainda que os valores absolutos apresentem essa incoerência, a coincidência dos comportamentos (picos e vales) pode validar a tendência geral das vazões nesse trecho do rio das Velhas.

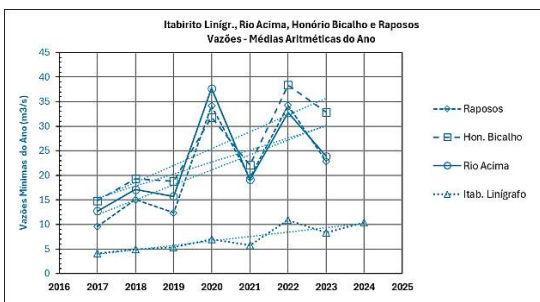
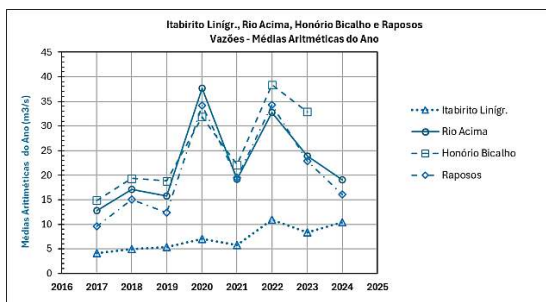
Nota-se também que, de 2017 a 2023, nas estações de Raposos, Honório Bicalho e Rio Acima – as três situadas relativamente próximas em um mesmo trecho do Rio das Velhas, sucederam-se, a partir de 2017, aumento de vazão em um ano e redução no seguinte, um comportamento em ziguezague, exceto de 2023 para 2024. A tendência geral nesse período, no entanto, foi de aumento das vazões.

As vazões mínimas nas quatro estações têm tendência de crescimento até 2023, como mostrado no gráfico a seguir, em que se retirou os pontos de 2024, pois existem dados disponíveis somente até esse ano e na Estação de Honório Bicalho, devido à sua desativação. Em 2024 houve queda das mínimas em três das estações, mas não em Itabirito Linígrafo. Esse crescimento das vazões mínimas nos últimos sete anos é uma constatação importante que será abordada mais à frente, ao longo desse trabalho.

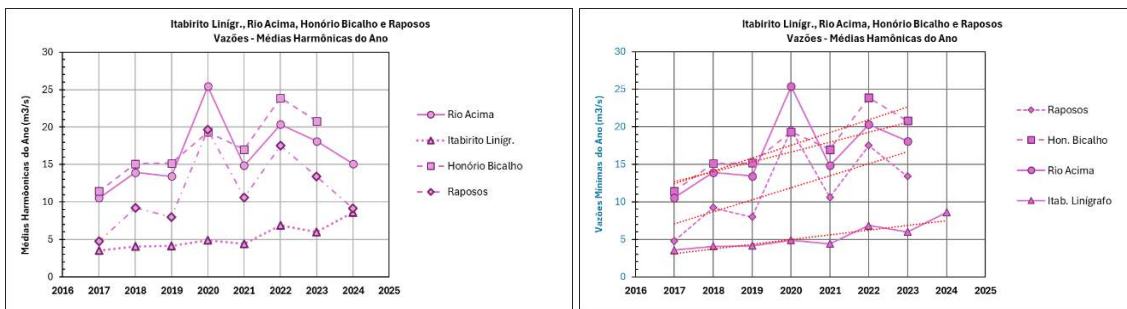


Comparação das vazões mínimas diárias nas Estações de 2017 a 2023

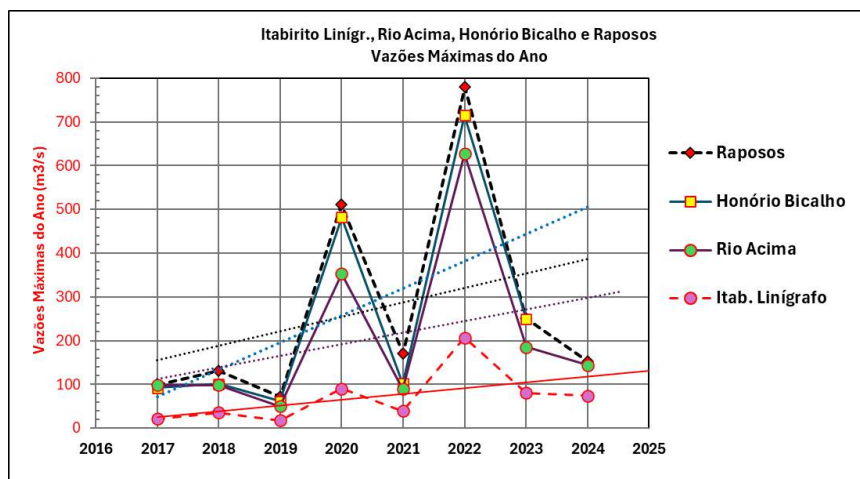
Os gráficos abaixo mostram que o comportamento das vazões médias anuais, tanto a aritmética quanto a harmônica, bem como das vazões máximas, é similar ao das vazões mínimas acima descrito.



Comparação das médias aritméticas das vazões diárias nas Estações



Comparação das médias harmônicas das vazões diárias nas Estações



Comparação vazões máximas nas Estações

A reta de regressão da curva de Honório Bicalho deveria ser aproximadamente paralela às das curvas de Rio Acima e de Raposos, mas no gráfico acima, apresenta-se com maior declividade. Isso se deve ao fato de que falta, para Honório Bicalho, o ponto referente a 2024.

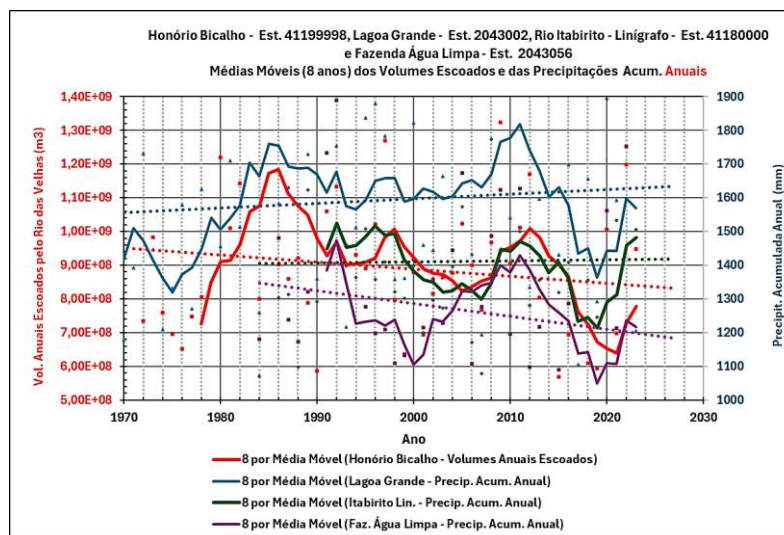
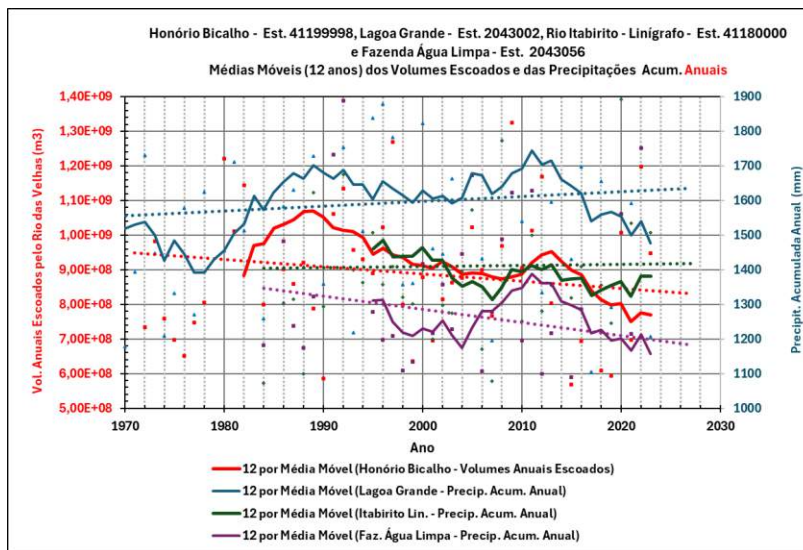
Deve-se destacar que o ano de 2024 será lembrado por ser o de uma seca histórica, a mais longa e severa dos últimos 63 anos, o que pode ter influenciado na queda das vazões acima destacada, exceto no Rio Itabirito (Linígrafo), motivo pelo qual a manutenção do aumento das vazões nesse rio pode ser considerada anômala e precisa ser investigada.

6.3.11 Vazões em Honório Bicalho e Precipitações nas Áreas das Três Estações – Médias Móveis

Apresenta-se a seguir os resultados da análise, por médias móveis de intervalos de 12 e de 8 anos, dos volumes escoados pelo do Rio das Velhas, conforme registro das vazões feitos em Honório Bicalho e das alturas de precipitação acumuladas durante os anos civis, os períodos secos e os úmidos das Estações Lagoa Grande - Est. 2043002, Rio Itabirito - Linígrafo - Est. 41180000 e Fazenda Água Limpa - Est. 2043056.

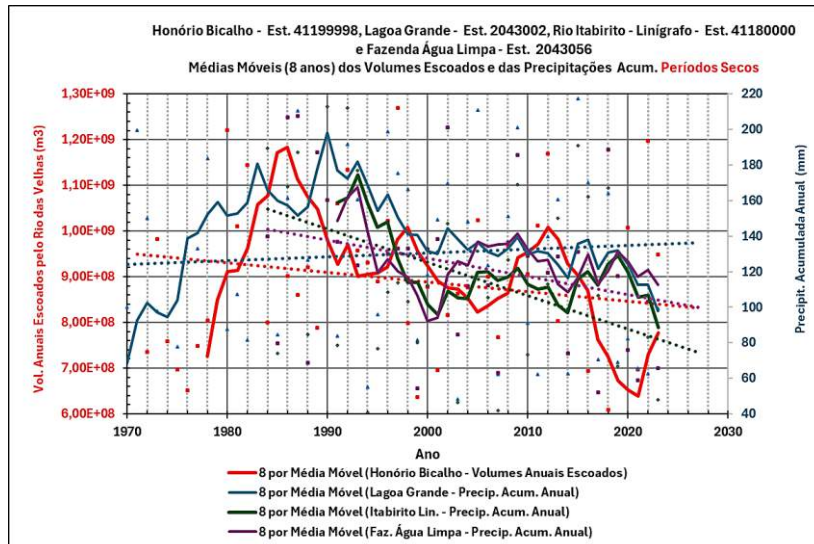
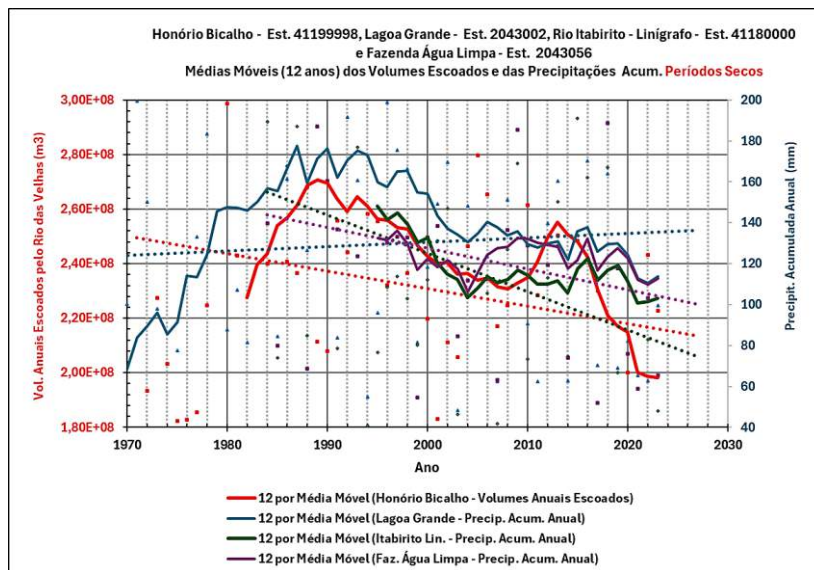
Os gráficos a seguir, relativos aos valores dos **anos civis**, apresentam, para comparação, a evolução dos valores das médias móveis de 12 e de 8 anos, podendo-se observar que há tendência sistemática de redução dos volumes escoados pelo rio a partir dos meados da de 1980 e final dessa década. As oscilações dos volumes acompanham as das precipitações, como se é de esperar, porém há tendência geral, representada por retas de regressão dos dados, de aumento das precipitações em Lagoa Grande (Sinclinal) e na Fazenda Água Limpa e de redução nas áreas de itabirito Linígrafo, o que permite supor que os volumes escoados estão mais bem

correlacionados com as precipitações na área da Fazenda Água Limpa (cabecceiras o rio) que com as das outras duas estações. Destacam-se a forte redução dos volumes escoados e das precipitações a partir do início da década de 2010 e um início de recuperação no final dessa década, fato esse que fica mais evidente no gráfico das médias móveis de 8 anos.

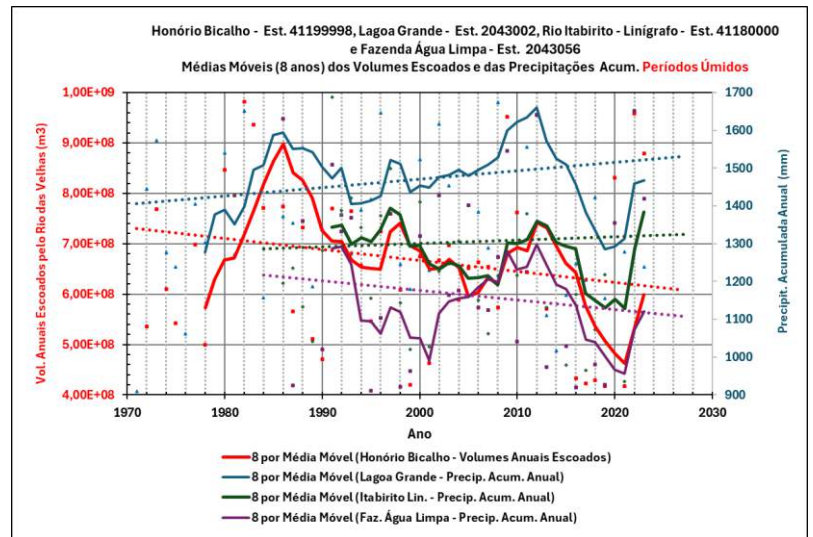
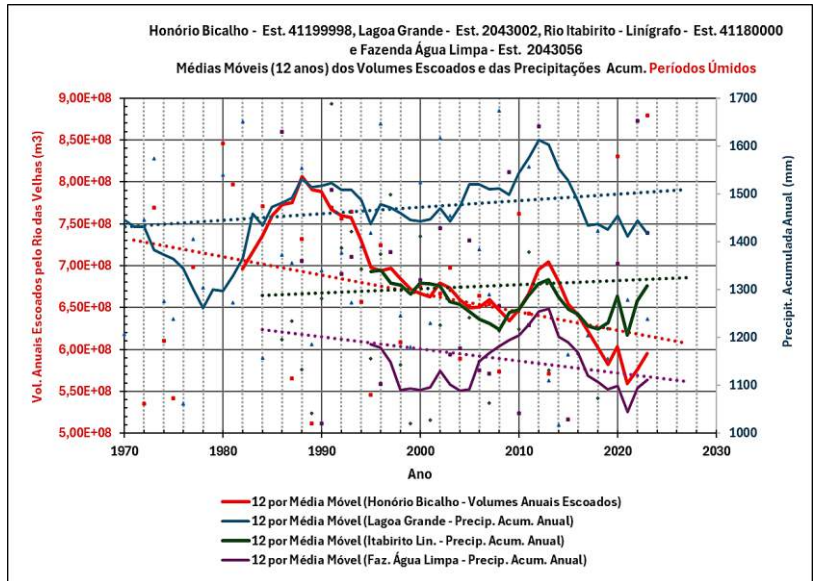


Nos gráficos a seguir, relativos aos valores dos **períodos secos** de cada ano, pode-se observar que também há tendência sistemática de redução dos volumes escoados pelo rio a partir do final da década de 1970 e meados da de 1980. As oscilações dos volumes acompanham as das precipitações, como se é de esperar, havendo tendência geral, representada por retas de regressão dos dados, de redução das precipitações dos períodos secos nas três estações pluviométricas. A recuperação parcial dos volumes escoados que se verifica entre 2005 e 2010 parece estar relacionada ao aumento das precipitações dos períodos secos em Itabirito Linígrafo algumas anos antes. Entretanto, os volumes escoados em Honório Bicalho apresentam forte queda a partir do início da década de 2010, embora as precipitações dos períodos secos nas três estações continuem estáveis ou, no máximo, com uma pequena redução.

O gráfico das médias de 8 anos apresenta recuperação da média dos volumes a partir de 2019 embora ocorra queda simultânea da média de precipitações dos períodos secos. Essas discrepâncias permitem inferir a presença de fatores antrópicos, tais como o aporte de vazões adicionais ao rio provenientes de reservatórios e de bombeamento de água de cavas de mineração.

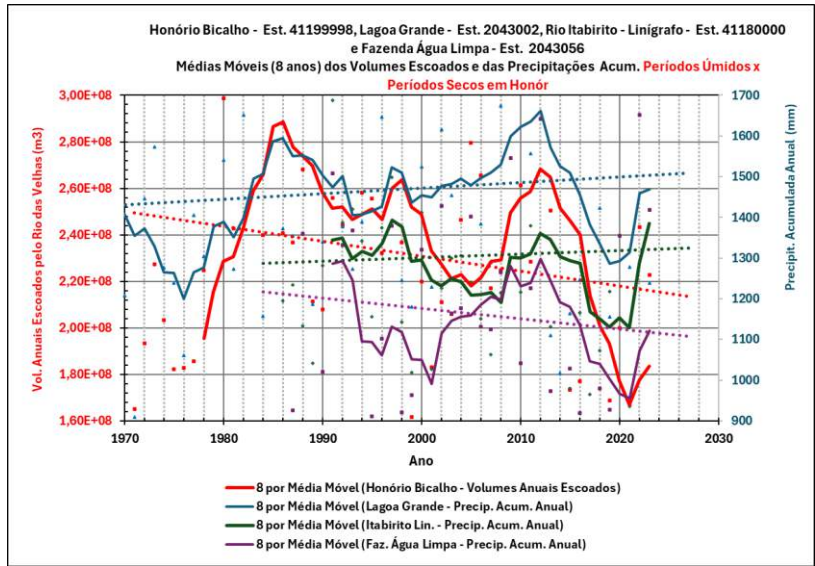


Nos gráficos a seguir, relativos aos valores dos **períodos úmidos** de cada ano, pode-se observar que também há tendência sistemática de redução dos volumes escoados pelo rio a partir dos meados da década de 1980 e final dessa década. As oscilações dos volumes acompanham as das precipitações, como nos demais casos, havendo tendência geral, representada por retas de regressão dos dados, de aumento das precipitações dos períodos úmidos na Lagoa Grande e em Itabirito Linígrado, bem como de redução da Fazenda Água Limpa. Os volumes escoados em Honório Bicalho nos períodos úmidos apresentam forte queda a partir do início da década de 2010, aparentemente mais bem correlacionada com as precipitações na área da Fazenda Água Limpa a partir de 2005, mas sem correlação aparente no período anterior a esse ano.



Com o objetivo de permitir uma avaliação da correlação das vazões dos períodos secos em Honório Bicalho com as precipitações dos períodos úmidos apresenta-se a seguir, em um mesmo gráfico, as curvas referentes a esses períodos.

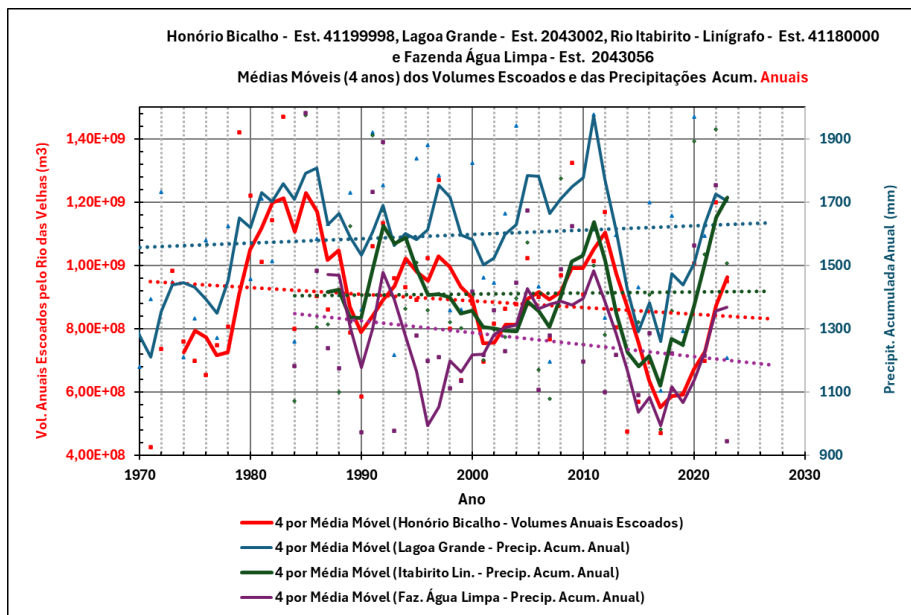


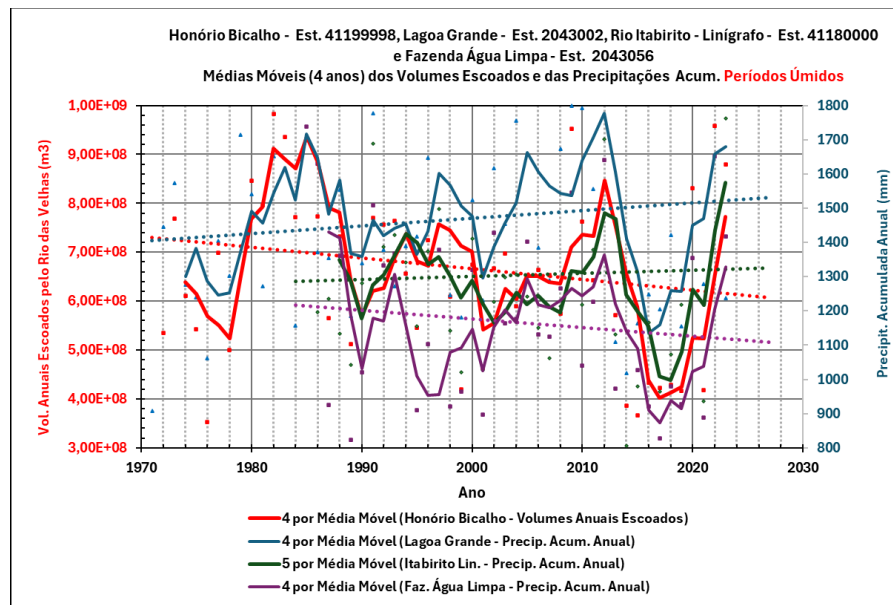
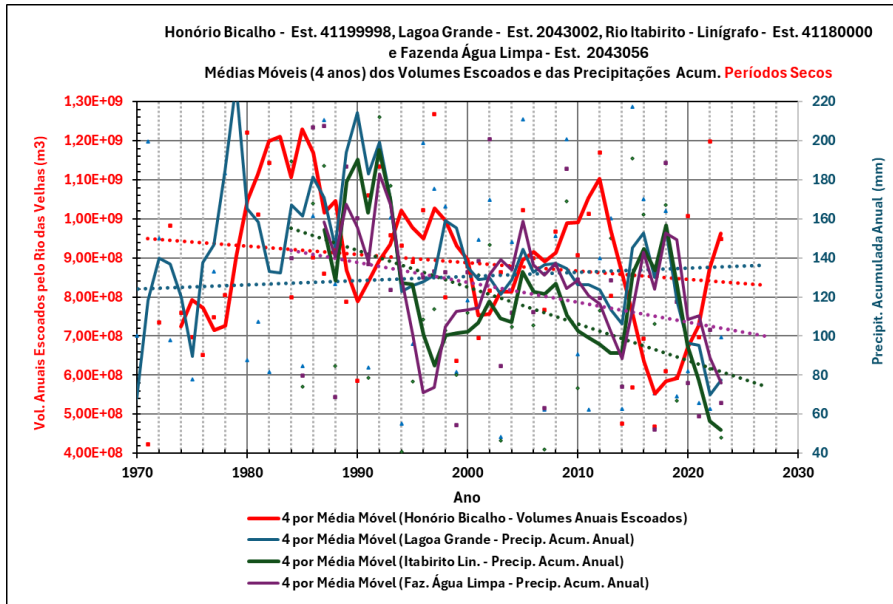


Entre 2009 e 2017 as curvas das médias móveis de 12 anos se comportam de maneira similar, sugerindo que as vazões dos períodos secos estão diretamente relacionadas às chuvas dos períodos úmidos, porém essa relação não é evidente – e em certos pontos parece invertida – em outros períodos. No caso das médias de 8 anos verifica-se maior correlação a partir de 2005, mas as chuvas na Lagoa Grande entre 2000 2005 aumentaram enquanto as vazões se reduziram.

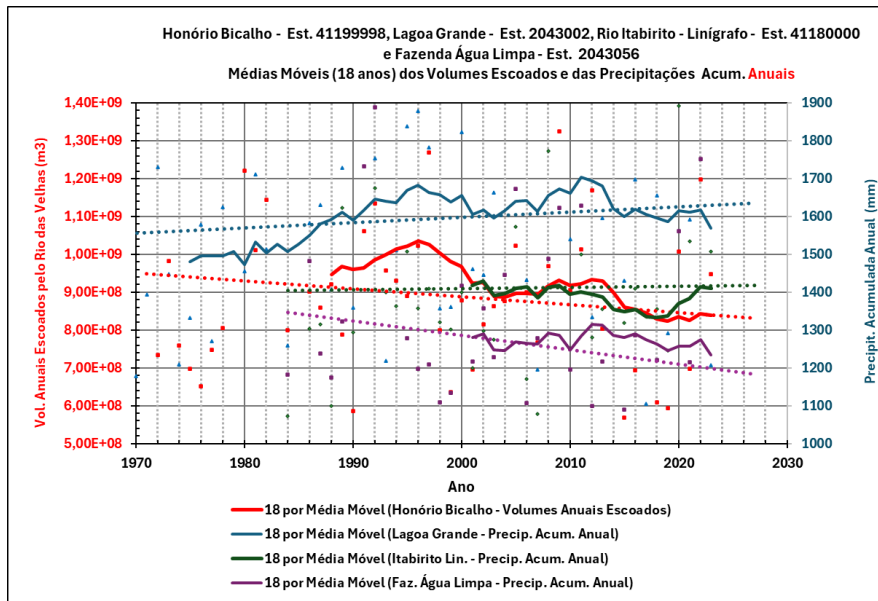
Quando se considera a média móvel de 4 anos, para o recorte que considera os anos civis e os períodos úmidos, há uma melhor correlação entre as oscilações de valores dos volumes escoados e de precipitações (gráficos abaixo), porém, para os períodos secos, essa correlação não se verifica de forma geral, o que indica que os volumes escoados pelo rio durante os períodos secos dependem mais das vazões de base do que dos poucos eventos de chuva desse período.

Na década de 1990 as médias de 4 anos das vazões do Velhas (anos civis, períodos secos e úmidos) apresentaram dois picos, aproximadamente coerentes com as médias da Lagoa dos Ingleses e de Itabirito Linígrafo, porém as médias da Fazenda Água Limpa apresentaram um vale pronunciado, denotando importante diferença climática entre as regiões, porém sem efeito aparente nos volumes escoados. Esse comportamento está presente também nos gráficos das médias de 12 e de 8 anos, embora menos evidente. A tendência geral de redução dos volumes, escoados, no entanto, se mantém, assim como as tendências das precipitações.

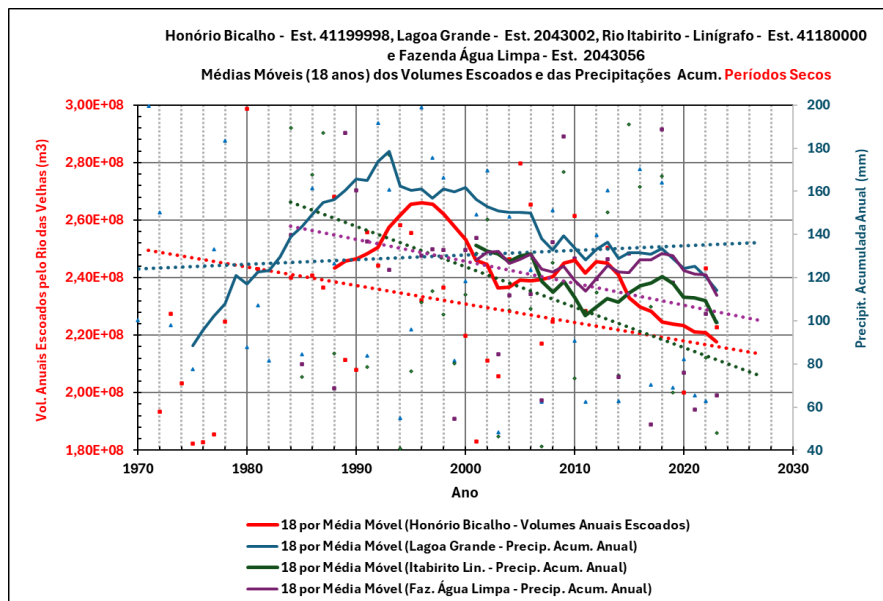


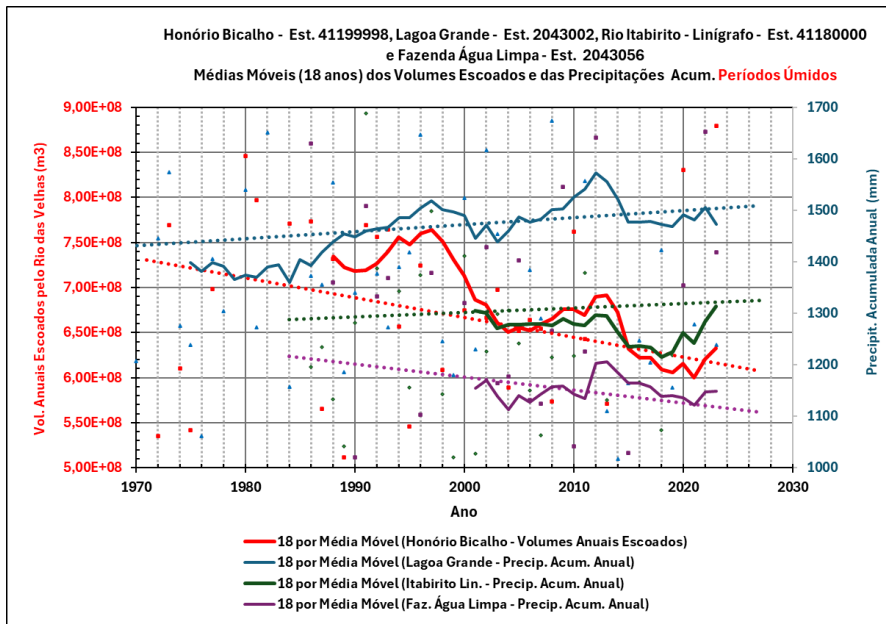


A média móvel de período 18 anos permite completar a avaliação das tendências por meio desse tipo de metodologia. O gráfico dos anos civis a seguir mostra que as vazões do Rio das Velhas em Honório Bicalho apresentam tendência sistemática de redução aparentemente mais associada à tendência das precipitações na região da Estação Água Limpa, próxima à Serra do Gandarela. Há tendência geral de aumento das precipitações em Lagoa Grande (Sinclinal) e redução nas áreas das outras duas estações.



A tendência de redução das vazões ocorre tanto nos períodos secos quanto nos úmidos e ocorre associada à redução geral da pluviosidade dos períodos secos e apesar do aumento da pluviosidade dos períodos úmidos na área da Lagoa Grande, como se pode ver pelos gráficos abaixo:





6.3.12 Correção das Vazões em Honório Bicalho de 8 a 15/01/2022

Conforme já observado, a série histórica de vazões da Estação de Honório Bicalho disponível no site HidroWeb em 30/09/2024 informava para, os dias 8 e 9 de janeiro de 2022, datas da cheia recorde do rio, vazões que são inferiores às de Raposos (a jusante) e de Rio Acima (a montante), o que é incoerente. Para corrigir essa incoerência aplicamos o método de Dupla Massa, descrito nesse documento na parte referente à análise de dados pluviométricos com o objetivo avaliar as vazões com base na correlação simples entre as vazões de Honório Bicalho e as das duas outras estações. Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos por meio de ambos os processos.

Os valores corretos das vazões em Honório Bicalho ou, pelo menos, os valores mais prováveis, são de extrema importância para a atualização das vazões máximas, com tempos de retorno de 500, 1.000 e 10.000 anos, que poderá servir de referência para o redimensionamento dos vertedouros e canais das barragens de rejeito e dos sistemas de drenagem das minas de toda a região, reduzindo, assim, o risco de danos maiores que podem ser causados por eventos extremos advindos das mudanças climáticas.

Os arquivos de dados da ANA, disponibilizados na HidroWeb, informavam as seguintes vazões nas três estações citadas, desde o dia 7 até o dia 15 de janeiro de 2022:

Data	Vazões (m³/s)		
	Rio Acima	Honório Bicalho	Raposos
07/01/2022	111,38	119,90	151,61
08/01/2022	361,58	311,52	436,29
09/01/2022	627,57	505,43	787,58
10/01/2022	419,64	474,14	501,58
11/01/2022	365,20	401,02	437,51
12/01/2022	213,54	264,56	259,26
13/01/2022	129,54	169,19	159,88

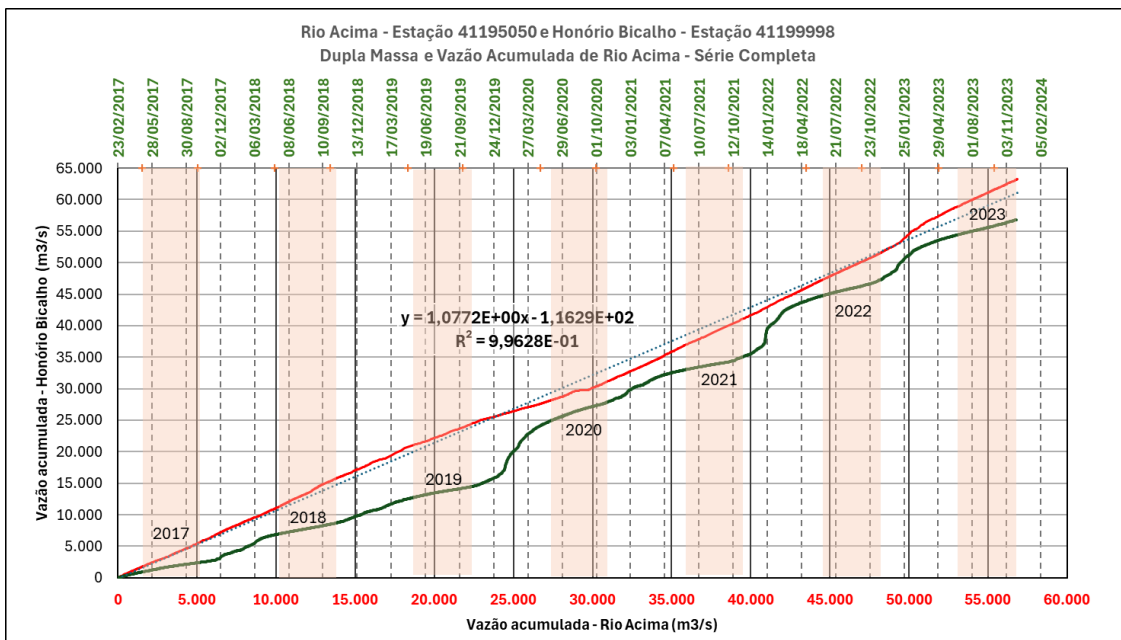


14/01/2022	103,55	126,40	128,91
15/01/2022	85,29	102,13	107,51

As vazões em Honório Bicalho devem ser maiores que as de Rio Acima e menores que as de Raposos, visto estar Honório Bicalho entre as duas estações. Mas isso não ocorre com as vazões dos dias 8 e 9, que são menores que as das duas estações.

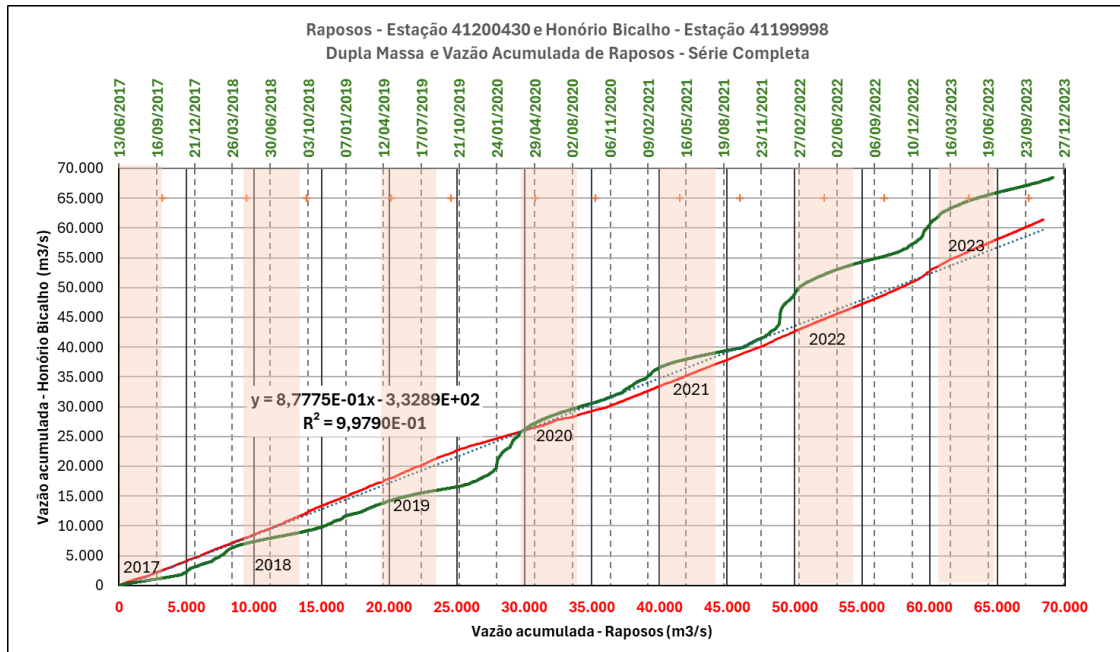
O gráfico a seguir inclui a curva da Dupla Massa de Rio Acima x Honório Bicalho (curva na cor vermelha) e a curva das massas de Rio Acima (soma contínua das vazões diárias, curva na cor verde), sendo que essa refere-se ao eixo das ordenadas para a soma das vazões e ao eixo horizontal superior para as datas. A equação da reta de regressão da Dupla Massa tem coeficiente da variável maior que 1, indicando que, que a soma das massas em Honório Bicalho é maior do que a de Rio Acima. O coeficiente de explicação R2 da equação tem valor 0,996, o que indica uma correlação bastante elevada e, portanto, confiável, entre as duas variáveis analisadas.

No gráfico, a curva da soma das massas inclui os anos a que se refere cada trecho. Os números indicativos dos anos estão colocados acima ou abaixo dos trechos da curva referentes aos períodos secos, ou seja, trechos de menor inclinação. Os trechos de maior inclinação (os “degraus” da curva) correspondem ao período chuvoso, em que as vazões aumentam e, com isso, o somatório delas cresce mais rapidamente. Quanto mais pronunciado o degrau, maiores foram os valores das vazões, ou seja, maior foi a pluviosidade dos períodos úmidos. Os mais chuvosos foram os que decorreram entre 1/out./2019 e 30/abr./2020 e entre 1/out./2021 e 30/abr./2022. Entre 2017 e 2018 o período úmido teve poucas chuvas (vazões baixas), motivo pelo qual praticamente não há degrau nesse trecho. O mesmo ocorreu entre 2018 e 2019 e entre 2020 e 2021.



O gráfico a seguir, similar ao acima, refere-se a Raposos x Honório Bicalho e foi traçado considerando a captação de água feita pela COPASA na ETA Bela Fama. A quantidade de água retirada do rio pela ETA não constitui uma porcentagem significativa quando as vazões são mais altas, mas torna-se bastante importante na época da seca, pois corresponde a porcentagem

importante da vazão afluyente, podendo chegar a 74% dessa vazão quando ela é da ordem de 12 m³/s, pois é necessário que a vazão residual da ETA não seja menor que 3,04 m³/s e a vazão outorgada para a ETA Bela Fama é de 8,771 m³/s. Assim, para tomar em conta a captação feita na ETA, no cálculo da Dupla Massa, representado no gráfico a seguir, somou-se uma vazão de 7 m³/s a cada valor diário da vazão (do site HidroWeb) da Estação de Raposos, considerando-se esses 7 m³/s como o da média da vazão captada pela COPASA.



Nesse gráfico, mostra-se que a equação da reta de regressão da Dupla Massa tem coeficiente da variável menor que 1, indicando que a soma das massas em Honório Bicalho é menor do que a de Raposos. O coeficiente de explicação R² da equação tem valor 0,998, uma correlação bastante elevada e, portanto, confiável, entre as duas variáveis analisadas.

A tabela a seguir apresenta o resultado dos cálculos para as três estações desde o dia 7 até o dia 15 de janeiro de 2022. Os valores do somatório das massas de Honório Bicalho foram calculados com o uso das duas equações que estão nos gráficos acima, aplicando-se nelas, como valor de “x”, os valores das massas de Rio Acima e de Raposos, respectivamente. As vazões obtidas para Honório Bicalho são as diferenças entre dois valores sucessivos das massas calculadas para as outras duas estações. A última coluna da tabela, à direita, é a da média dos valores de vazões em Honório Bicalho calculados com base em Rio Acima e em Raposos. Obtém-se, dessa forma, vazões de 387,07 e 685,19 m³/s para os dias 8 e 9.

	Raposos x Honório Bicalho			Rio Acima x Honório Bicalho			Vazão Média em Hon. Bic.
	Massa Raposos	Massa Calculada p/ Hon. Bicalho	Vazão Hon. Bicalho	Massa Rio Acima	Massa Calculada p/ Hon. Bicalho	Vazão Hon. Bicalho	
07/01/2022	43853,1	38271,62		37284,0	40046,01		
08/01/2022	44289,3	38656,27	384,64	37645,6	40435,50	389,50	387,07
09/01/2022	45076,9	39350,62	694,35	38273,1	41111,52	676,02	685,19
10/01/2022	45578,5	39792,83	442,21	38692,8	41563,56	452,04	447,12
11/01/2022	46016,0	40178,55	385,72	39058,0	41956,95	393,39	389,56
12/01/2022	46275,3	40407,12	228,57	39271,5	42186,97	230,02	229,30

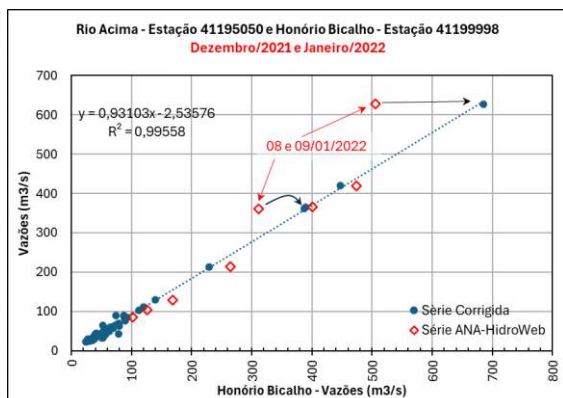
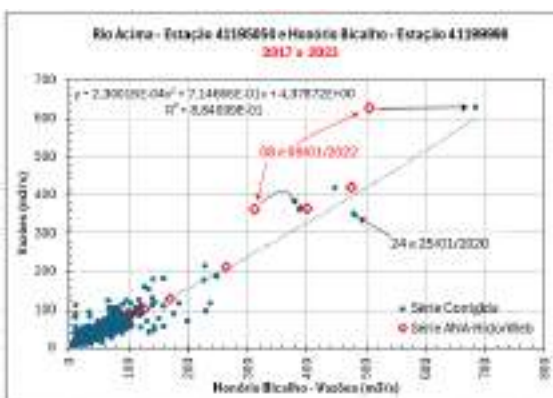
13/01/2022	46435,2	40548,08	140,96	39401,0	42326,51	139,54	140,25
14/01/2022	46564,1	40661,74	113,65	39504,6	42438,06	111,55	112,60
15/01/2022	46671,6	40756,52	94,78	39589,9	42529,93	91,87	93,33

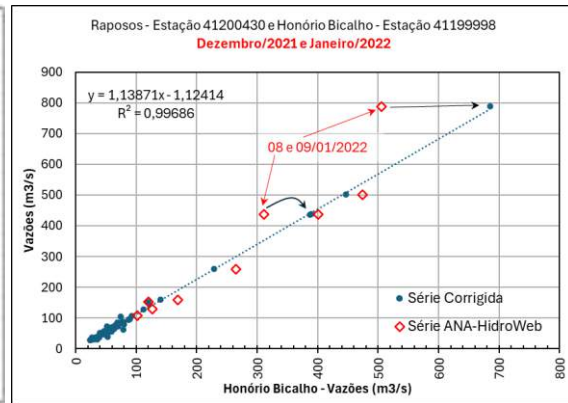
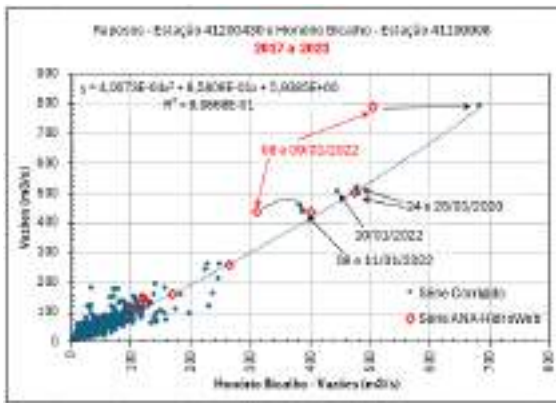
O valor médio da vazão captada em Bela Fama influencia a vazão resultante em Honório Bicalho. Para analisar a sensibilidade desse valor, calculou-se a Dupla Massa entre Raposos e Honório Bicalho considerando-se uma captação média diária de 5,0 m³/s e não os 7,0 m³/s que resultaram na tabela acima. As vazões obtidas são mostradas na tabela abaixo (equação de regressão: $y = 0,93739x - 14,298$)

	Raposos x Honório Bicalho			Rio Acima x Honório Bicalho			Vazão Média em Hon. Bíc.
	Massa Raposos	Massa Calculada p/ Hon. Bicalho	Vazão Hon. Bicalho	Massa Rio Acima	Massa Calculada p/ Hon. Bicalho	Vazão Hon. Bicalho	
07/01/2022	40515,1	37964,11		37284,0	40046,01		
08/01/2022	40949,3	38371,21	407,10	37645,6	40435,50	389,50	398,30
09/01/2022	41734,9	39107,61	736,40	38273,1	41111,52	676,02	706,21
10/01/2022	42234,5	39575,91	468,30	38692,8	41563,56	452,04	460,17
11/01/2022	42670,0	39984,15	408,25	39058,0	41956,95	393,39	400,82
12/01/2022	42927,3	40225,30	241,15	39271,5	42186,97	230,02	235,59
13/01/2022	43085,2	40373,30	148,00	39401,0	42326,51	139,54	143,77
14/01/2022	43212,1	40492,27	118,97	39504,6	42438,06	111,55	115,26
15/01/2022	43317,6	40591,17	98,90	39589,9	42529,93	91,87	95,39

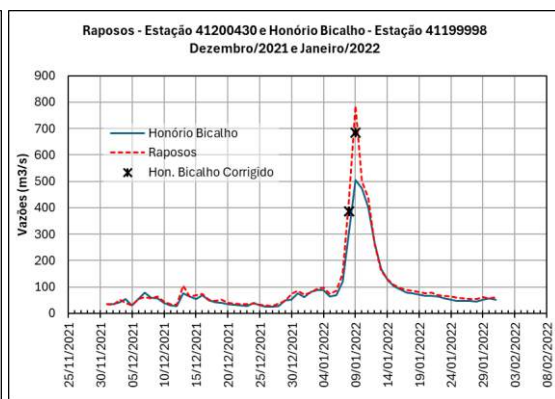
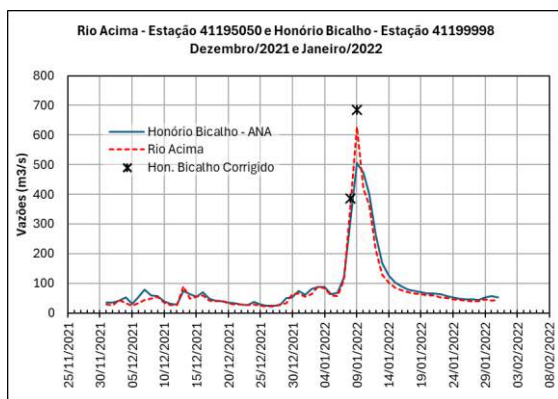
Assim, a vazão do dia 01/09/2022, pela tabela acima, deveria ter sido entre 685 e 706 m³/s, se consideradas as médias, ou entre 676 e 736 se considerados os valores extremos.

Os gráficos abaixo são os das correlações diretas entre as vazões das estações. Os pontos azuis referem-se às correlações que consideram a série de Honório Bicalho já com valores corrigidos, de acordo com a primeira tabela acima (de 7 a 15 de jan./2022). Os pontos em vermelho mostram as vazões da série da ANA, na HidroWeb, no mesmo período. As setas indicam o deslocamento dos pontos dos dias 8 e 9, caso sejam adotados os valores corrigidos. Os gráficos da esquerda incluem todos os dados das estações de Rio Acima (a partir de 23/02/2017 até 30/11/2023, data do último dado da série de Honório Bicalho) e de Raposos (a partir de 13/06/2017 até 30/11/2023). Os gráficos da direita incluem somente os valores de vazões dos meses de dezembro de 2021 e de janeiro de 2022, o que permite obter uma melhor correlação.





Os hidrogramas a seguir mostram a curva da vazão em Honório Bicalho abaixo das curvas em Rio Acima e Raposos, conforme série da ANA-HidroWeb e os pontos, com vazões corrigidas pelo processo de Dupla Massa, referentes aos dias 8 e 9 de janeiro de 2022.



Como os números acima referidos, por serem os maiores de toda a série histórica de Honório Bicalho, são de crucial importância para a estimativa dos tempos de retorno das vazões do rio, assim como para os estudos aqui apresentados, em 14/01/2025 enviamos e-mail à ANA com nossos cálculos, ponderações e justificativas e em 09/07/2025 recebemos da ANA a confirmação de que as alterações foram feitas:

De: Marisa Morita dos Santos <marisa.santos.terceirizado@ana.gov.br>

Enviado: Wednesday, July 9, 2025 5:41:32 PM

Para: Marcia Boechat <marcia_boechat@hotmail.com>

Cc: eulerccruz <eulerccruz@gmail.com>

Assunto: RES: Correção das Vazões do Rio das Velhas em Honório Bicalho em Janeiro de 2022

Boa tarde, Marcia,

Peço perdão pela demora. A equipe verificou e o processo de análise de consistência de dados da estação Honório Bicalho (41199998) já foi concluído levando em consideração as informações enviadas pelo Instituto Fórum Permanente São Francisco e estão disponíveis para consulta via HIDROWEB.

Em caso de dúvidas, favor entrar em contato

Atenciosamente,



MARISA MORITA DOS SANTOS

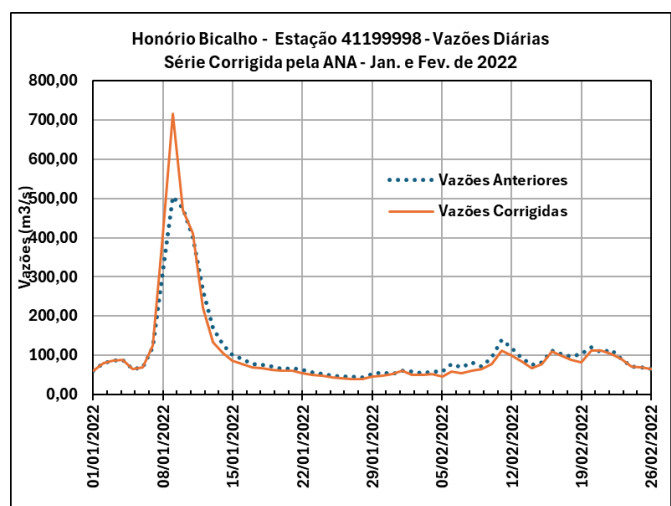
Analista de Monitoramento (RHA Engenharia) –
CRNQA/SGH

SPO, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Sala 113, Brasília (DF)

www.gov.br/ana | /anagovbr

A tabela e o gráfico a seguir mostram os valores anteriores da série de vazões de Honório Bicalho e os valores corrigidos pela ANA:

Data	Vazão Anterior	Vazão Corrigida	Data	Vazão Anterior	Vazão Corrigida
01/01/2022	60,64	60,6	01/02/2022	61,41	59,8
02/01/2022	80,14	80,1	02/02/2022	58,93	50,2
03/01/2022	87,41	87,4	03/02/2022	54,89	50,2
04/01/2022	88,34	88,3	04/02/2022	58,12	53,3
05/01/2022	64,69	64,7	05/02/2022	58,93	45,6
06/01/2022	68,86	68,9	06/02/2022	78,69	58,1
07/01/2022	119,90	124	07/02/2022	69,88	54,9
08/01/2022	311,52	407	08/02/2022	82,31	61,4
09/01/2022	505,43	715	09/02/2022	72,48	65,6
10/01/2022	474,14	471	10/02/2022	95,37	77,8
11/01/2022	401,02	410	11/02/2022	140,22	112
12/01/2022	264,56	220	12/02/2022	118,12	98,2
13/01/2022	169,19	134	13/02/2022	92,52	85,1
14/01/2022	126,40	105	14/02/2022	76,01	67,3
15/01/2022	102,13	86	15/02/2022	81,40	76,9
16/01/2022	89,69	76,9	16/02/2022	111,03	110
17/01/2022	78,69	69,9	17/02/2022	104,09	100
18/01/2022	75,12	66,4	18/02/2022	97,29	87,8
19/01/2022	70,74	63,9	19/02/2022	104,09	83,2
20/01/2022	65,60	59,8	20/02/2022	121,21	111
21/01/2022	66,45	59,8	21/02/2022	108,04	111
22/01/2022	63,07	54,1	22/02/2022	115,07	104
23/01/2022	56,50	50,9	23/02/2022	90,63	90,6
24/01/2022	52,51	47,8	24/02/2022	72,48	72,5
25/01/2022	47,84	43,3	25/02/2022	69,01	69
26/01/2022	46,32	41,1	26/02/2022	64,75	64,8
27/01/2022	45,56	39,7	27/02/2022	60,58	60,6
28/01/2022	44,81	40,4	28/02/2022	56,50	56,5
29/01/2022	52,51	46,3			
30/01/2022	56,50	48,6			
44592	52,51	53,3			



6.4 PCH RIO DE PEDRAS - RIO ITABIRITO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41180500

6.4.1 Dados Disponíveis no Portal HidroWeb

O arquivo de dados dessa Estação, abrangendo os valores horários entre 15/05/2015 e as 10:00 h do dia 03/04/2024, porém faltando dados referentes a vários períodos e horas, pode ser obtido



no portal HidroWeb. Para isso, na página principal, após indicar o número da Estação, seleciona-se “Dados Telemétricos”, e indica-se o período desejado, o qual não deve ser maior do que 90 dias. Para se obter a série histórica de vários anos é necessário baixar os dados em períodos de 90 dias, até obter o período total desejado. O arquivo contém, no total, 62851 dados de vazões. A verificação da consistência e da completude da série mostrou ser necessário desconsiderar os seguintes dados:

- desde 11:00 h do dia 23/04/2024 até 9:00 h do dia 28/10/2024 (total de 2644 dados); esse período não contém dados de vazões, mas tão somente de cotas (nível do rio) e corresponde ao período de operação da nova Estação telemétrica instalada pela MANG depois que a Estação operada pela CEMIG foi desativada.
- desde 12 h do dia 15/04/2023 até 9:00 h do dia 30/12/2023 (total de 2416 dados); esse período inclui valores de vazões que podem ser considerados incorretos, todos menores que 1,0 m³/s, incluindo quase 1500 valores de vazões entre 0,01 m³/s e 0,20 m³/s;
- dados ausentes (“NULL” na coluna de vazões) em vários períodos alternados desde as 7:00 h do dia 10/06/2015 até 9:00 h do dia 22/12/2023, em um total de 4757 valores.

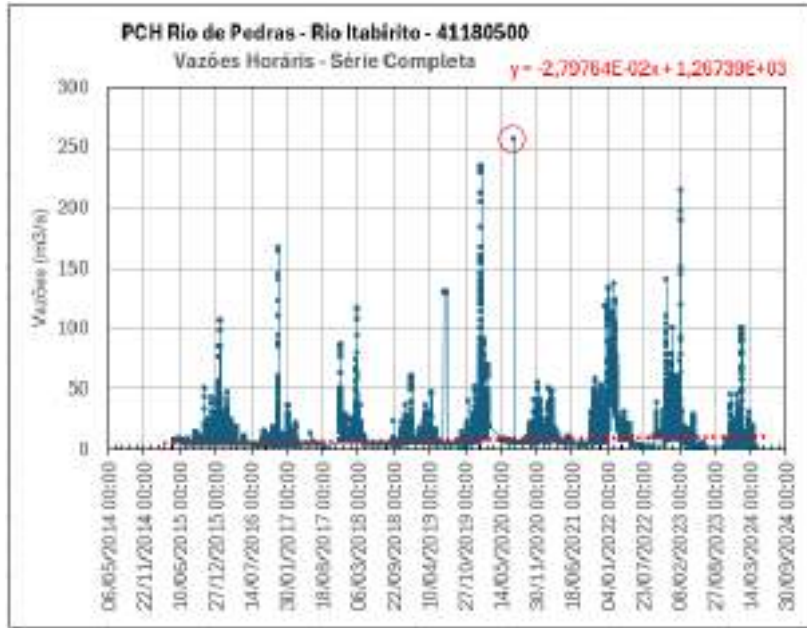
As falhas nos registros, bem como um número excessivo de valores menores que 1,0 m³/s podem ser considerados com um **forte indicador da instabilidade e não confiabilidade dos dados dessa estação**. Some-se a isso o fato de que a Estação Itabirito Linígrafo, situada poucos quilômetros a montante, com série bastante extensa e completa, não registrou valores tão pequenos e não existe nenhuma captação significativa – se é que exista alguma – de água do rio entre as duas estações. **Ainda que a série não seja confiável**, apresenta-se a seguir, somente para efeitos de padronização na apresentação dos resultados, os gráficos resultantes de sua análise.

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

	Série Completa	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Unid.
Data do início do período	15/05/2015	15/05/2015	#####	01/01/2017	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	04/01/2021	01/01/2022	01/01/2023	01/01/2024	-
Data do final do período	03/04/2024	31/12/2015	#####	31/12/2017	31/12/2018	31/12/2019	29/12/2020	31/12/2021	31/12/2022	31/12/2023	03/04/2024	-
Total de dados horários	53034	3937	5517	3821	6377	5151	6858	7799	6868	4468	2234	-
Quant. de horas do período	77903	8760	8784	8760	8760	8760	8784	8760	8760	8760	8784	h
Abrangência dos dados no período	68,08%	44,94%	62,81%	43,62%	72,80%	58,80%	78,07%	89,03%	78,40%	51,00%	25,43%	-
Média Aritmética	8,16	5,92	6,46	5,55	6,14	6,03	11,48	7,04	14,57	8,48	4,73	m ³ /s
Mediana	5,20	5,60	4,60	4,90	4,10	5,20	6,70	6,00	7,81	4,77	3,11	m ³ /s
Média Harmônica	5,02	5,51	4,86	4,72	5,04	5,28	7,51	5,76	4,42	4,03	3,03	m ³ /s
Média Harmônica/Média Aritmética	61,54%	93,14%	75,23%	84,88%	82,08%	87,60%	65,45%	81,84%	30,35%	47,50%	64,15%	%
Desvio padrão	10,59	2,34	7,82	4,66	5,23	5,24	13,90	4,84	19,21	10,81	7,49	m ³ /s
Volume total escoado no período	37.367,53	2.012,48	3.076,55	1.833,55	3.383,41	2.682,40	6.799,91	4.742,27	8.645,45	3.276,12	912,56	Mm ³
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%	5,39%	8,23%	4,91%	9,05%	7,18%	18,20%	12,69%	23,14%	8,77%	2,44%	%
Vazão diária máxima do período	234,80	50,80	167,30	87,20	117,00	129,70	234,80	118,20	140,43	214,00	100,23	m ³ /s
Vazão diária mínima do período	1,00	4,30	3,40	2,50	3,50	2,40	4,80	3,90	1,10	1,10	1,00	m ³ /s

Destaca-se que em nenhum dos anos da série disponível a quantidade de dados faltantes foi menor que 10% do total que deveria existir caso a série não apresentasse falhas. Os anos de 2015, com apenas 50% dos dados, e 2024, com apenas 25%, são os que apresentam maior deficiência. Mesmo assim procedeu-se à análise dos dados disponíveis, apenas para avaliar se poderiam indicar algum comportamento semelhante aos das demais estações com séries mais completas.

O gráfico abaixo apresenta a distribuição dos pontos de vazões horárias durante todo o período abrangido pela série disponível:

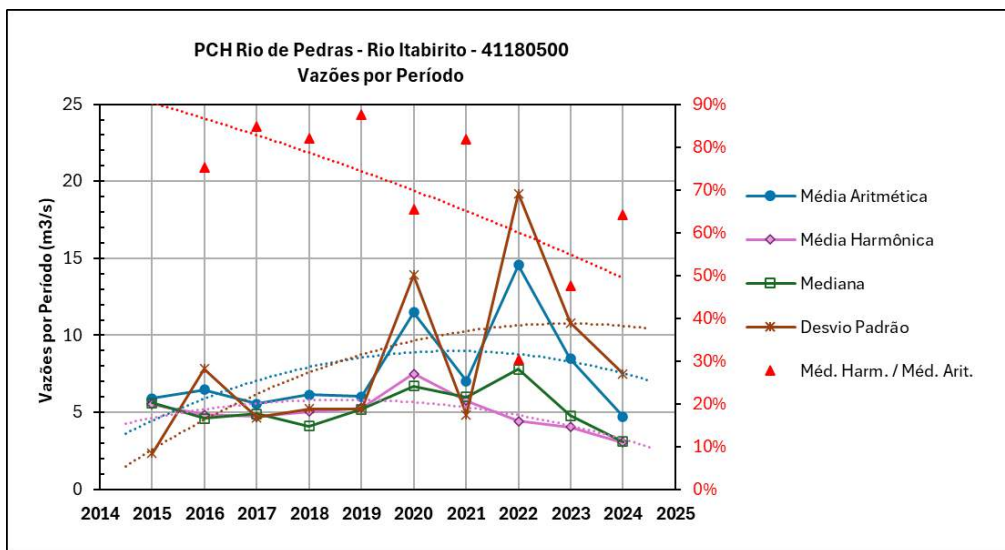


Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação

O valor de vazão marcado no gráfico com um círculo vermelho constitui um outlier causado por erro de medição, pois trata-se de um único valor alto, às 11:00 h do dia 25/07/2020, em pleno período de estiagem. Todos os demais dados desse dia e de alguns anteriores são de 5,2 m³/s. Por esse motivo o valor foi corrigido para 5,2 m³/s para as análises apresentadas a seguir. Esse constitui um exemplo do que foi feito em alguns outros casos semelhantes, não descritos no presente relatório por motivo de concisão.

Para efeitos de análise preliminar de tendência, como em outros casos, inclui-se no gráfico acima a reta obtida por regressão linear, cuja equação, mostrada no gráfico, tem coeficiente da variável negativo, o que indica uma tendência de redução da vazão ao longo dos nove anos da série disponível.

As médias, o desvio padrão e a relação entre a média harmônica e a média aritmética da tabela estão representados no gráfico a seguir.

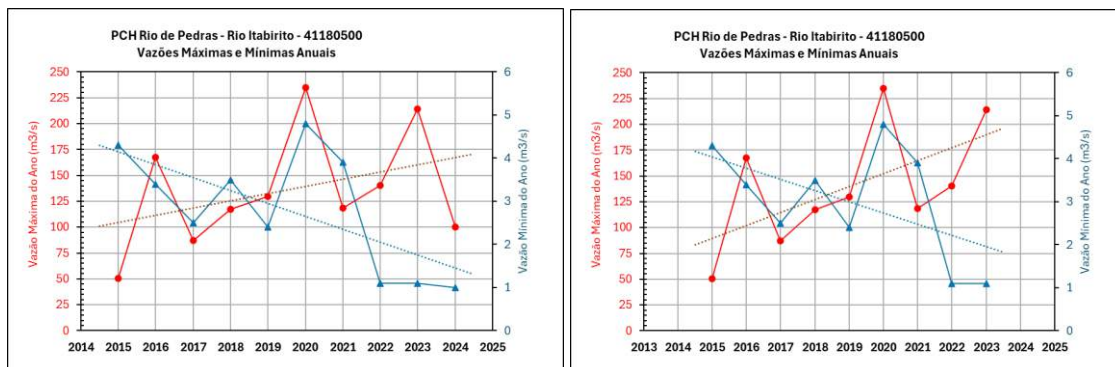


Medidas estatísticas das vazões diárias registradas na Estação

Os polinômios de regressão (linhas pontilhadas) podem ser considerados uma indicação preliminar de tendências:

- aumento na média aritmética das vazões (linha azul); embora a reta mostre um aumento no período dos nove anos, as vazões dos anos de 2023 e 2024 apresentam tendência de redução; a média de 2022 está influenciada pelo evento extremo de chuvas de janeiro desse ano;
- embora a média aritmética apresente tendência geral de crescimento, a média harmônica (linha lilás) apresenta tendência contrária, o que revela que o aumento da média aritmética se deve a alguns eventos de cheia mais expressivos enquanto a tendência dos valores menores de vazão, mais numerosos, é de redução; o uso da média harmônica permite a captação dessa tendência por diminuir a influência dos eventos esporádicos de cheia;
- a relação entre os dois tipos de média pode ser visualizada pelos pontos marcados com triângulos vermelhos; de 2015 a 2019 os valores das duas médias são mais próximos e sua relação fica entre 70 e 90%; em 2022 ocorre a maior diferença entre as médias (a relação entre elas é de apenas 30,35%), justamente o ano em que ocorreram vazões muito altas em janeiro e fevereiro; a tendência geral de redução da relação entre as médias aponta para um aumento das vazões máximas e uma redução das mínimas, fato que é verificado também em outras estações;
- outro indicador da cheia recorde de 2022 é o desvio padrão (linha marrom): nesse ano ele atinge o valor máximo, indicando grande diferença entre as vazões menores e as maiores; a tendência geral desse desvio, assim como o da média aritmética, é a de crescimento, embora o seu valor tenha decrescido em 2023 e 2024, indicando menor diferença entre os valores máximos e mínimos de vazões;
- a mediana acompanha a tendência da média harmônica e ambas, em geral têm valores bem próximos, exceto no ano de 2022 pelo motivo acima apresentado; pelo fato de a quantidade de valores menores de vazões ser maior que a de valores maiores, o valor da mediana encontra-se mais próximo dos valores menores de vazão; como já mencionado, a mediana e a média harmônica podem ser consideradas indicadores similares.

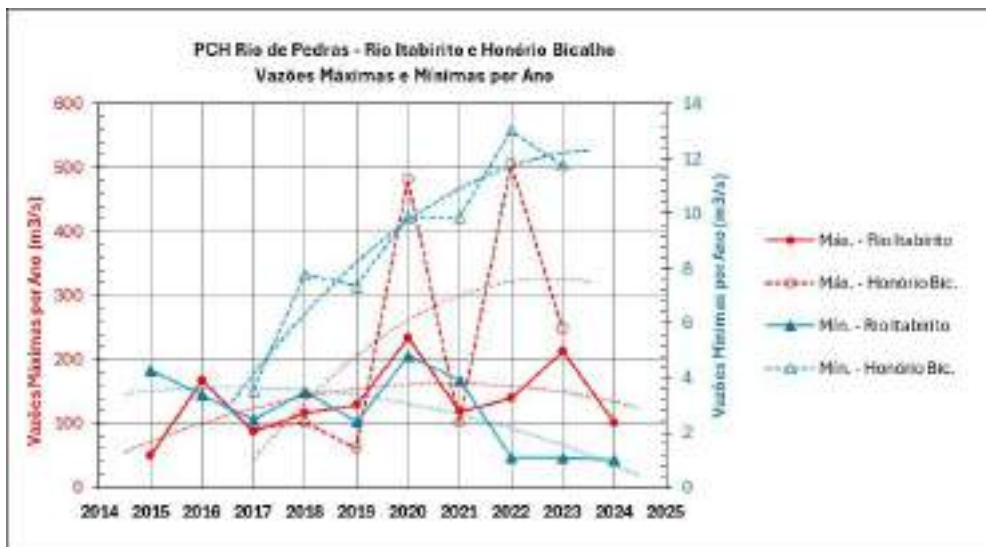
O gráfico a seguir apresenta a evolução das vazões máximas e das mínimas horárias de cada ano da série disponível, porém com tendências opostas, o que também constitui um indicativo da não confiabilidade dos dados dessa estação, principalmente quando se toma em conta os dados da Estação Itabirito Linígrafo, situada no mesmo rio e cerca de 10 km a montante, e os gráficos de comparação com outras estações apresentados, no presente documento, no item referente a Honório Bicalho.



É preciso ressaltar que toda a análise acima apresentada considera dados parciais dos anos de 2015 e 2024, além da ausência de vários dados ao longo de todo o período. A desconsideração dos dados desses dois anos indica tendência de aumento das máximas, mas mantém a tendência de redução das mínimas, como mostrado no gráfico a seguir.

6.4.2 Período de 2017 a 2024 em Rio Itabirito – Comparação com Honório Bicalho

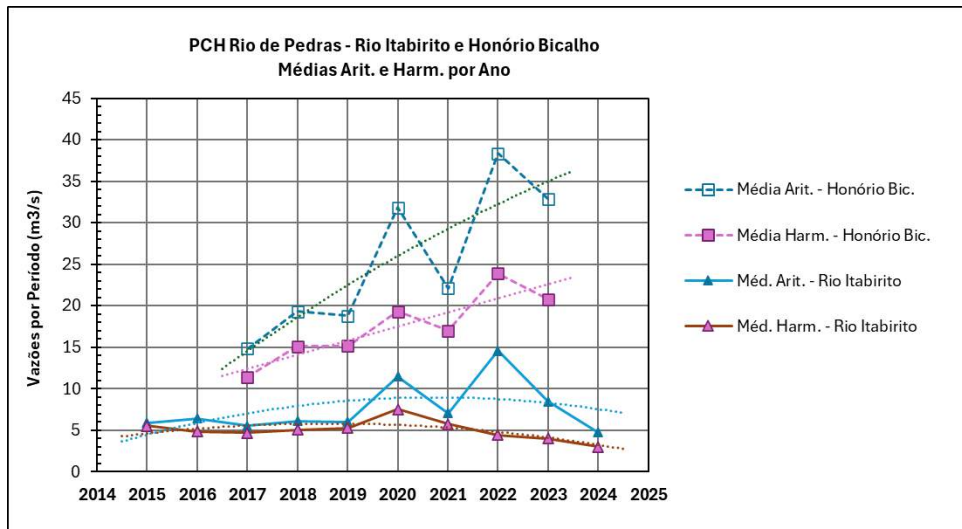
Com o objetivo de se ter uma avaliação prévia da coerência dos dados da Estação do Rio Itabirito com os da Estação de Honório Bicalho, tomada no presente documento como Estação de referência, por ser a mais importante da bacia do Alto Velhas para efeitos de avaliação da segurança hídrica da RMBH, apresenta-se abaixo o gráfico de comparação da evolução das vazões máximas e mínimas das duas Estações.



Comparação das vazões máximas e mínimas anuais nas Estações

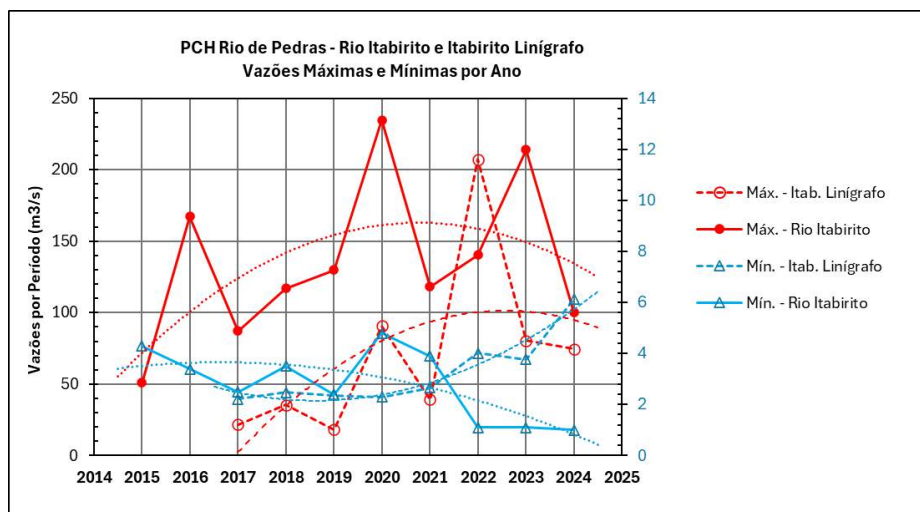
Nota-se, no período analisado, tendência de crescimento tanto das vazões máximas quanto das mínimas em Honório Bicalho ao passo que, na Estação Rio Itabirito registra-se tendência de queda nas vazões mínimas e de queda ou estabilidade nas máximas. Ademais, a Estação Rio Itabirito não registrou a cheia recorde de 2022, pois esteve inoperante entre 11:00 h do dia 08/01/2022 e 11:00 h do dia 17/01/2022, possivelmente por ter seu funcionamento afetado pela cheia do dia 8. **As discrepâncias mostradas no gráfico são decorrentes da instabilidade e das falhas da estação.**

Diferença similar de tendências gerais é verificada também no que diz respeito às médias aritmética e harmônica anuais, como se mostra a seguir:



Comparação das médias aritmética e harmônica anuais nas Estações

No gráfico abaixo é feita a comparação das vazões máximas e mínimas das duas estações do Rio Itabirito: a Estação Itabirito Linígrafo, situada a montante da cidade de Itabirito, em zona rural, e a Estação Rio Itabirito, situada a jusante da primeira, em zona urbana. Nota-se tendências opostas nas curvas de vazão mínima, tal como na comparação com Honório Bicalho, e relativa concordância de tendências no caso das máximas, porém com vazões incoerentes no ano de 2022, devido à cheia do dia 8 de janeiro, e no ano de 2023.

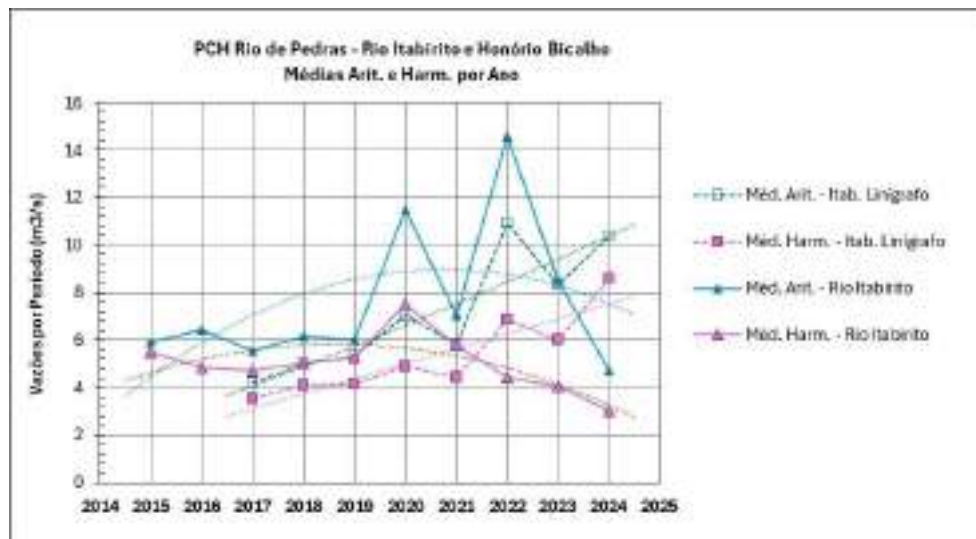


Comparação das vazões máximas e mínimas anuais nas Estações

A vazão máxima de 214 m³/s medida na Estação Rio Itabirito em 2023, mostrada no gráfico acima, ocorreu às 3:00 h do dia 16/02/2023 e nesse dia a Estação registrou dados apenas entre 0:00 h e 9:00 h. As vazões horárias entre 3:00 e 9:00 h mostram forte redução e, pelos registros da noite do dia 15/02, com forte incremento a partir das 22:00 h, pode-se deduzir que a vazão elevada na madrugada foi originada por uma chuva bem intensa, mas de curta duração. Como a Estação não registrou dados entre as 10:00 h do dia 16 até 9:00 h do dia 17, a média do dia 16 foi fortemente influenciada pelas vazões maiores da madrugada e, por esse motivo, aparece como um pico no gráfico a seguir, acima do valor da Estação Itabirito Linígrafo que pode ter registrado dados durante todo o dia e, por isso, apresentou média menor. Essas considerações ilustram as dificuldades de se comparar vazões médias diárias com a média de vazões horárias em dias em que faltam registros de dados.

Entre as estações Itabirito Linígrafo, situada a montante do núcleo urbano de Itabirito, e a Estação Rio Itabirito, situada na saída da cidade, o rio recebe contribuições dos afluentes: Córrego do Bação, Córrego Carioca (ou Seco) e Córrego da Onça, pela margem esquerda; Ribeirão Cardoso e Córrego Criminoso pela margem direita. Assim, a Estação Rio Itabirito deve registrar sempre vazões maiores que as da Estação Itabirito Linígrafo, visto que não há captações significativas⁷ nesse trecho do rio. Isso se aplica, obrigatoriamente, com respeito às vazões máximas. No entanto, no gráfico acima pode-se ver que a vazão máxima de 2022 (enchente recorde) registrada na estação Itabirito Linígrafo foi maior que a da estação Rio Itabirito, o que denota outro erro dessa última.

A comparação das médias aritmética e harmônica das duas estações apresentam também discordâncias similares, como se pode ver no gráfico abaixo. Ou seja, no período analisado, nota-se tendência de crescimento tanto da média aritmética quanto da harmônica em Itabirito Linígrafo (o que coincide com Honório Bicalho) ao passo que, na Estação Rio Itabirito registra-se tendência de queda ou estabilidade nas duas médias. Dessa forma, mostra-se que há concordância de tendência entre as duas séries mais extensas e confiáveis da bacia do Alto Rio das Velhas (Honório Bicalho e Itabirito Linígrafo) e que ambas apresentam, no período analisado, discordâncias com a série Rio Itabirito, na qual falta expressiva quantidade de dados.



Comparação das médias aritmética e harmônica anuais nas Estações

A discrepância de tendências, juntamente com a elevada quantidade de dados faltantes, permite concluir que os dados da Estação Rio Itabirito não constituem um conjunto confiável para análises hidrológicas. Dessa forma, a série da Estação do Rio Itabirito não será objeto de análise mais detalhada nos estudos subsequentes ao apresentado nesse Relatório.

6.5 ITABIRITO – LINÍGRAFO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41180000

A série da Estação Itabirito – Linígrafo disponível no portal HidroWeb abrange pouco mais de 68 anos de dados diários (desde o dia 27/06/1956 até o dia 30/09/2024) com praticamente nenhuma falha. Faltam apenas os dados relativos aos dias 1º e 2 de janeiro de 2024 e aos trinta

⁷ O SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) de Itabirito tem captações nos córregos do Bação, Seco e Barraginha, afluentes do Rio Itabirito e não no próprio Rio Itabirito. Em 2024 o SAAE recebeu autorização para captar água do Ribeirão Carioca.

dias do mês de abril de 2024, ou seja, faltam somente 32 valores em um total de 24.963 se a série estivesse completa. Portanto, é uma série mais extensa que a de Honório Bicalho, o que permite uma avaliação mais confiável das tendências e a comparação entre as séries dessas duas estações.

No portal HidroWeb, na data da consulta para obtenção dos dados para análise (02/10/2024) a série disponível para a Estação Itabirito – Linígrafo abrangia o período de 27/06/1956 até o dia 30/06/2024. Para a análise objeto do presente documento, a complementação da série até o dia 30/09/2024 foi feita com base nos dados, medidos a cada 15 minutos, disponíveis no portal HidroTelemetria. Os dados dessa Estação constituem uma fonte de grande importância para estudos hidrológicos, tendo sido utilizados recentemente, por exemplo, para avaliação de cheias na cidade de Itabirito (CAMPOS, 2024).

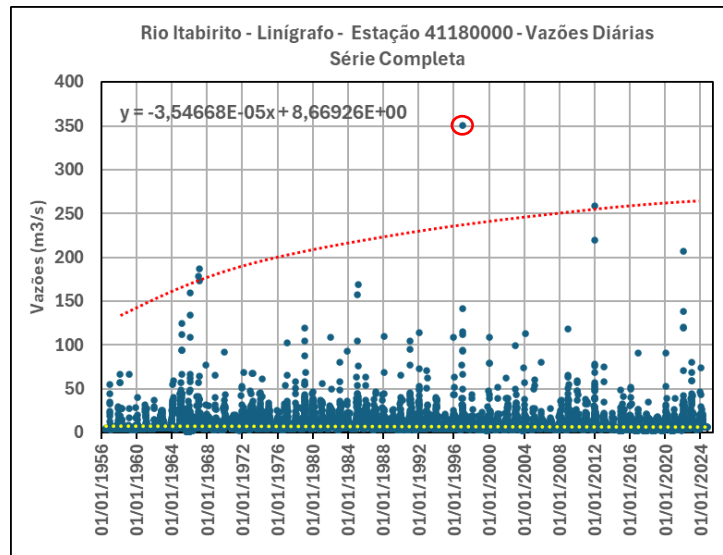
Como já informado, para a Estação Itabirito Linígrafo, que tem duração de pouco mais de 68 anos de dados diários (desde o dia 27/06/1956 até o dia 30/09/2024), para permitir a comparação do comportamento de suas vazões com o das vazões da série de Honório Bicalho, adotou-se 5 períodos com datas de início e de fim iguais às de Honório Bicalho, além de dois outros períodos de menor duração anteriores ao início da série dessa última Estação. Cada um desses dois períodos abrange metade dos dias decorrente entre o início da série de Itabirito Linígrafo e o início da série de Honório Bicalho.

6.5.1 Série Completa

Adotando-se essa premissa, a análise preliminar dos dados da série disponíveis resultou nos seguintes parâmetros característicos:

	Série Completa	1	2	3	4	5	6	7	
Data do início do período	27/06/1956	27/06/1956	26/11/1963	27/04/1971	04/01/1982	03/04/1991	10/10/2001	02/12/2011	-
Data do final do período	30/09/2024	25/11/1963	26/04/1971	03/01/1982	02/04/1991	09/10/2001	01/12/2011	30/09/2024	-
Quantidade de dias da série	24933	2708	2709	3905	3376	3843	3705	4687	-
Abrangência dos dados no período	99,87%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,32%	-
Total de dados	24901	2708	2709	3905	3376	3843	3705	4655	
Média Aritmética	7,50	6,04	8,67	8,18	8,58	7,22	7,10	6,84	m ³ /s
Mediana	5,62	5,39	6,25	6,08	6,40	5,38	5,47	4,84	m ³ /s
Média Harmônica	5,59	5,29	5,84	6,34	6,42	5,51	5,54	4,78	m ³ /s
Média Harmônica/Média Aritmética	74,51%	87,55%	67,29%	77,48%	74,76%	76,27%	77,99%	70,00%	%
Desvio padrão	8,19	4,02	10,93	7,17	8,29	9,24	6,30	9,01	m ³ /s
Volume total escoado no período	16.127,04	1.412,76	2.030,01	2.761,43	2.503,80	2.396,92	2.272,32	2.749,39	Mm ³
Vol. do período / Vol. total da série hist.	100,00%	8,8%	12,6%	17,1%	15,5%	14,9%	14,1%	17,0%	%
Vazão diária máxima do período	350,65	66,53	186,91	119,17	169,31	350,65	118,83	259,33	m ³ /s
Vazão diária mínima do período	1,23	3,36	1,23	2,79	2,92	2,29	2,28	1,76	m ³ /s
Amplitude	284,41	19,79	151,61	42,69	57,89	153,23	52,22	146,95	m ³ /s

Deve-se destacar que, assim como a série de Honório Bicalho, a de Itabirito Linígrafo pode ser considerada completa, mesmo faltando dados de 32 dias, como acima mencionado.



Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação

O gráfico acima mostra a distribuição temporal das vazões diárias da Estação fluviométrica Itabirito Linígrafo entre 27/06/1956 e 30/09/2024. 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 200 m³/s a partir de 1997. O ponto assinalado com o círculo vermelho é o da vazão recorde de 350,7 m³/s ocorrida em 03/01/1997. Além desse ponto, somente outros ultrapassam os 200 m³/s: 03 e 08/01/2012 e 09/01/2022. No entanto, a equação da reta de regressão linear, com coeficiente da variável negativo, aponta para uma tendência geral de redução das vazões ao longo do tempo, ou seja, das vazões intermediárias e das baixas vazões. Essas constatações, similares às permitidas pela série de Honório Bicalho, são de grande importância para a gestão de recursos hídricos e para o planejamento de mitigação dos efeitos das enchentes.

Nota-se, ainda, que a maior parte das vazões diárias está concentrada em valores abaixo de 30 m³/s, indicando que, em geral, o rio mantém uma vazão relativamente baixa na maior parte do tempo, com picos esporádicos.

Como feito no caso da Estação de Honório Bicalho, 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 1956, até o dia 31/12/1985. A reta de regressão linear dos dados desse primeiro período indica nitidamente uma tendência de aumento geral das vazões (coeficiente positivo), tendência essa que se inverte no segundo período, o que será mais bem investigado nos estudos subsequentes.