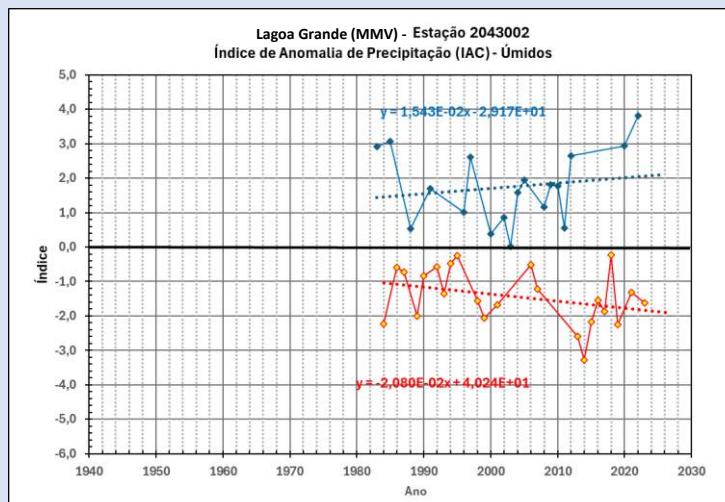
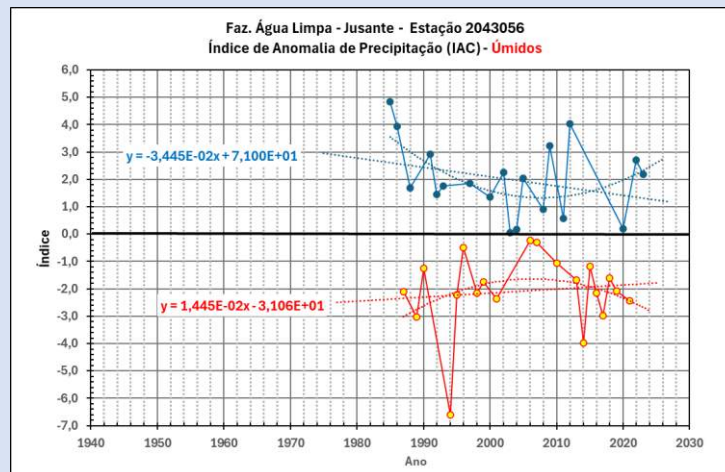


Considerando-se o período seco de cada ano (maio a setembro) da série histórica da Fazenda Água Limpa (gráfico superior), observa-se uma tendência geral, ao longo dos últimos 18 anos da série, redução do módulo das anomalias positivas (comportamento similar ao do período completo de 40,4 anos) e aumento do módulo das negativas (comportamento oposto ao do período de 40,4 anos), o que denota agravamento da severidade das secas nos últimos 18 anos.

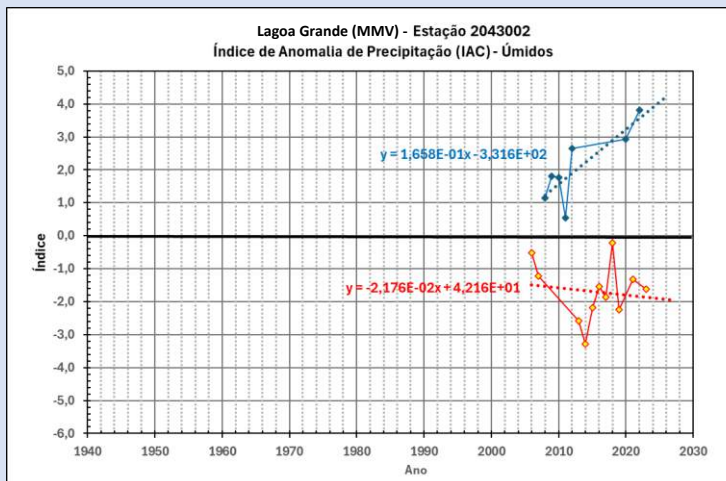
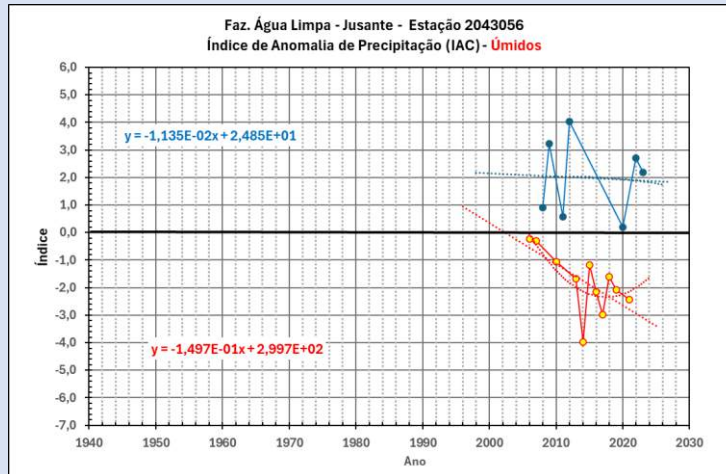
Por outro lado, nos últimos 18 anos os períodos secos na área da Estação Lagoa Grande (MMV) tiveram tendência oposta às da Fazenda Água Limpa com redução da severidade das secas (gráfico inferior).



Quando se analisa os períodos úmidos da Fazenda Água Limpa (outubro a dezembro de um ano e janeiro a abril do ano seguinte) observa-se, nos últimos 40,4 anos, comportamento similar ao dos períodos secos, ou seja,

redução tanto do módulo das anomalias positivas quanto das negativas, com convergência dos valores para a média histórica.

Por outro lado, os períodos úmidos na área da Estação Lagoa Grande (MMV) tiveram tendência oposta às da Fazenda Água Limpa, com aumento dos módulos tanto das anomalias positivas quanto das negativas, caracterizando uma divergência crescente dos valores com relação à média. Isso denota um aumento da variabilidade climática na Lagoa Grande (MMV), com eventos mais intensos tanto de chuva quando de baixa pluviosidade durante os períodos úmidos.



Mas, se consideramos apenas os períodos úmidos dos últimos 18 anos da Fazenda Água Limpa, a tendência é de pequena redução ou estabilidade do módulo das anomalias positivas e aumento acentuado do módulo das anomalias negativas, o que indica a redução significativa da intensidade das chuvas dos períodos úmidos nos últimos 18 anos.

Na área da Lagoa Grande (MMV), a intensidade das chuvas dos períodos úmidos aumentou nos últimos 18 anos (tendência oposta à da Fazenda Água Limpa), elevando o risco de problemas nas áreas de mineração, de enchentes e deslizamentos. No entanto, assim como na Fazenda Água Limpa, houve aumento (menos acentuado) do módulo das anomalias negativas, o que indica a redução da intensidade das chuvas dos períodos úmidos nos últimos 18 anos também na Lagoa Grande (MMV).

### Conclusões – Série de 40,4 anos

Ao longo dos 40,4 anos, a área representada pela Estação Fazenda Água Limpa apresentou redução do módulo das anomalias positivas e aumento do módulo das negativas nos valores anuais, indicando tendência de redução da pluviosidade e agravamento das secas.



No mesmo período, a área representada pela Lagoa Grande (MMV) teve ligeiro aumento das anomalias positivas e intensificação mais forte das negativas, sugerindo agravamento mais severo tanto das secas na serra quando dos eventos de maior pluviosidade, ou seja, uma tendência à extremização do clima.

Nos períodos secos (maio a setembro) da Fazenda Água Limpa, houve convergência das anomalias positivas e negativas para a média histórica, sinalizando estabilização climática nesse recorte. Já na Lagoa Grande (MMV), no mesmo período seco, as anomalias negativas se intensificaram, apontando para agravamento da severidade das secas.

### Conclusões – Últimos 18 anos

Nos valores anuais da Fazenda Água Limpa, houve estabilidade nas anomalias positivas e aumento das negativas, indicando agravamento das secas recentes. A Lagoa Grande (MMV) apresentou redução acentuada das anomalias positivas e aumento das negativas, também revelando agravamento das secas.

Nos períodos secos, a Fazenda Água Limpa mostrou redução das positivas e aumento das negativas, revertendo a tendência anterior e reforçando o agravamento das secas. Na Lagoa Grande (MMV), por outro lado, os períodos secos mostraram redução da severidade das secas, comportamento oposto ao da Fazenda Água Lima.

Nos períodos úmidos, a Fazenda Água Limpa, que apresentou convergência das anomalias à média quando analisada ao longo dos 40,4 anos, no recorte dos últimos 18 anos houve aumento das negativas, indicando redução da intensidade das chuvas. A Lagoa Grande (MMV) teve, nos últimos 18 anos, aumento simultâneo das anomalias positivas e negativas, o que denota aumento da variabilidade climática, com maior risco de eventos extremos, enchentes e deslizamentos.

Apesar disso, em ambas as estações, houve aumento do módulo das anomalias negativas nos períodos úmidos, indicando que os déficits de chuva também cresceram mesmo na estação chuvosa.

#### 4.10.7.2 Índices de Anomalia Aplicados às Precipitações – Fazenda Água Limpa - Valores

Para completar a análise feita por meio dos gráficos apresenta-se a seguir uma análise comparativa dos valores dos índices baseada em somatórios de conjuntos e subconjuntos.

##### 4.10.7.2.1 Série Completa – 1984 a 2023

As tabelas a seguir compilam o somatório dos valores dos Índices de Anomalias de Chuva referentes à série completa 1984 a 2023) e permitem comparações úteis à análise das anomalias da série.

Estação Pluviométrica Fazenda Água Limpa						
IAC - Índice de Anomalias de Chuva – Série Completa						
Período	IAC Positivo			IAC Negativo		
	Anos com IAC Positivo	Soma	Média	Anos com IAC Negativo	Soma	Média
<b>Anual</b>	17	33,55	1,97	23	-38,05	-1,65
<b>Seco</b>	21	33,87	1,61	19	-37,57	-1,98



Úmido	19	38,16	2,01	20	-41,59	-2,08
-------	----	-------	------	----	--------	-------

### Análise dos valores da tabela:

#### Anos Cíveis:

A quantidade de anos com chuvas acima da média (17) é menor que a de anos com chuvas abaixo da média (23). Isso aponta para uma predominância de anos secos sobre os anos úmidos (35% a mais) ao longo da série.

Além da maior quantidade de anos negativos, a soma dos IAC negativos (-38,5) é maior em módulo do que a dos positivos (+33,55). Isso tem implicações importantes:

- Além de mais numerosos, os anos secos foram mais severos do que os anos úmidos foram excessivos.
- Isso indica uma assimetria na distribuição das anomalias: as secas foram mais frequentes, mas menos intensas, enquanto os anos úmidos foram menos numerosos, porém mais extremos.

#### Média dos Índices por Grupo

- Média dos anos úmidos (positivos):  $+33,55/17 \approx +1,92$
- Média dos anos secos (negativos):  $-38,05/23 \approx -1,65$

Isso reforça que os anos úmidos apresentaram anomalias mais intensas (em média +1,92) do que os anos secos (-1,65).

**Conclusão:** A série histórica de IAC da Estação revela um comportamento climático com predominância de anos secos. No entanto, a intensidade dos anos úmidos foi maior, indicando que os anos úmidos, embora menos frequentes, foram mais severos em termos de intensidade de chuva. Isso aponta para um regime climático com eventos úmidos mais impactantes, o que pode demandar atenção especial na gestão dos riscos derivados da maior pluviosidade.

#### Períodos Secos:

A quantidade de anos com anomalias positivas (21) e negativas (19) nos períodos secos é relativamente equilibrada, o que indica que os períodos secos oscilaram de forma relativamente equilibrada, **em termos de quantidade de anos**, entre chuvas acima e abaixo da média ao longo da série. Ou seja, não houve predomínio claro de seca ou umidade na frequência da série como um todo, sugerindo um comportamento climático relativamente estável quanto à ocorrência de eventos secos e úmidos.

No entanto, a soma dos IAC negativos (-37,57) é maior, em módulo, do que a soma dos positivos (+33,87), o que revela uma assimetria na distribuição das anomalias. Isso indica que, embora os anos secos e úmidos sejam próximos em número, os anos com déficits de chuva foram, em média, mais severos do que os anos com excesso de chuva.

#### Intensidade Média das Anomalias

- Média dos anos com anomalias positivas:  $+33,87/21 \approx +1,61$
- Média dos anos com anomalias negativas:  $-37,57/19 \approx -1,98$



Essa diferença revela que, quando os períodos secos têm precipitação abaixo da média, esses déficits tendem a ser mais intensos do que os eventos de chuva acima da média, reforçando o caráter mais extremo e impactante dos períodos secos deficitários.

**Conclusão:** A análise dos IAC nos períodos secos da Fazenda Água Limpa mostra uma frequência quase equilibrada entre anos úmidos e secos, mas com anomalias negativas mais intensas, em média. Isso indica que as secas, quando ocorrem, são mais severas que os excessos de chuva do período, configurando um risco climático mais crítico associado à escassez hídrica nos períodos secos, mesmo que não sejam a maioria.

### Períodos Úmidos:

A quantidade de anos com anomalias positivas (19) e negativas (20) nos períodos úmidos é relativamente equilibrada, o que indica que os períodos úmidos oscilaram de forma relativamente equilibrada, **em termos de quantidade de anos**, entre chuvas acima e abaixo da média ao longo da série. Ou seja, não houve predomínio claro de seca ou umidade na frequência da série como um todo, sugerindo um comportamento climático relativamente estável quanto à ocorrência de eventos secos e úmidos.

A soma das anomalias negativas (-41,59) é maior, em módulo, do que a soma das positivas (+38,16). Isso indica uma leve predominância de intensidade das secas em relação às chuvas excessivas nos períodos úmidos, o que sugere maior severidade dos anos secos.

#### Intensidade Média das Anomalias

- Média dos anos positivos:  $+38,17/20 \approx +1,91$
- Média dos anos negativos:  $-41,5/19 \approx -2,19$

A média das anomalias negativas é maior que a das positivas, indicando que quando os períodos úmidos têm precipitação abaixo da média, o déficit costuma ser mais grave do que o excesso observado nos anos úmidos.

**Conclusão:** A análise revela um equilíbrio na frequência de anos chuvosos e secos nos períodos úmidos, porém com eventos secos mais severos em intensidade. Isso indica que, embora as chances de ocorrência de chuvas acima e abaixo da média sejam semelhantes, os anos com déficit pluviométrico durante o período chuvoso representam maior risco climático, especialmente para a recarga hídrica e segurança hídrica da região.

#### 4.10.7.2.2 Comparação dos Períodos de 1984 a 2004 e 2004 a 2023

As tabelas a seguir compilam o somatório dos valores dos Índices de Anomalias de Chuva referentes aos períodos de 1984 a 2004 e 2004 a 2023.

Estação Pluviométrica Fazenda Água Limpa IAC - Índice de Anomalias de Chuva – 1984 a 2004						
Período	IAC Positivo			IAC Negativo		
	Anos com IAC Positivo	Soma	Média	Anos com IAC Negativo	Soma	Média
<b>Anual</b>	9	19,47	2,16	12	-17,69	-1,47
<b>Seco</b>	13	19,85	1,53	8	-17,72	-2,22



Úmido	11	22,31	2,03	9	-21,95	-2,44
-------	----	-------	------	---	--------	-------

Estação Pluviométrica Fazenda Água Limpa						
IAC - Índice de Anomalias de Chuva - 2005 a 2023						
Período	IAC Positivo			IAC Negativo		
	Anos com IAC Positivo	Soma	Média	Anos com IAC Negativo	Soma	Média
Anual	8	14,08	1,76	11	-20,36	-1,85
Seco	8	14,02	1,75	11	-19,84	-1,80
Úmido	8	15,86	1,98	11	-19,64	-1,79

A comparação das médias dos índices permite a conclusões:

#### Anos Cíveis:

Redução da frequência de anos com chuvas acima da média: houve redução no número de anos com IAC positivos (de 9 para 8), o que denota uma ligeira queda na ocorrência de anos com precipitação anual acima da média no segundo período (2005 a 2024).

Agravamento dos anos secos: A média dos IAC negativos aumentou em módulo ( $-1,47 \rightarrow -1,85$ ), enquanto a média dos positivos caiu ( $+2,16 \rightarrow +1,76$ ), o que significa que, nos últimos 20 anos, os anos secos tornaram-se mais secos, e os anos úmidos tiveram chuvas de menor intensidade.

Mudança de padrão pluviométrico: O primeiro período, a intensidade das chuvas dos anos úmidos (média com módulo de 2,16) superou a severidade das secas dos anos de baixa precipitação (média com módulo de 1,47), enquanto no segundo período ocorreu o oposto: anos secos mais intensos (1,85) do que os úmidos (1,76). Isso aponta para uma mudança no balanço climático anual, com maior prevalência de déficits hídricos severos no segundo período.

Resumo: comparação entre os dois segmentos revela que, nos últimos 20 anos, houve uma redução na frequência e intensidade das anomalias positivas e um agravamento das anomalias negativas, refletindo uma tendência de clima mais seco e com menor ocorrência de anos excepcionalmente chuvosos. Essa mudança reforça a preocupação com escassez hídrica, resiliência de ecossistemas e planejamento de uso da água em cenários futuros.

#### Períodos secos:

Mudança na frequência de anos secos e úmidos durante o período seco: No primeiro segmento (1984–2004) houve predominância de anos com anomalias positivas (13 anos), indicando maior frequência de chuvas acima da média nos períodos secos. No segundo segmento (2005–2024), houve inversão no padrão, com predomínio de anomalias negativas (11 anos), refletindo aumento da frequência de secas mais severas durante o período secos do ano.

Aumento da severidade das secas no primeiro período e equilíbrio de intensidade no segundo: A média dos IAC negativos no primeiro período foi maior ( $-2,22$  contra  $-1,80$  do segundo período), revelando que, quando havia seca, ela era mais intensa nos primeiros 20 anos da série. Assim, no segundo período os eventos secos foram mais frequentes, mas menos intensos ( $-1,80$ ), indicando secas recorrentes, porém um pouco menos severas em média.

Redução da quantidade e aumento da intensidade de chuvas acima da média no período seco recente: A queda no número de anos com IAC positivo (de 13 para 8) indica uma redução na ocorrência de anos com chuvas acima da média durante os períodos secos dos últimos 20 anos. Por outro lado, a média das anomalias positivas cresceu (de  $+1,53$  para  $+1,75$ ), indicando que, quando ocorreram excessos de chuva nos períodos secos mais recentes, eles foram um pouco mais intensos.



**Resumo:** A comparação entre os dois períodos revela uma mudança no padrão das chuvas durante a estação seca, com mais frequência de secas e menos anos úmidos no período mais recente (2005–2024). Embora as secas tenham se tornado menos intensas em média, elas passaram a ser mais comuns, o que representa um risco cumulativo importante para o balanço hídrico. Ao mesmo tempo, os poucos anos com chuvas acima da média nos períodos secos recentes mostraram-se mais intensos que no passado, indicando eventos pontuais de chuva mais fortes em meio a uma tendência geral de seca.

#### **Períodos úmidos:**

**Inversão na frequência de anos úmidos e secos:** No primeiro período (1984–2004) houve predominância de anos com anomalias positivas (11 anos), indicando mais anos com chuvas acima da média nos períodos úmidos. No segundo período (2005–2024) houve inversão do padrão, com mais anos secos (11 negativos) e menos anos úmidos (8 positivos), ou seja, maior frequência de déficits hídricos nas estações chuvosas mais recentes.

**Redução da intensidade das anomalias:** As médias das anomalias positivas se mantiveram quase iguais (+2,03 → +1,98), o que mostra que, quando os anos são úmidos, continuam sendo chuvosos como nos primeiros 20 anos da série. Já as médias das anomalias negativas diminuíram em intensidade (–2,44 → –1,79), o que indica que, nos 20 anos mais recentes, anos com períodos úmidos menos chuvosos, embora mais frequentes, são menos severos, em média, que nos primeiros 20 anos.

**Maior equilíbrio das intensidades, mas perda da dominância de anos úmidos:** No primeiro período, houve um certo equilíbrio entre chuvas e secas, mas com leve predomínio de anos úmidos mais intensos. No segundo período, há predomínio de anos secos, embora menos extremos, o que aponta para uma mudança no comportamento climático da estação chuvosa, com menor ocorrência de excessos e maior recorrência de déficits moderados.

**Resumo:** Entre 1984 e 2004, os períodos úmidos da Fazenda Água Limpa foram marcados por maior frequência e intensidade de chuvas acima da média, enquanto entre 2005 e 2024 houve uma inversão, com mais anos de chuvas abaixo da média, embora menos severos. A tendência aponta para uma redução da dominância dos anos chuvosos e um aumento de anos com precipitação insuficiente durante a estação úmida, o que pode ter impacto direto sobre a recarga hídrica, a agricultura e a sustentabilidade ecológica da região.

#### **Observações Gerais:**

- Nos três recortes (valores anuais, períodos secos e períodos úmidos), houve redução na frequência de anomalias positivas no segundo período.
- A intensidade dos IAC positivos caiu nos períodos anuais e úmidos, mas subiu ligeiramente nos secos.
- Os anos com IAC negativos tornaram-se mais frequentes no segundo período em todos os recortes.
- A severidade das secas (média dos IAC negativos) aumentou no recorte anual, mas diminuiu nos recortes seco e úmido.

#### **Conclusões Gerais:**



A análise consolidada dos Índices de Anomalia de Chuva (IAC) da Estação Fazenda Água Limpa ao longo de 40 anos, dividida em dois segmentos de 20 anos, revela mudanças distintas no comportamento das chuvas nos recortes anuais, secos e úmidos. No recorte anual, houve uma leve redução na frequência e intensidade dos anos com chuvas acima da média no segundo período (2005–2024), acompanhada de um aumento da severidade das anomalias negativas, indicando uma tendência de agravamento dos anos secos no conjunto do ano. Isso sugere um deslocamento do balanço climático anual em direção a déficits hídricos mais frequentes e severos.

Nos períodos secos, o primeiro segmento apresentou maior frequência de anomalias positivas, refletindo anos com chuvas acima da média na estação seca. No segundo segmento, inverteu-se o padrão: aumentou a frequência de anos secos, embora com menor intensidade média, o que indica maior recorrência de secas moderadas. Já nos períodos úmidos, houve também uma inversão, com redução tanto da frequência quanto da intensidade das anomalias positivas e maior frequência de anomalias negativas, ainda que um pouco menos intensas. Essa mudança no regime de chuvas nos períodos tradicionalmente mais chuvosos reforça a preocupação com a irregularidade climática recente, caracterizada por menor ocorrência de anos muito úmidos e aumento da persistência de déficits durante a estação chuvosa.

#### 4.10.8 Comparação Entre as Anomalias das Estações Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV)

##### 4.10.8.1 Período Anual

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
<b>1º Segmento (1984–2004)</b>	Mais negativos (12) que positivos (9); anomalias negativas mais intensas que positivas	Mais positivos (12) que negativos (9); anomalias positivas mais intensas que negativas
<b>2º Segmento (2005–2024)</b>	Mantém mais negativos (11) que positivos (8); aumento na severidade dos negativos e dos positivos	Frequência semelhante (10/9), mas aumento na severidade dos negativos e dos positivos
<b>Comparação Geral</b>	Tendência de <b>redução da pluviosidade</b> e agravamento das secas. Tendência de <b>maior variabilidade climática</b> com extremos mais frequentes	Tendência de <b>redução da pluviosidade</b> e agravamento das secas. Tendência de <b>maior variabilidade climática</b> com extremos mais frequentes

##### 4.10.8.2 Período Seco (maio–setembro)

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
<b>1º Segmento (1984–2004)</b>	Mais positivos (13) que negativos (8); anomalias negativas e	Mais positivos (14) que negativos (7); anomalias positivas mais intensas que negativas



Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
	positivas com intensidades semelhantes	
<b>2º Segmento (2005–2024)</b>	Inversão: mais negativos (11) que positivos (8); queda na intensidade dos positivos e dos negativos	Inversão também: mais negativos (10) que positivos (9); queda da intensidade dos positivos e aumento da intensidade dos negativos
<b>Comparação Geral</b>	<b>Agravamento das secas</b>	<b>Agravamento das secas, mas com queda ainda mais acentuada das chuvas</b> que superam a média dos períodos secos

#### 4.10.8.3 Período Úmido (outubro–abril)

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
<b>1º Segmento (84–04)</b>	Leve predominância de positivos (11 vs 9); anomalias negativas e positivas com intensidades semelhantes	Mais negativos (12) que positivos (9); anomalias negativas e positivas com intensidades semelhantes
<b>2º Segmento (05–24)</b>	Inversão: mais negativos (11) que positivos (8); aumento na severidade dos negativos e dos positivos, mas com aumento maior dos positivos	Mesma frequência (11 negativos / 8 positivos), aumento na severidade dos negativos e dos positivos, mas com aumento maior dos positivos
<b>Comparação Geral</b>	<b>Aumento da variabilidade climática:</b> extremos mais intensos tanto de excesso quanto de escassez de chuva	<b>Aumento da variabilidade climática:</b> extremos mais intensos tanto de excesso quanto de escassez de chuva

### 4.11 ITABIRITO – LINÍGRAFO – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043060

A série de dados diários dessa estação telemétrica foi obtida pelo Portal HidroWeb e abrange o período de 27/01/1984 a 30/04/2024. A série pode ser considerada completa, pois nela faltam somente os dados referentes:

- aos dias 15 e 16 de janeiro de 1989; ao período de 09/01/1990 a 30/06/1990; aos dias 1º, 10 e 11/01/2005; aos dias 20 a 26/02/2020; 1º a 03/03/2020; 24 a 31/12/2020; aos dias 5 a 8 de dezembro de 2021; aos dias 6 a 10 de janeiro de 2022; aos dias 9 a 14/11/2022; aos dias 11 a 23 de fevereiro de 2023; aos dias 1º e 03/12/2023; 1º e 02/01/2024; aos dias 22 a 24 de janeiro de 2024;

A série dispõe de dados brutos e dados consistidos para todos os meses desde a data de início até dezembro de 2005. Para esse período, as poucas falhas existentes nas linhas de dados consistidos foram preenchidas com os dados das linhas de dados brutos do mesmo mês. Do início de 2006 até o abril/2024 somente dados brutos estão informados na série.



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

	Série Completa	6	7	8	9	
Data do início do período	27/01/1984	27/01/1984	03/04/1991	10/10/2001	02/12/2011	-
Data do final do período	30/06/2024	02/04/1991	09/10/2001	01/12/2011	30/06/2024	-
Quantidade de dias da série	14766	2623	3843	3705	4595	-
Anos do Período	40,42	7,18	10,52	10,14	12,58	-
Total de dados	14766	2623	3843	3705	4595	-
Abrangência dos dados no período	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	-
Quant. de dias de chuva do período	4986	784	1680	1190	1312	-
Núm. de dias de chuva por ano	123	109	160	117	104	-
Precipitação acumulada no período	57646	10841	14347	14577	17881	mm
Precipitação anual média (Média Aritmética)	1433	1510	1364	1437	1422	mm/ano
Anomalia da precipitação anual média	0,00%	5,36%	-4,84%	0,29%	-0,81%	%
Precip. média dos dias de chuva (Média Arit.)	11,81	13,83	8,54	12,25	13,63	mm/ano
Precip. média dos dias de chuva (Média Harm.)	6,57	6,53	8,58	5,94	5,48	mm/ano
Desvio padrão	9,93	10,14	9,82	9,74	10,04	mm/ano
Precipitação diária máxima do período	189,80	94,20	114,10	96,20	189,60	mm/ano
Quant. de dias de chuva - Período seco	844	106	428	174	136	-
Quant. de dias de chuva - Período úmido	4122	678	1252	1016	1176	-
Núm. de dias de chuva por ano - Período seco	20,88	14,77	40,69	17,16	10,81	-
Núm. de dias de chuva por ano - Período úmido	101,97	94,45	119,02	100,19	93,50	-

#### 4.11.1 Aplicação do Método Dupla Massa

Para a construção do gráfico de dupla massa com objetivo de completar os dados faltantes na série da Estação Itabirito - Linígrafo foi utilizada a série da Barragem das Codornas (cód. 2043042), já referida. Como essa série tem dados a partir de 13/09/1976, os dados faltantes na série da Estação Itabirito – Linígrafo, que se inicia em 27/01/1984, puderam todos completados. Para a elaboração do gráfico de dupla massa foram selecionados apenas as datas com dados completos nas duas séries.

Essas duas estações distam entre si 16,2 km. A Estação Barragem das Codornas está na altitude 1220 m.a.n.m, na parte central do Sinclinal Moeda, e a Estação Itabirito - Linígrafo está a 880 m.a.n.m., a sudeste de Lagoa Grande, conforme mostrado na figura a seguir. Apesar da distância e a diferença de altitude serem maiores que as que existem entre a Barragem das Codornas e a Lagoa Grande, a correlação entre massas mostrou-se bastante grande.



Como pode ser observado na curva de dupla massa apresentada a seguir, as duas estações apresentam estreita semelhança entre si, sem pontos discordantes significativos. Essa similaridade é ratificada, para ambas as estações, pelo elevado coeficiente de correlação,  $R^2$ , na ordem de 0,99970, praticamente a mesma que entre Lagoa Grande (MMV) e Barragem das Codornas – o que representa uma correlação muito alta - bem acima do mínimo de 0,7 acima citado – entre os dados medidos em ambas as estações. Assim, comprova-se que a Estação Barragem das Codornas pode ser utilizada como ferramenta de preenchimento de dados da Estação Itabirito - Linígrafo.

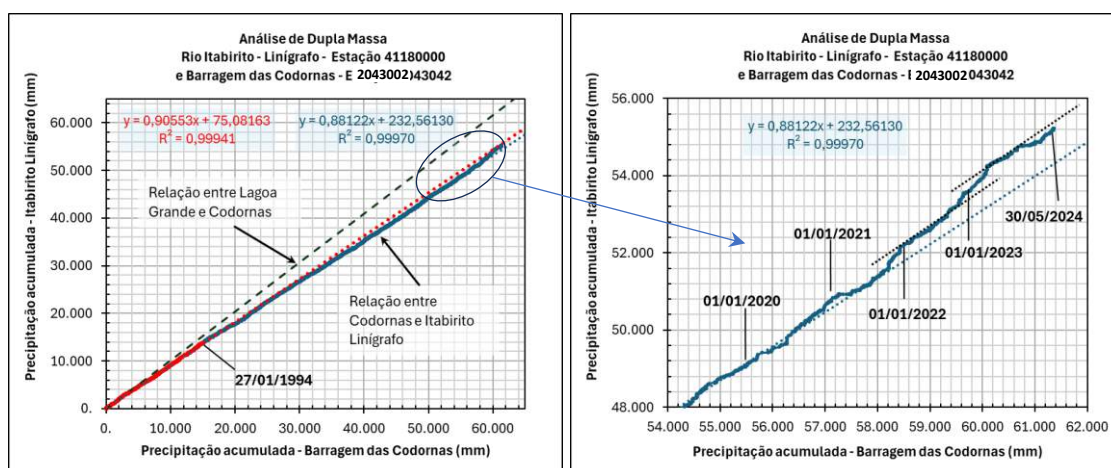
Como no caso anterior, a verificação de alterações de tendências entre as séries com o uso do método de Dupla Massa, é mostrada no gráfico da esquerda, abaixo. O período completo da série é representado pela linha azul e o segmento de massas acumuladas correspondente aos primeiros 11 anos da série, desde 27/01/1984 até 27/01/1994, pela linha vermelha pontilhada. A reta de regressão (linha vermelha pontilhada) desse período inicial – assim como na Lagoa Grande (MMV) – tem inclinação ligeiramente maior que a reta de regressão que cobre toda a série, indicando que a pluviosidade no ponto da Estação Itabirito - Linígrafo reduziu-se discretamente ao longo do tempo quando comparada com a do ponto da Estação Lagoa Grande.

Destaca-se que o coeficiente de inclinação da reta de regressão da série completa (linha pontilhada azul), com o valor 0,86122 é menor que a da reta da relação entre Lagoa Grande (MMV) e Barragem das Codornas (1,02897) o qual, com valor praticamente igual um, representa uma inclinação de  $45^\circ$  e significa que a pluviosidade do período na Lagoa Grande (MMV) é praticamente igual à da Barragem das Codornas (na verdade, 2,9% maior e com redução de uma constante de 165 mm) o que é esperado devido à pequena distância entre essas duas estações e à pequena diferença de altitude entre elas.

Por outro lado, a pluviosidade em Itabirito Linígrafo é 11,8% menor que a da Barragem das Codornas e com acréscimo de uma constante de 232 mm, o que também se justifica devido às maiores distância e diferença de altitude entre as estações. A reta de regressão da relação entre

Lagoa Grande e Codornas está inserida no gráfico da esquerda, abaixo (reta tracejada verde) para permitir a comparação com a reta da relação entre Lagoa Grande e Itabirito Linígrafo.

Quando se amplia a parte final da curva (gráfico da direita), nota-se que a pluviosidade relativa em Itabirito – Linígrafo, assim como na Lagoa Grande (MMV), aumenta no final de 2021 (degrau da curva antes do dia 1º/01/2022) e a relação entre as massas retorna à inclinação anterior durante até o final do período seco desse ano. Um outro degrau, maior, ocorre no período chuvoso seguinte (2023-2024), com novo retorno à inclinação original. Essas pequenas diferenças, aqui também existentes, parecem indicar as alterações climáticas entre as três estações mencionadas, pois os dois últimos períodos chuvosos em Itabirito – Linígrafo também foram mais intensos que de costume com relação à Barragem das Codornas.

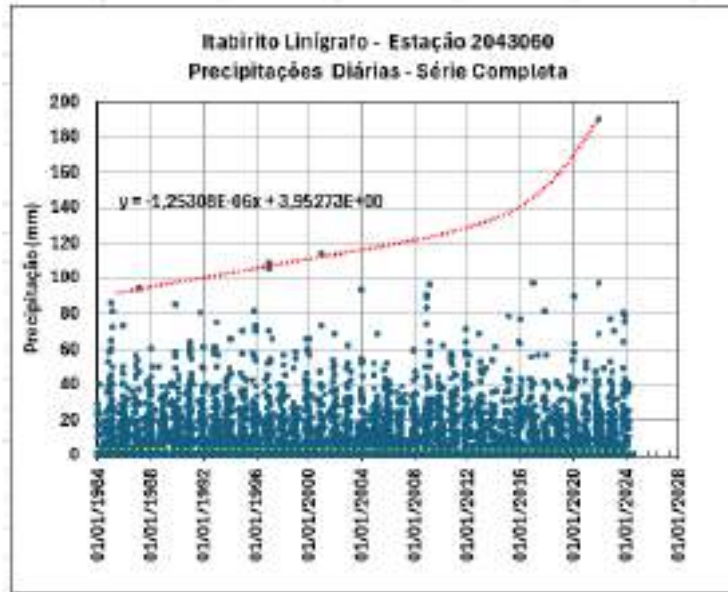


#### 4.11.2 Análise Preliminar das Vazões Diárias

A série da Estação Itabirito - Linígrafo 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 14.776 dias. A primeira abordagem dos dados, apresentada a seguir, trata de explorar os aspectos mais evidentes das precipitações diárias, procurando identificar os intervalos anuais que poderiam ser considerados os períodos úmidos e seco, bem como as tendências mais gerais.

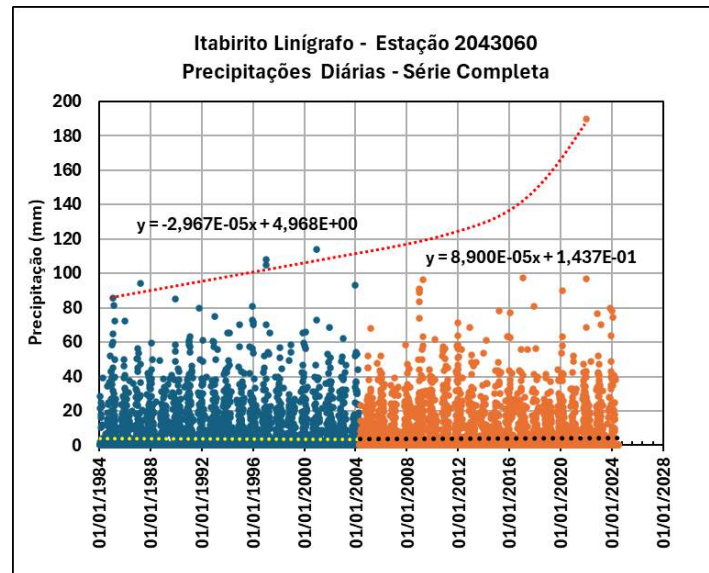
Nesse sentido, o gráfico a seguir mostra a distribuição temporal das vazões diárias da Estação Pluviométrica Itabirito - Linígrafo entre 27/01/1984 e 30/06/2024. A envoltória constituída pela curva pontilhada vermelha procura sugerir uma provável tendência (a ser confirmadas ou não por outros métodos estatísticos) de aumento das precipitações máximas ao longo dos anos mais recentes, aumento esse possivelmente associado às mudanças climáticas.

A equação da reta de regressão linear (linha pontilhada amarela) do conjunto total dos dados, com coeficiente da variável negativo, aponta para uma tendência de longo prazo de redução das precipitações, tendência essa coincidente com a tendência geral das vazões registradas na Estação Honório Bicalho.



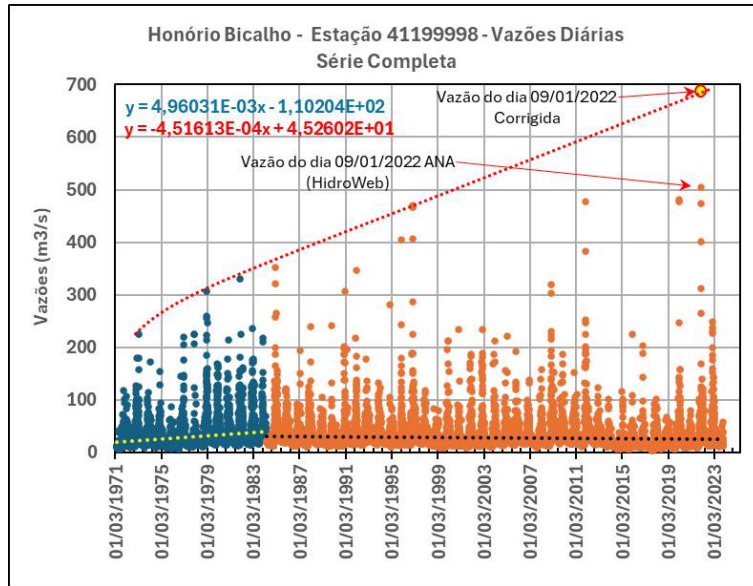
Distribuição das precipitações ao longo do período total da série

Como feito para Honório Bicalho e Lagoa Grande (MMV), mostra-se a seguir a distribuição de vazões do gráfico anterior dividida em dois períodos, sendo que o primeiro abrange as vazões desde o início dos registros, em 1984, até o dia 30/04/2004, fim do período úmido 2003-2004. Essa data de partição da série foi selecionada de modo a dividir a série em dois períodos de aproximadamente 18 anos, com igual quantidade de dia. Observa-se, no primeiro período, tendência geral de redução dos valores de precipitação (coef. negativo da reta de regressão) e, no segundo, tendência de aumento (coef. positivo). Essa tendência de aumento é oposta à verificada na série da Fazenda Água Limpa e na série de vazões de Honório Bicalho.



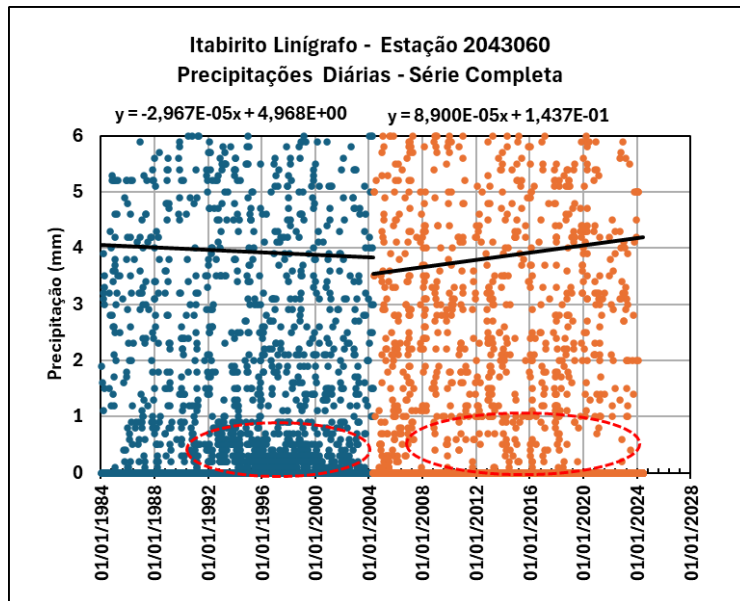
Distribuição das precipitações ao longo do período total da série

Para facilitar a comparação e demonstrar a coerência entre vazões e precipitações, rerepresenta-se a seguir o gráfico das vazões em Honório Bicalho no qual também divide a série dessa estação em dois segmentos com tendências opostas:



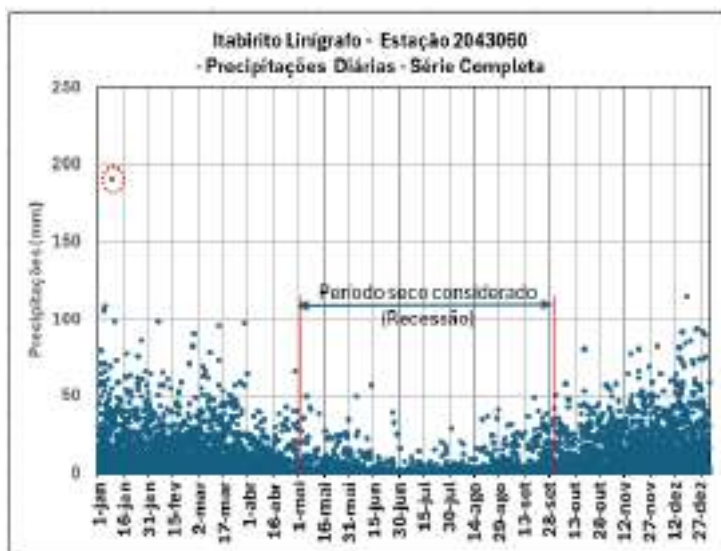
**Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação**

O gráfico a seguir constitui uma ampliação do anterior, da Estação Itabirito Linígrafo, e destaca a diferença de inclinação das duas retas de regressão, bem como as diferenças de quantidade de dados inferiores a 1 mm de precipitação diária entre o período de 1992 a 2004 aprox. e os demais períodos, o que pode ser devido a diferenças de metodologias ou de instrumentos de medição (diferentes precisões de leitura). Para padronizar as análises pluviométricas, desconsideramos, na série da Estação Itabirito Linígrafo, os valores de precipitação diária inferiores a 1,3 mm, tal como foi feito no caso da série da Lagoa Grande (MMV).



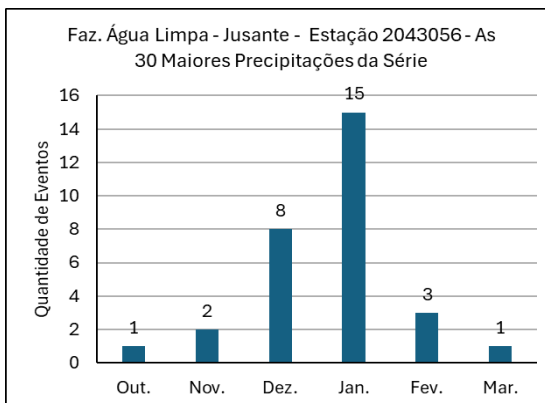
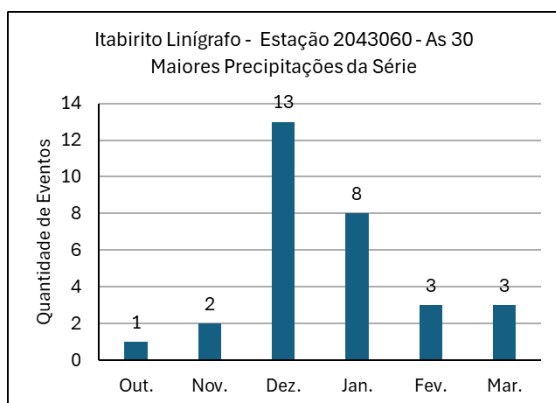
**Distribuição temporal das vazões diárias registradas na Estação**

De maneira similar ao que foi feito para as Estações Honório Bicalho e Lagoa Grande (MMV), apresenta-se a seguir a distribuição das precipitações diárias de toda a série ao longo dos dias do ano. As maiores precipitações concentram-se em janeiro. O recorde da série é o valor de 189,6mm referente ao dia 09/01/2022. O gráfico inclui as linhas que demarcam o período seco selecionado de acordo com os critérios definidos no item referente à Estação Honório Bicalho.

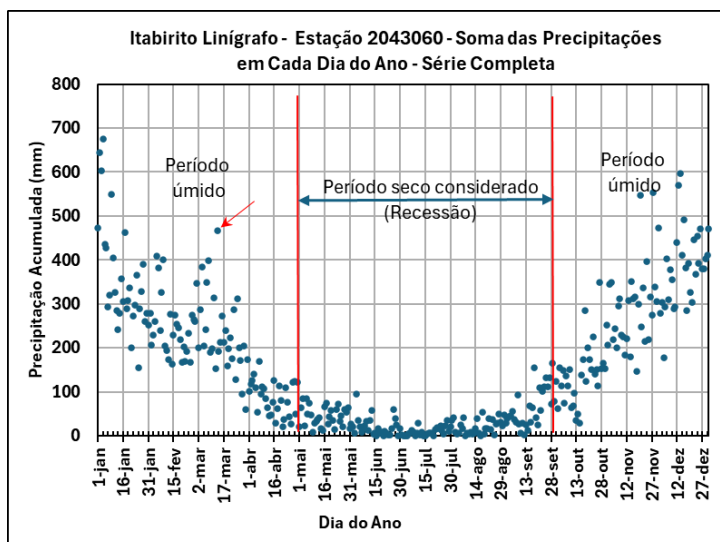


Distribuição das precipitações da série ao longo dos dias do ano

Das 30 maiores precipitações de toda a série, 8 ocorreram em janeiro, 13 em dezembro, três em fevereiro e em março, duas em novembro e uma em outubro. Dezembro e janeiro são, portanto, os meses em que, historicamente ocorrem as maiores precipitações na região do entorno da Estação Itabirito - Linígrafo.



Também de forma similar ao que está apresentado para Honório Bicalho e Lagoa Grande (MMV), para facilitar a visualização do comportamento das precipitações ao longo do ano adotou-se como variável a soma das precipitações do mesmo dia do ano de cada ano da série. Ou seja, para cada dia do ano (eixo das abscissas), os gráficos apresentam a soma (eixo das ordenadas) a soma das precipitações naquele dia em toda a série. Ex.: o ponto referente ao dia 13 de março (465,8 mm) é a soma dos valores de precipitação de todos os dias 13 de março da série, ou seja, a soma de 41 valores (seta vermelha).



**Volume total escoado por dia do ano**

O dia que acumula o maior volume de chuvas é o dia 4 de janeiro (675,40 mm), mesmo dia do maior volume de chuvas na Fazenda Água Limpa, e poderia ser considerado o dia que tem a maior probabilidade de se ter uma precipitação alta. Esse dia é seguido pelos dias 03/01, 02/01 e 14/12.

Conforme definido com base nas observações sobre a Estação Honório Bicalho, considerada nos presentes estudos como a mais importante da bacia, adota-se também aqui o dia 15 janeiro como sendo o centro do ciclo hidrológico da bacia do Alto Rio das Velhas.

A soma das precipitações ao longo dos 40,43 anos da série foi 57.645 mm (contra 52.147 mm na Fazenda Água Limpa e 65.678 na Lagoa dos Ingleses no mesmo período).

Dividindo-se 57.728 mm 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 escolhido, verifica-se que metade do volume se deve a chuvas ocorridas do dia 16/jan. ao dia 20/out., totalizando 278 dias (para comparação, para a Lagoa Grande o período similar vai 16/jan. ao dia 19/out., totalizando 277 dias e na Fazenda Água Limpa, de 16/jan. a 21/out., 279 dias) e a outra metade, do dia 21/out. ao dia 15/jan. (87 dias). Portanto, em geral, o primeiro período (que abrange 76,16% do ano) apresenta precipitações bem menores que o segundo, tal como para o caso da Lagoa Grande (MMV) e Fazenda Água Limpa. Assim, em termos de valores da soma dos valores diários referida, metade das chuvas de um ano típico ocorrem em 23,84% do tempo total do ano.

Considerando-se as somas das precipitações da série da Estação Itabirito Linígrafo, constatou-se que 59,1,0% das precipitações dos períodos úmidos ocorreram do dia 1º/out. até o dia 15/jan. (pontos azuis no gráfico a seguir) e 40,8% ocorreram do dia 16/jan. até o dia 30/abr. Na Lagoa Grande (MMV) essas percentagens são 58,43% e 41,6% e em Água Limpa, 60,0 e 40,0% respectivamente.

O volume de precipitações dos períodos úmidos (1º/out. a 30/abr.) é de 52.806 mm, ou seja, 91,6% do total de toda a série. Dessa forma, historicamente, 41,9% do tempo de um ano recebe apenas 8,40% das chuvas e 58,1% do tempo recebe os restantes 91,60% das chuvas. Na Lagoa Grande (MMV) essas percentagens são 7,55% e 92,45% e na Fazenda Água Limpa, 9,54% e 90,46% respectivamente.

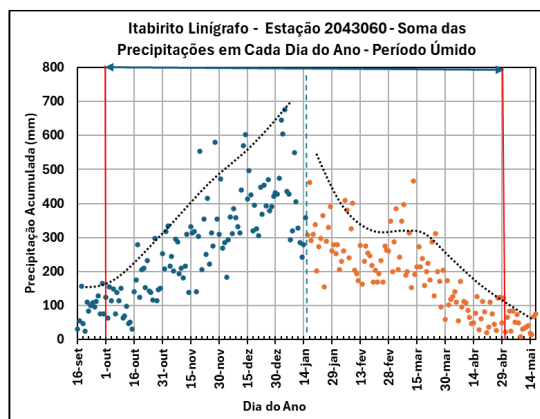
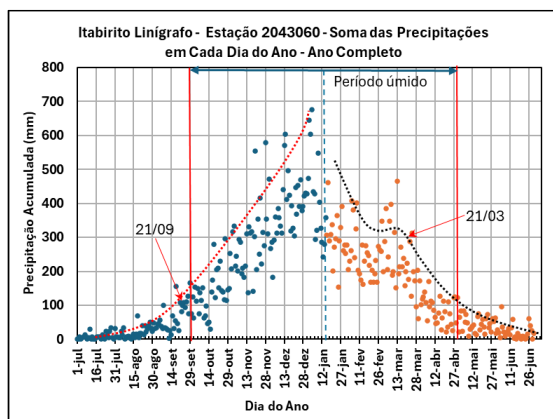
**Dados das Precipitações nas Três Estações**

Variável	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito Linígrafo	Faz. Água Limpa
Duração da série de dados (anos)	83,41	40,43	40,45

Total precipitado – Soma da série (mm)	130.995	57.645	52.147
50% do vol. precipitado ocorre de 16/jan. a	19/out.	20/out.	21/out.
Total de dias desse período =	277	278	279
	75,9% do ano	76,2% do ano	76,4% do ano
	19/out.	20/out.	21/out.
Total de dias do período em que ocorre a precipitação dos outros 50% =	88	87	86
	24,1% do ano	23,8% do ano	23,6% ano
Vol. de precipitações dos <b>períodos úmidos</b> (1º/out. a 30/abr.)	120.194 mm	52.806	46.918
Quantidade de dias do período úmido = 213 dias <b>(58,36% do ano)</b>	91,8% do vol. total precipitado	91,6% do vol. total precipitado	90,0% do vol. total precipitado
<b>Períodos úmidos</b> – Precipitações do dia 1º/out. até o dia 15/jan.	58,43%	59,1%	60,0%
<b>Períodos úmidos</b> – Precipitações do dia 16/jan. até o dia 30/abr.	41,6%	40,8	40,0%
Vol. de precipitações dos <b>períodos secos</b> (1º/mai. a 30/set.)	10.801 mm	4.840	5.229
Quantidade de dias do período seco = 152 dias <b>(41,64% do ano)</b>	8,2% do vol. total precipitado	8,4% do vol. total precipitado	10,0% do vol. total precipitado
Precipitação média anual (mm)	1.570,5	1.425,8	1.289,2
Precipitação média do período úmido (mm)	1.441,0	1.306,1	1.159,9
Precipitação média do período seco (mm)	129,5	119,7	129,3

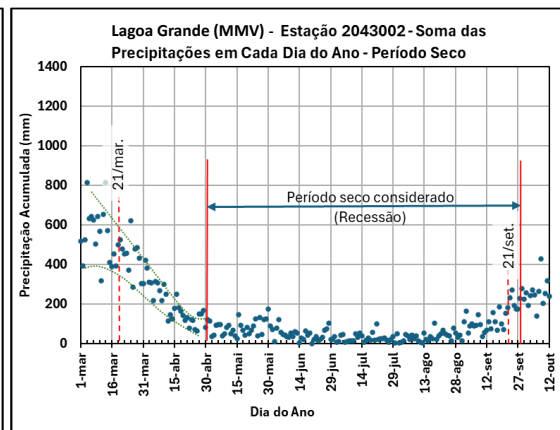
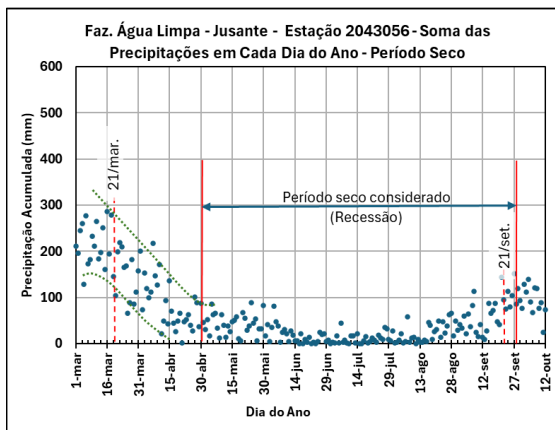
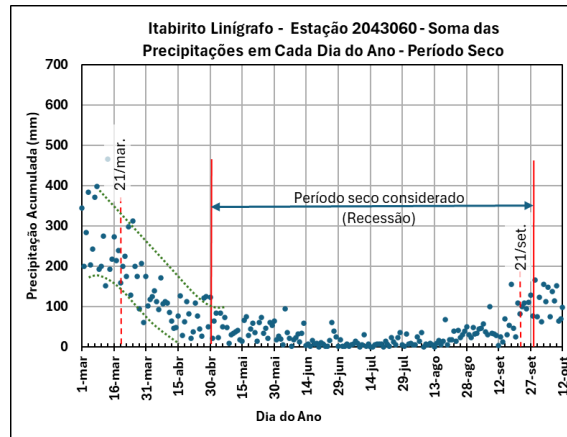
Os totais precipitados e os valores médios indicam uma distribuição espacial das chuvas, com maior intensidade na área mais elevada, a oeste da bacia do Rio das Velhas (Lagoa Grande, Sinclinal Moeda) e redução dessa intensidade à medida que se caminha para o leste em áreas do vale. Em termos de distribuição temporal, historicamente, 50% das chuvas anuais caíram em aprox. 3 meses (de 20 de outubro a 15 de janeiro) e os períodos úmidos (~60% do ano) foram responsáveis por ~90% do total precipitado.

O gráfico da esquerda a seguir (dados do ano completo), elaborado segundo o princípio de partição definido para Honório Bicalho (para permitir a comparação entre os gráficos de vazão de Honório Bicalho e de precipitação da Lagoa dos Ingleses, estações próximas), mostra à esquerda a curva ascendente (linha pontilhada vermelha) das somas dos volumes precipitados, culminando com o ponto do dia 4 de janeiro, o de maior pluviosidade do ano típico (o mesmo para a Fazenda Água Limpa, enquanto que para a Lagoa Grande o dia equivalente é o dia 3 de janeiro). À direita do gráfico, mostra-se a curva descendente dos volumes (linha pontilhada preta). O dia 15 de janeiro, visualmente, está mais próximo da curva descendente. Assinala-se, nos gráficos, 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). À direita, acima, apresenta-se um “zoom” do gráfico da esquerda, abrangendo o período de 1º de março a 12 de outubro.



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

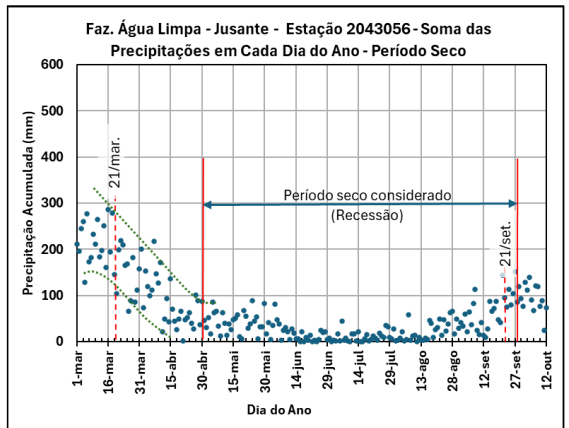
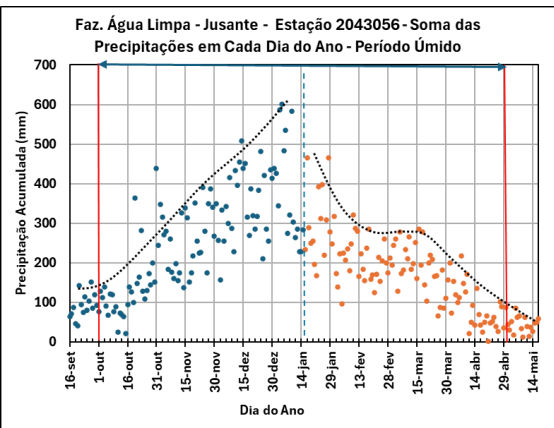
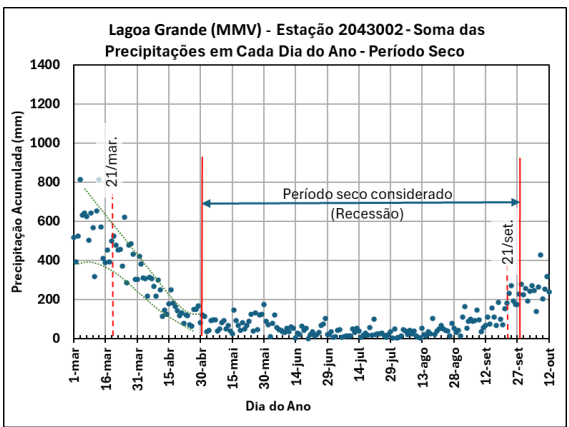
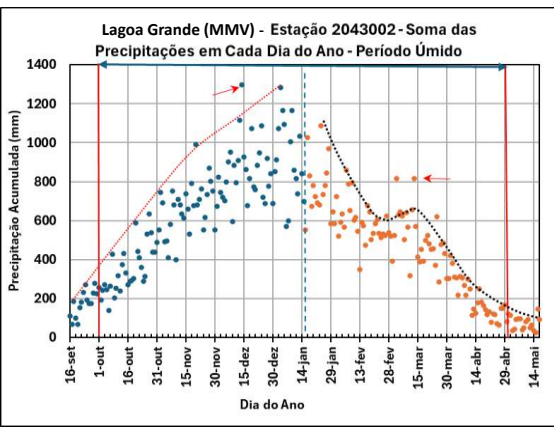
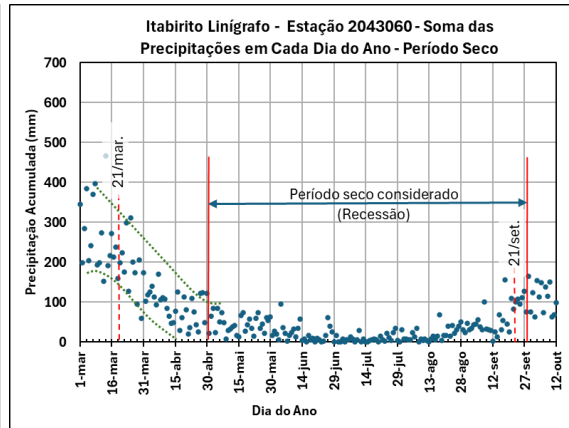
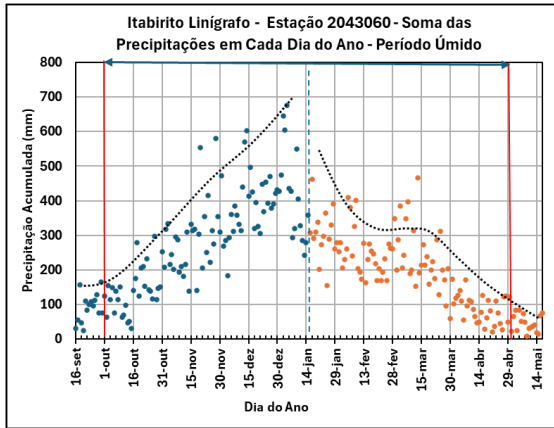
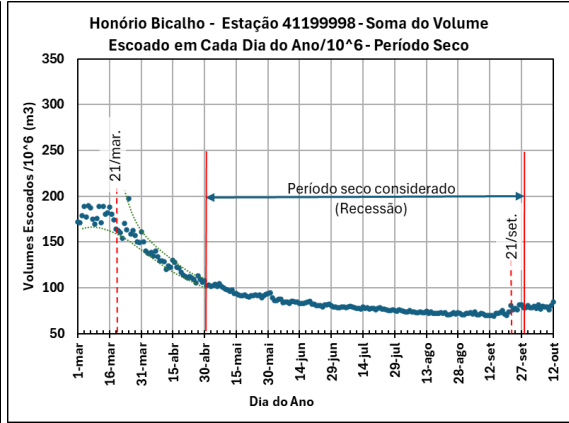
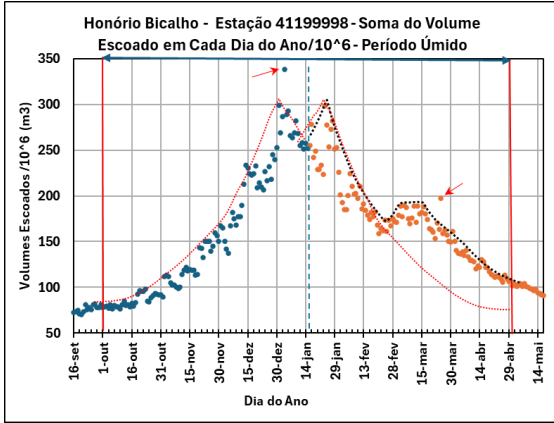
Pode-se ver, gráficos comparativos abaixo, para as três estações, a variabilidade dos valores acumulados dos volumes de precipitação desde o início de março até o final de abril, valores esses que se situam entre as duas curvas envoltórias (linhas pontilhadas azuis). A partir dessa data, até 21 de setembro, os valores acumulados se mantêm em um patamar bem baixo, com poucas variações, denotando o comportamento típico de um período de recessão, baixo volume de chuvas.



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

A comparação dos gráficos anuais de volumes de precipitação do período úmido das estações pluviométricas Itabirito Linígrafo, Faz. Água Limpa e Lagoa Grande (MMV) e da estação fluviométrica de Honório Bicalho (ver abaixo), permite a visualização de algumas características bastante peculiares: o comportamento das vazões em Honório Bicalho é bem similar ao das precipitações, o que é de se esperar, uma vez que as vazões maiores são consequência do escoamento superficial provocado pelas chuvas de maior intensidade e as três estações são relativamente próximas uma da outra. As curvas ascendente e descendente dos valores de volumes acumulados de precipitação não são simétricas com relação à data central de 15 de janeiro entre as datas de 30/nov. e 25/fev., fato que ocorre também com relação a Honório Bicalho.

Entre 15/fev. e 15/mar. os volumes acumulados se mantêm estáveis, interrompendo uma tendência de queda verificada desde meados de janeiro, assim como ocorre com as vazões em Honório Bicalho, reduzindo-se depois, de maneira mais uniforme a partir do dia 19 de março, nas vésperas do equinócio do outono (que ocorre de 20 a 23 de março, dependendo do ano).

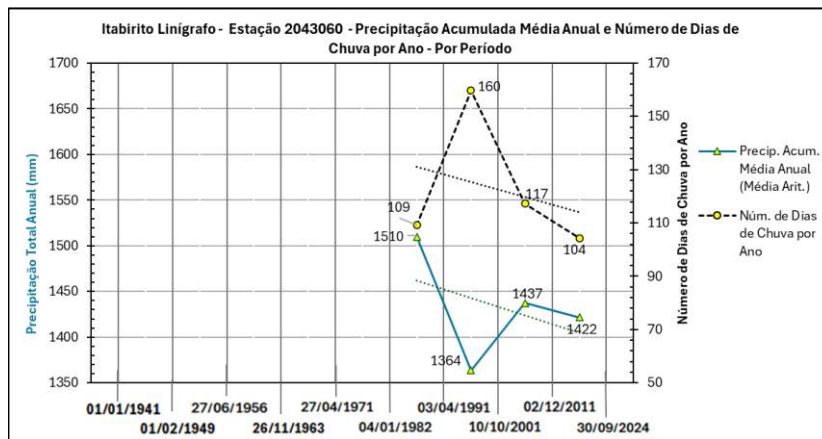


### 4.11.3 Análise Descritiva e Análise Inferencial (Tendências)

#### 4.11.3.1 Períodos Decenais

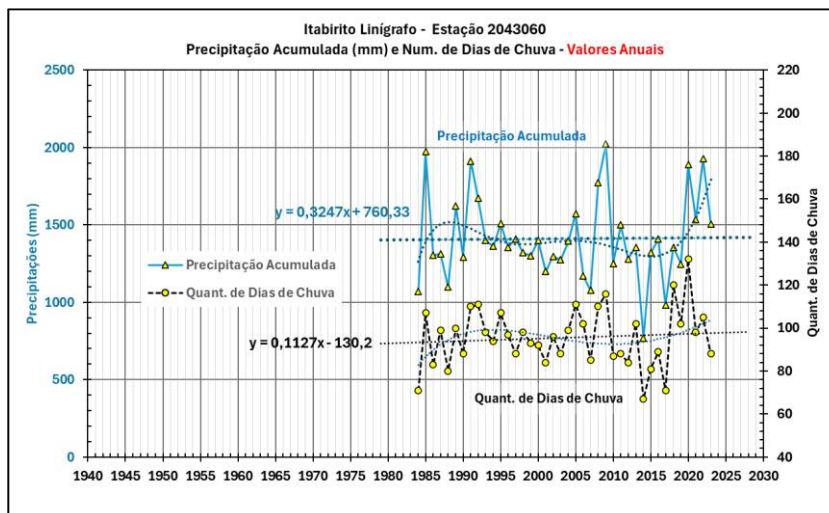
A análise dos **valores decenais** da série temporal de valores de precipitação da Estação Itabirito - Linígrafo permitiu verificar (gráficos a seguir) que, aparentemente, tem havido – se a série for analisada como um todo – redução do volume anual de precipitações, mas as oscilações (valores maiores seguidos de menores) em apenas 4 décadas podem ser consideradas não conclusivas, sendo necessário fazer uma avaliação anual (ver à frente). As variações são acompanhadas pelas correspondentes variações do número total de dias chuvas por ano.

A precipitação acumulada média anual reduziu-se em 4,7% (= 1 – 1510/1422) entre os extremos da série.



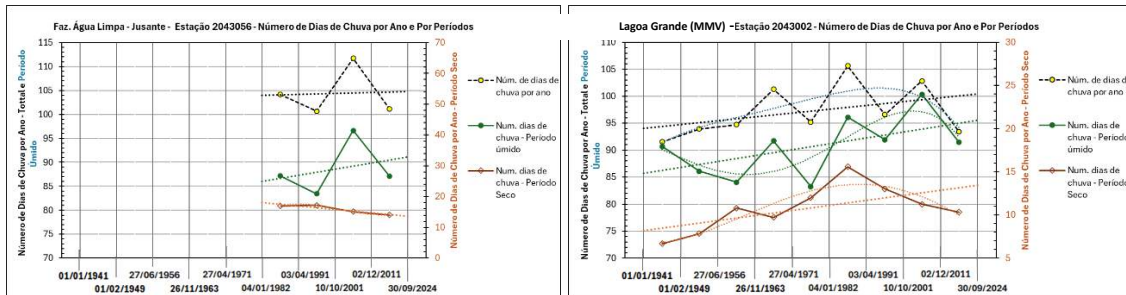
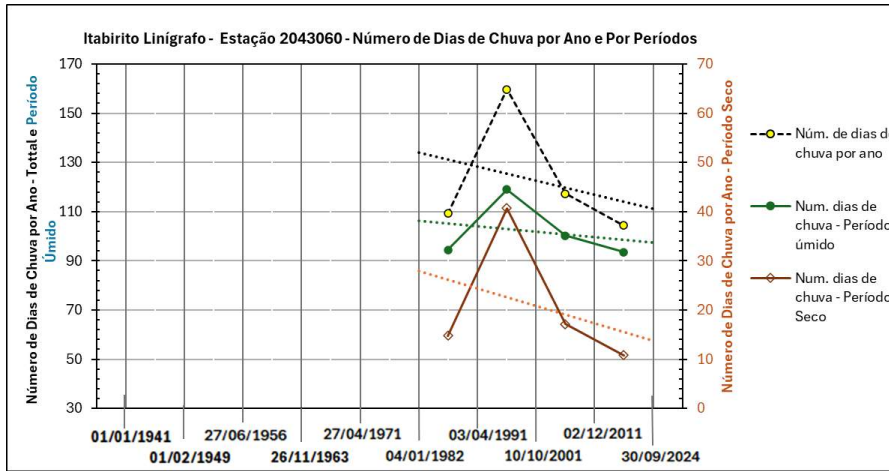
Série completa, todos os períodos aprox. decenais.

Para comparação com o gráfico acima, abaixo é apresentado o gráfico correspondente dos valores anuais no qual constata-se uma tendência geral de pequeno aumento tanto dos valores acumulados anuais quanto da quantidade de dias de chuva por ano, o que contrasta com as tendências dos valores decenais:



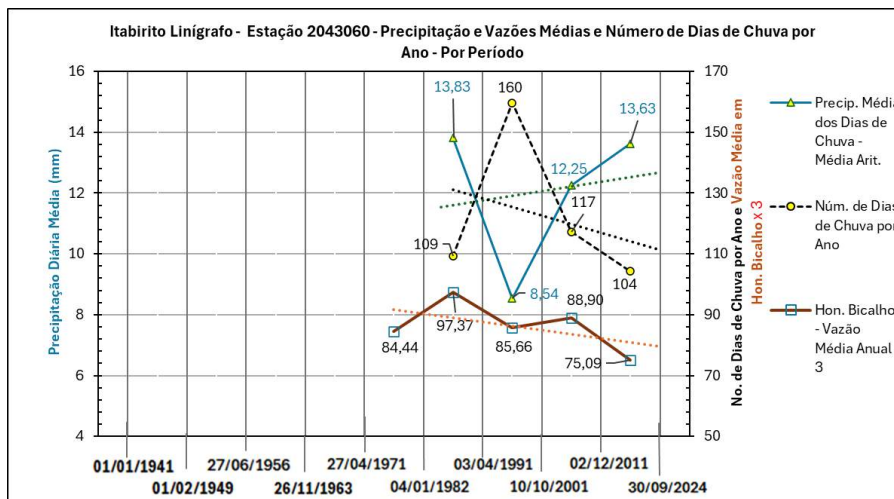
Série completa, valores anuais, com tendência geral de redução

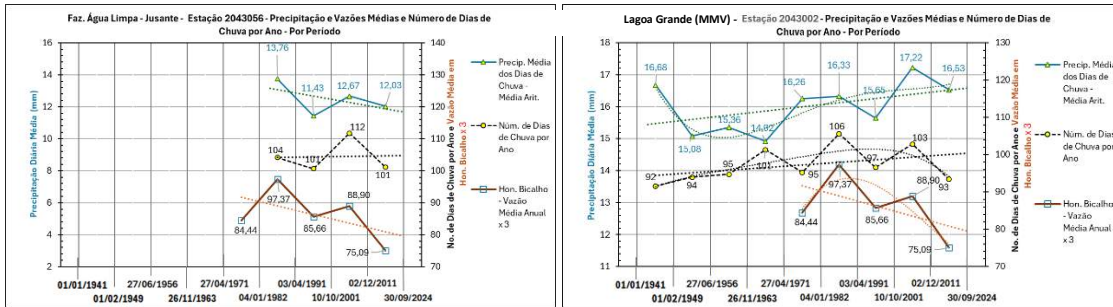
A se tomar separadamente os **valores decenais** das quantidades de dias de chuva dos períodos úmidos e dos secos observa-se uma tendência geral de redução nos períodos úmidos e nos secos. Essa tendência é distinta das verificadas nas outras duas estações (gráficos abaixo).



Séries completas, períodos aprox. decenais, períodos secos e úmidos.

As tendências acima apontadas devem ser consideradas no contexto das tendências de outras variáveis. De fato, como se vê no gráfico a seguir, na série da Estação Itabirito Linígrafo o **valor médio** do volume de precipitação dos dias de chuva tem aumentado, depois de uma queda acentuada na década de 1990, tendência oposta à de redução das vazões em Honório Bicalho e similar à verificada na estação pluviométrica da Lagoa Grande (MMV). Ou seja, identifica-se uma tendência à ocorrência aumento dos valores médios de precipitação diária e de redução da quantidade dos dias de chuva.

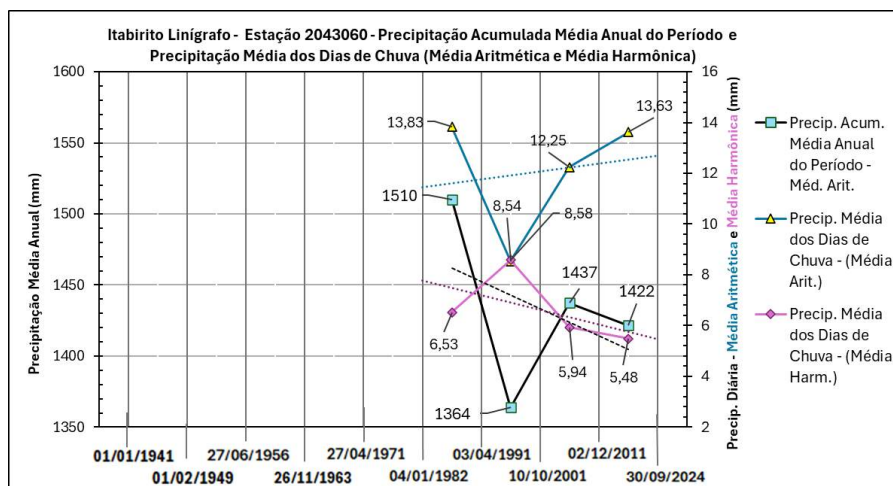




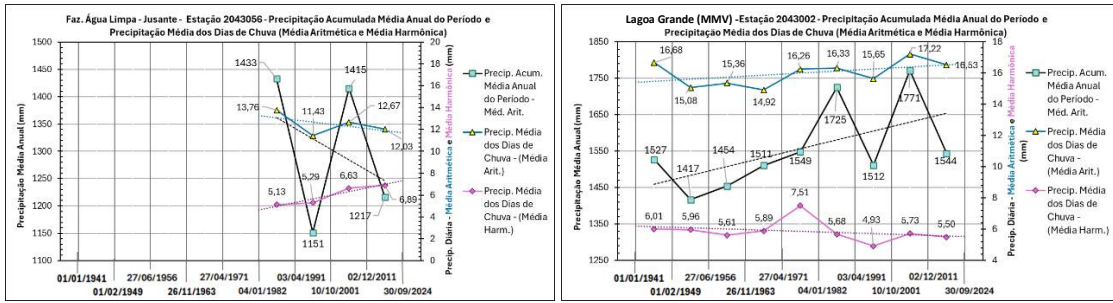
A redução das vazões médias dos períodos aproximadamente decenais em Honório Bicalho, acrescentadas aos gráficos, se mostra incoerente com o aumento da precipitação média dos dias de chuva em Itabirito Linígrafo e na Lagoa Grande (MMV). É importante notar que, para ajustar as escalas em um só gráfico, as vazões médias estão multiplicadas por três e sua leitura se faz no eixo da direita dos gráficos.

Como exercício de análise, tomando-se os pontos extremos das curvas do segundo segmento da série da Estação Itabirito Linígrafo, houve uma redução de 4,8% na quantidade de dias de chuva (1-109/104), ao passo que houve uma redução de 22,9%  $(1 - (75,09/3)/(97,37/3))$  nas vazões médias anuais do Rio das Velhas do período analisado. Como a redução das vazões, se vista desse prisma, foi quase 5 vezes superior à redução dos dias de chuva, pode-se cogitar a existência de fatores extras – que não os dias de chuva – influenciando as vazões ou, ainda, uma forte influência da quantidade dos dias de chuva nas vazões observadas em Honório Bicalho.

Considerando-se (gráfico abaixo) a série da Estação Itabirito - Linígrafo como um todo, o volume da precipitação acumulada média anual nos períodos aprox. decenais<sup>6</sup> apresentou tendência geral de redução, como já visto, e a precipitação média aritmética dos dias de chuva apresentou tendência de aumento, embora as oscilações das 4 décadas analisadas não permitam uma conclusão segura. Por outro lado, a média harmônica dos dias de chuva diminuiu, o que indica uma maior quantidade de dias com chuvas fracas. Essas tendências decenais da Estação Itabirito Linígrafo também diferem das tendências das séries da Faz. Água Limpa e da Lagoa Grande (MMV), como se pode ver pelos gráficos a seguir.



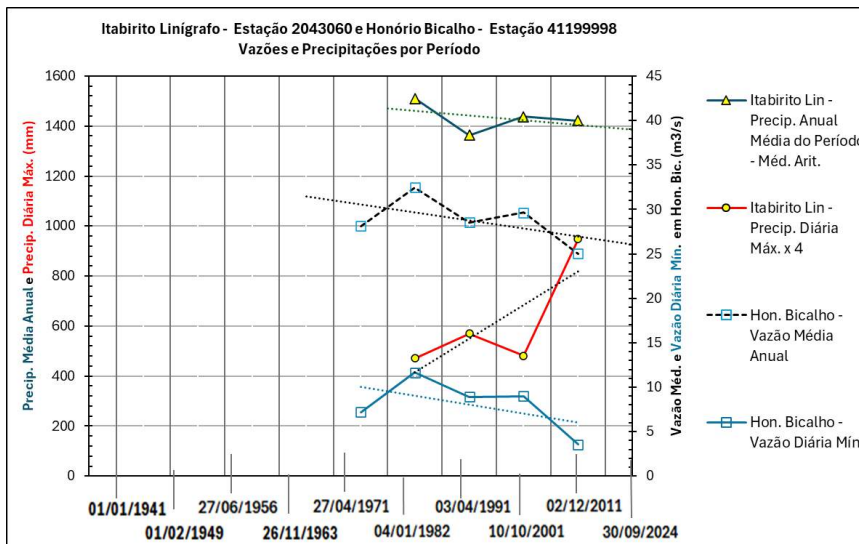
<sup>6</sup> Esse valor é calculado somando-se todos os valores diários de precipitação do período considerado e dividindo-se a soma pela quantidade de anos desse período.

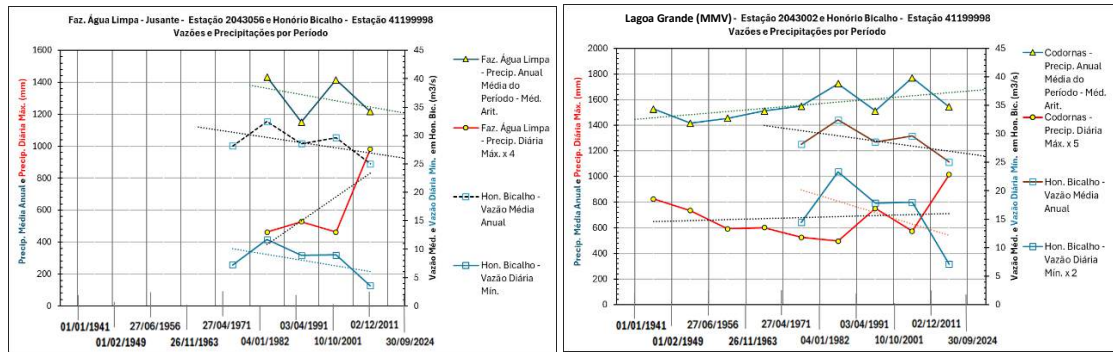


O gráfico a seguir, da série completa da Estação Itabirito - Linígrafo, apresenta novamente o volume da precipitação acumulada média anual nos períodos aprox. decenais, com sua aparente tendência geral de redução, e o compara com os valores – com forte tendência geral de aumento – da precipitação diária máxima de cada período aprox. decenal (multiplicada por 4, para ajuste da escala do eixo vertical esquerdo), bem como com a vazão média e a vazão mínima (multiplicada por 2) em Honório Bicalho (eixo vertical da direita), ambas com tendência de redução.

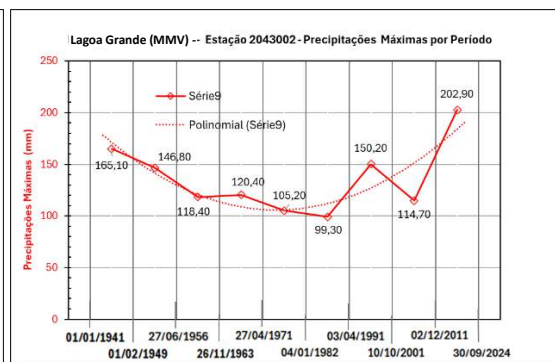
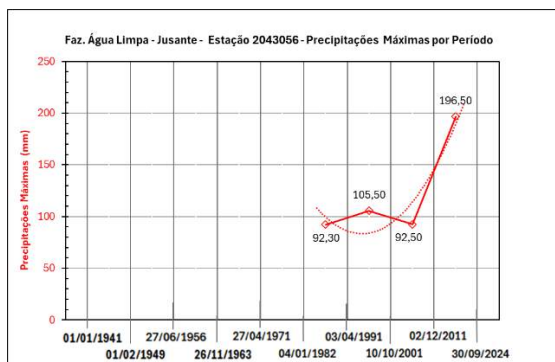
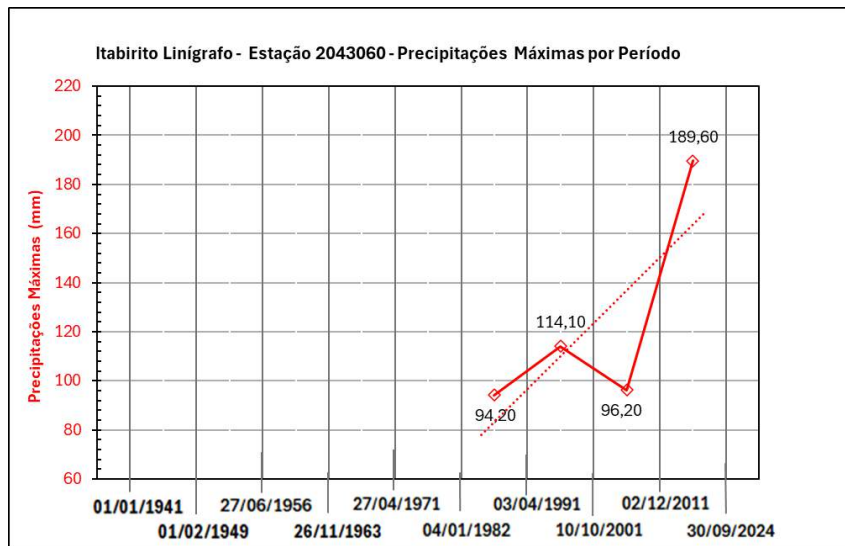
O gráfico mostra que onde há um pico na curva dos valores de precipitação acumulada há um vale na dos valores máximos diários e vice-versa, sugerindo que períodos de menor média de precipitação acumulada apresentam maiores picos de chuva diária. A queda dos valores acumulados das precipitações (similar ao que ocorre na Faz. Água Limpa) acompanha a queda da vazão registrada em Honório Bicalho, comportamento esse que é o esperado. Deve-se notar, no gráfico da série da Lagoa Grande (MMV), aqui reapresentado para facilitar a comparação, tem-se aumento da precipitação anual concomitante com a queda das vazões no rio, comportamento oposto ao esperado.

**Pode-se supor, a partir dessas constatações, que o aumento das precipitações anuais na região do Sinclinal Moeda, mais alta e de menor área, onde situa-se a Lagoa Grande (MMV), não implicou em aumento das vazões no Rio das Velhas porque nas demais regiões da bacia, áreas mais baixas e mais extensas, em que se situa a Estação Fazenda Água Limpa e Itabirito Linígrafo, houve redução das precipitações anuais.**

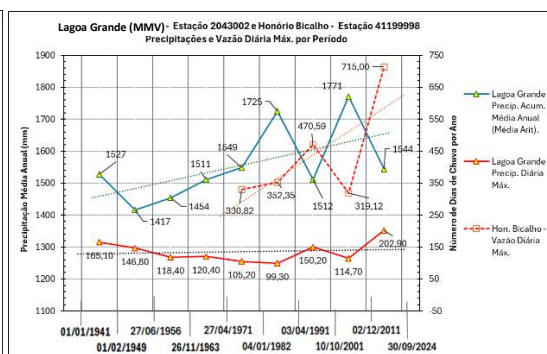
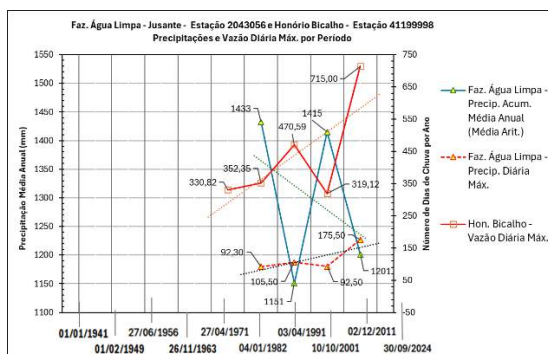
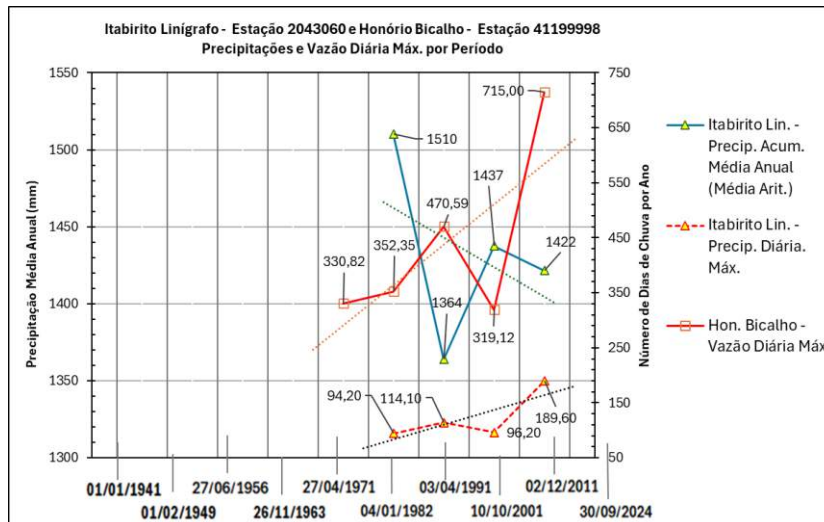




O gráfico a seguir destaca um aspecto importante já apresentado acima em conjunto com outros: os valores das **máximas precipitações de um dia** (precipitações dos dias de chuva de maior intensidade de cada um dos períodos em que a série foi subdividida) **apresentaram notável aumento na década de 1990 e a partir de 2016** (como no caso da série da Lagoa Grande (MMV) e Faz. Água Limpa). Os valores máximos referentes à última década são os das precipitações do dia 08/01/2022, maior valor diário das séries das três estações. Naturalmente, esse comportamento das precipitações máximas encontra-se refletido no comportamento das vazões diárias máximas dos períodos registradas em Honório Bicalho.



Constata-se, como era de se esperar, tanto para a área representada pela Estação Itabirito Linígrafo quanto para a representada pela Lagoa Grande (MMV) e Faz. Água Limpa, uma correspondência direta das vazões máximas diárias em Honório Bicalho com as precipitações máximas, em um cenário – já apontado – de aparente redução dos volumes médios anuais de precipitação nas duas estações.



## Conclusões da Análise por Períodos Decenais da Estação Itabirito Linígrafo

### 1. Tendência Geral de Redução da Precipitação – Série Decenal

A análise da série por períodos aproximadamente decenais indica uma tendência geral de redução da precipitação acumulada média anual. Entre os extremos da série, observou-se uma redução de 4,7% no total médio anual precipitado. Essa redução também se reflete em uma leve queda na quantidade de dias de chuva por ano, com variação de 4,8% entre os segmentos analisados.

Contudo, as oscilações marcantes entre décadas (com alternância de períodos mais e menos chuvosos) e a limitação a apenas quatro décadas tornam a tendência pouco conclusiva sem apoio de análises anuais.

### 2. Contraste entre Tendências Decenais e Anuais

Enquanto a média decenal indica leve queda nos volumes precipitados, a tendência geral da série anual mostra discreto aumento, tanto nos valores acumulados quanto na quantidade de dias chuvosos por ano. Esse contraste sugere que a análise anual pode captar variabilidades de curto prazo que ficam diluídas em médias decenais.

### 3. Redução da Frequência de Dias de Chuva nos Períodos Úmidos e Secos

- A tendência de redução da quantidade de dias com chuva é observada tanto nos períodos úmidos quanto nos secos, diferentemente do que se verifica nas demais estações analisadas.
- Essa característica pode indicar alteração na distribuição sazonal das chuvas na região de Itabirito.

#### 4. Aumento da Intensidade das Chuvas Diárias

A precipitação média aritmética dos dias de chuva apresentou tendência de aumento após queda acentuada na década de 1990, sugerindo maior intensidade nas chuvas diárias. Esse aumento é acompanhado por uma redução na média harmônica das precipitações diárias, o que indica uma maior proporção de dias com chuvas fracas.

#### 5. Incompatibilidade com a Redução das Vazões em Honório Bicalho

A redução das vazões médias em Honório Bicalho (22,9%) foi significativamente superior à redução observada na quantidade de dias de chuva em Itabirito (4,8%), indicando que outros fatores – como mudanças no uso do solo, mineração (que retira volumes de rochas em que a água fica armazenada), recarga subterrânea e evapotranspiração – podem estar afetando as vazões. Apesar disso, observa-se certa sincronia entre quedas de precipitação média anual e quedas nas vazões, padrão que não se repete na estação da Lagoa Grande.

#### 6. Relação Inversa entre Chuvas Extremas e Totais Médios

Verificou-se um padrão no qual períodos com menores totais médios de precipitação tendem a registrar os maiores valores diários de chuva, sugerindo aumento da frequência de eventos extremos em anos secos. A década de 1990 e o período a partir de 2016 concentraram os maiores eventos de precipitação diária, com destaque para o evento de 08/01/2022, o mais intenso da série.

#### 7. Coerência entre Máximas Diárias de Precipitação e Vazão

A ocorrência de máximas diárias de chuva reflete-se claramente nas vazões máximas diárias observadas em Honório Bicalho, indicando forte resposta hidrológica a eventos extremos, mesmo diante de uma tendência geral de redução dos volumes anuais.

#### 8. Observação Final

A combinação de tendências divergentes entre médias anuais e extremas, associada à curta duração da série decenal, reforça a importância de análises multiescalares (anuais, sazonais e extremas). A comparação com outras estações da bacia também aponta para comportamentos hidrológicos distintos entre diferentes setores da região.

#### 9. Tabela comparativa entre as tendências observadas nas estações Lagoa Grande (MMV), Faz. Água Limpa e Itabirito - Linígrafo

Aspecto Analisado	Lagoa Grande (MMV)	Faz. Água Limpa	Itabirito Linígrafo
<b>Tendência de precipitação anual</b>	Tendência de aumento	Tendência de redução (15,1%)	Tendência de redução (4,7%), com oscilações interanuais marcantes
<b>Quantidade de dias chuvosos (total)</b>	Estabilidade	Aumento nos períodos úmidos, redução nos secos; queda total de 2,9%	Tendência de redução tanto nos períodos úmidos quanto secos; queda total de 4,8%
<b>Intensidade média diária das chuvas</b> (precipitação média aritmética dos dias chuvosos)	Tendência de aumento	Tendência de redução (12,6%)	Tendência de aumento após queda nos anos 1990
<b>Precipitação média harmônica dos dias chuvosos</b>	Redução (mais dias com chuvas fracas)	Aumento (menos dias com chuvas fracas)	Redução (mais dias com chuvas fracas), indicando queda na regularidade da intensidade

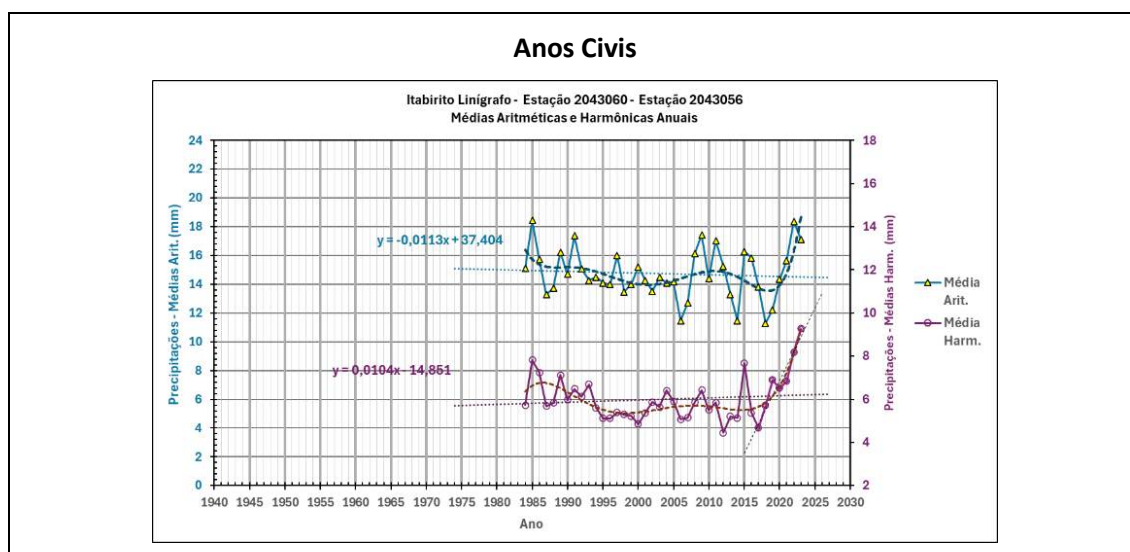
<b>Chuvas extremas (máximas diárias por período)</b>	Tendência de aumento, especialmente nos anos 1990 e pós-2016	Tendência de aumento, com picos semelhantes aos da Lagoa Grande	Tendência de aumento, com máximos notáveis nos anos 1990 e a partir de 2016
<b>Relação entre chuvas médias e extremas</b>	Aumento das máximas ocorre junto da média anual crescente	Quando a média anual cai, as chuvas máximas tendem a aumentar (inversamente correlacionadas)	Relação inversa: picos extremos ocorrem em anos de menor média anual
<b>Tendência das vazões em Honório Bicalho</b>	Redução de 22,9%, mesmo com aumento da precipitação	Redução de 22,9%, mais intensa que a redução nas chuvas	Redução de 22,9%, quase 5 vezes maior que a queda na quantidade de dias de chuva
<b>Coerência entre precipitação e vazões</b>	Comportamento oposto ao esperado (chuva ↑, vazão ↓)	Comportamento esperado (chuva ↓, vazão ↓)	Comportamento esperado (chuva ↓, vazão ↓)
<b>Sugestão de influência de outros fatores</b>	Sim (por exemplo, recarga limitada em área pequena e alta)	Sim (chuvas menores explicam parte, mas não toda a queda de vazão; possível influência de uso do solo ou aquífero)	Sim (queda das chuvas não explica sozinha o declínio das vazões; possível influência antrópica ou hidrogeológica)
<b>Conclusão geral</b>	Tendência a aumento de chuvas e eventos extremos, com vazões paradoxalmente decrescentes	Tendência a redução geral de precipitação e aumento da intensidade das chuvas nos eventos extremos	Tendência a redução leve da precipitação, aumento da intensidade diária e maior frequência de extremos em contexto de queda de vazão

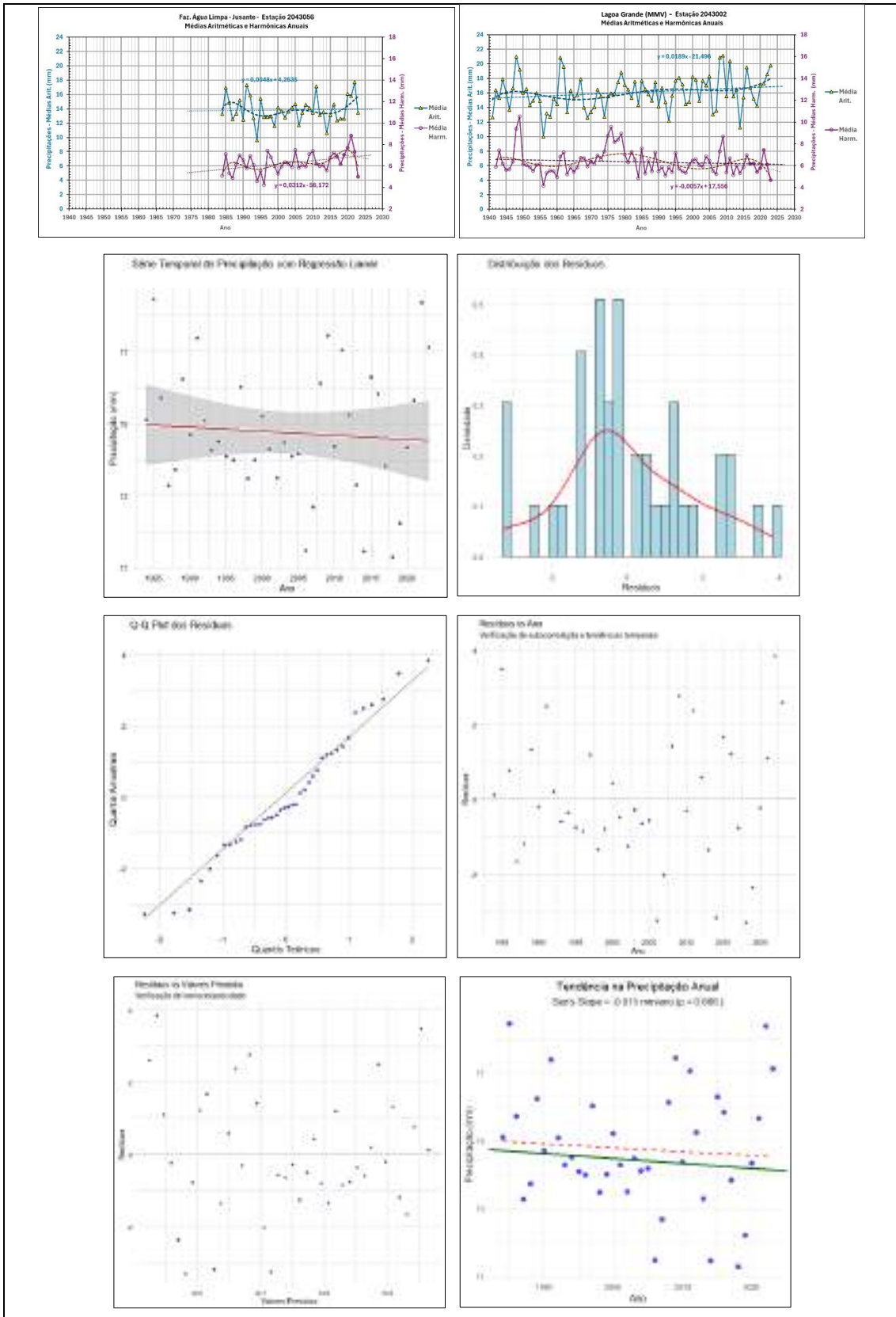
#### 4.11.3.2 Períodos Anuais – Médias

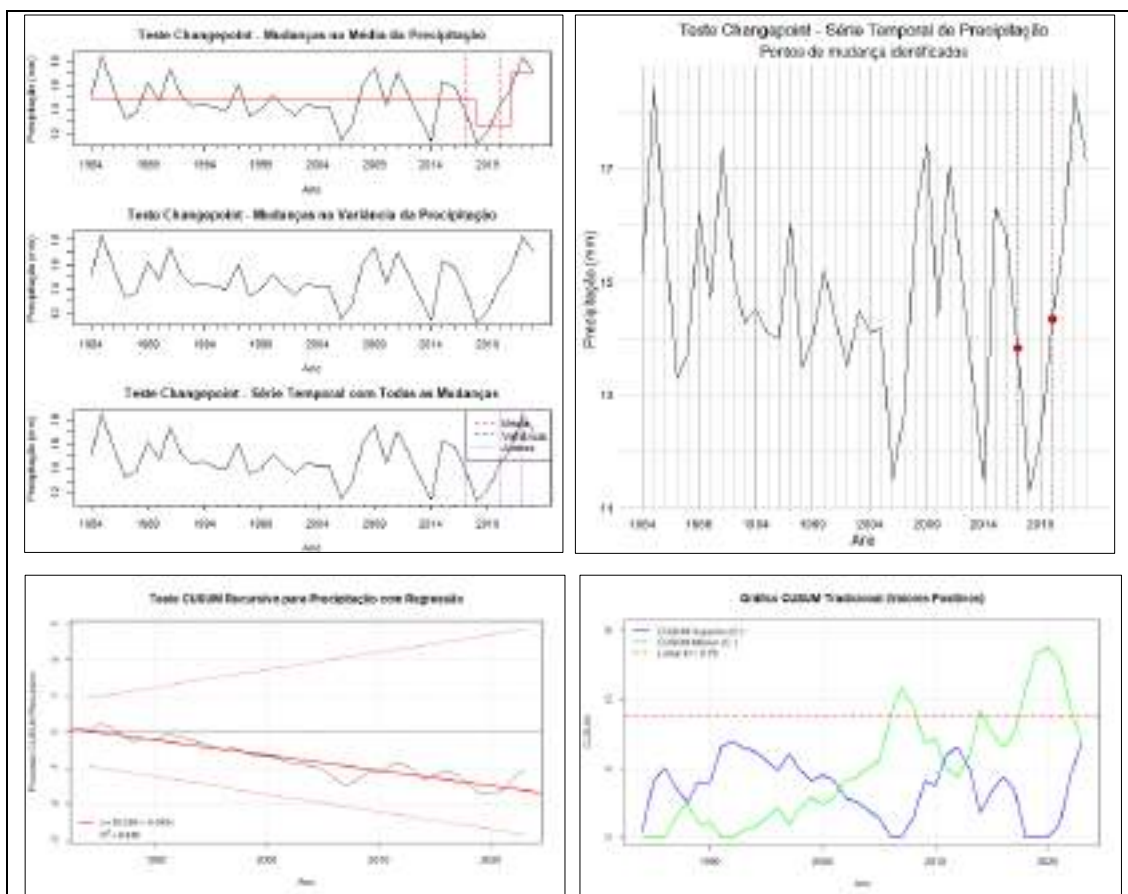
#### 4.11.3.3 Médias Anuais – Precipitações Médias dos Dias de Chuva

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 precipitações não apenas durante um ano completo, mas também durante os períodos seco e úmido de cada ano. Nessa análise são consideradas, para cada ano, a média das precipitações dos dias de chuva em mm/dia.

Como nos itens anteriores, são apresentados a seguir – nos casos em que isso for importante para permitir uma comparação direta – tanto os gráficos da Estação Fazenda Água Limpa quanto os das Estações Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV).







Itabirito Linígrafo – Valores Anuais (Anos Cíveis: 1984 - 2023)	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	11.29
1º Quartil:	13.80
Mediana (2º Quartil):	14.42
Média:	14.75
3º Quartil:	15.87
Valor Máximo:	18.44
Variância:	3.08
Desvio Padrão:	1.76
<b>Regressão Linear</b>	
Equação da reta:	Precipitação = $-1.13e-02 * \text{tempo} + 37.4$
Coefficiente angular (variação por ano):	$-1.13e-02$
p-valor do coeficiente angular:	$6.44e-01$
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	$(-0.06048, 0.03786)$
R <sup>2</sup> do modelo:	0.05673
Interpretação:	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com 0.0113 mm a menos na precipitação média dos dias de chuva, por ano da série (0,452 mm em 40 anos, -3,06% da média total da série de 14,75 mm/dia de chuva).
<b>Testes de Pressupostos da Regressão:</b>	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	W = 0.9746   p-valor = 4.98e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	A = 0.3694   p-valor = 4.1e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos:	D = 0.1219   p-valor = 0.5516 (p > 0,05)
Interpretação:	



	Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 3.6613   p-valor = 5.57e-02 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 3.0711   p-valor = 7.97e-02 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.3461   p-valor = 1.02e-02 Resíduos autocorrelacionados
<b>Testes de tendências e mudanças</b>	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.04872   p-valor = 0.6664 (p > 0.05) Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Interpretação:	Inclinação = -0.01462   p-valor = 0.6664 (p > 0.05) IC95% = (-0.0739, 0.03897) Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 85   p-valor = 1 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.04503   p-valor = 0.7826 (p > 0.05) Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM: Equação da reta: Coeficiente angular: R <sup>2</sup> da regressão:  Interpretação:	<p>– <math>y = 83.59 - 0.04x</math> (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– -0.04 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.85 (valor de R2 alto, bom ajuste, confirma tendência de redução ao longo de toda a série)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curva predominantemente abaixo de zero:</li> <li>•</li> <li>• Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.</li> <li>• Período inicial (3 a 4 anos) com soma acima do valor de referência (linha zero). A transição para valores negativos marca o início da mudança estrutural</li> </ul>
Changepoint: Análise de Mudança na Média:	<p>– Mudanças detectadas nos anos: 2017, 2020</p> <p>– Período 1984-2017: Média = 14.73 mm</p> <p>– Período 2017-2020: Média = 12.918 mm</p> <p>– Período 2020-2023: Média = 16.37 mm</p>
Análise de Mudança na Variância:	Nenhuma mudança significativa na variância detectada.
Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>– Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 17.123 mm</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

Considerando-se os valores anuais do período completo das séries e considerando que os testes estatísticos não invalidam a análise por regressão linear (ver a seguir), embora não sejam conclusivos, os gráficos acima, com os valores das médias dos dias de chuva de cada ano mostram redução das médias aritméticas das precipitações diárias na área representada pela Estação Itabirito Linígrafo, aumento dessas médias na Lagoa Grande (MMV) e estabilidade em Água Limpa. Os valores das médias harmônicas aumentam em Itabirito – Linígrafo e Água Limpa e diminuem na Lagoa dos Ingleses. Uma redução das médias harmônicas ao longo do período indica a representatividade crescente dos valores mínimos de precipitações e vice-versa.

As tendências inversas das médias harmônicas entre estações indicam diferenças de pluviosidade entre elas, apesar de sua relativa proximidade, o que deve ser levado em conta na avaliação conjunta dos valores de precipitações e de vazões na bacia do Alto Velhas. Uma das causas prováveis pode ser a diferença de altitude das áreas em que se encontram as estações.

As curvas de regressão polinomial mostram os principais ciclos de aumento e redução de ambas as médias. Destaca-se o comportamento oposto das médias a partir da década de 1980, indicado oscilações em sentidos opostos das curvas polinomiais, ou seja, a tendência citada de aumento simultâneo de valores máximos e de valores mínimos de precipitação, em cada ano, resultado de um cenário de menor pluviosidade pontuado com alguns eventos de chuvas cada vez intensas.

#### **Características Gerais da Série**

Amplitude moderada: Variação entre 11.29 mm e 18.44mm

Distribuição quase simétrica: Média (14.75 mm) ~ Mediana (14.42 mm) – Leve assimetria à direita da curva de distribuição

Baixa variabilidade: Desvio padrão de 1.76 mm (12% da média) sugere menor variabilidade interanual (menor dispersão dos dados), ou seja, estabilidade relativa das médias anuais de precipitação por dia chuvoso ao longo da série.

#### **Regressão Linear:**

Coeficiente angular: -0.0113 mm/ano. Pequena inclinação negativa, com redução estimada de 0,0113 mm/ano na precipitação média dos dias de chuva. redução acumulada de 0,452 mm em 40 anos, o que equivale a aproximadamente 3,0% da média total da série (14,75 mm/dia).

O p-valor do coeficiente angular (0,644) é muito superior ao nível usual de significância (0,05), o que indica ausência de significância estatística da inclinação observada

IC95% [-0,06048 a 0,03786] inclui zero, o que reforça a inexistência de evidência estatística de tendência crescente ou decrescente

$R^2 = 0,05673$ , muito próximo de zero, revela que menos de 6% da variação na média da precipitação diária pode ser explicada pelo tempo (ano), o que também indica baixa capacidade preditiva do modelo.

#### **Testes de Pressupostos da Regressão:**

- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ( $p=0.0557$ ) e White ( $p=0.0797$ ): Ambos indicam homocedasticidade (variância constante) no limiar de 5%, o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Normalidade dos resíduos:** Shapiro-Wilk ( $p=4.98e-01$ ) e Anderson-Darling ( $p=4.1e-01$ ): resíduos seguem distribuição normal, o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson ( $p=0.0102$ ): Evidência de autocorrelação positiva nos resíduos (valores próximos no tempo são correlacionados): não cumpre um dos requisitos para a análise por regressão, podendo ter alguma influência nos resultados.

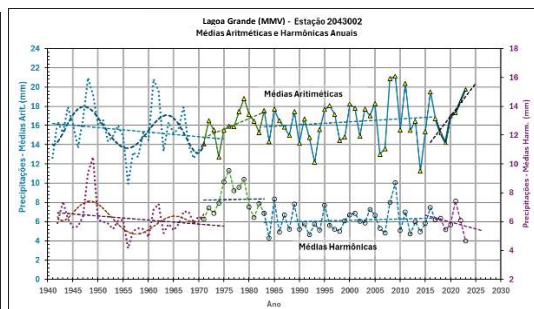
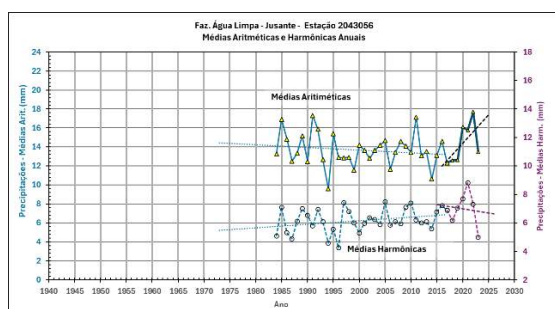
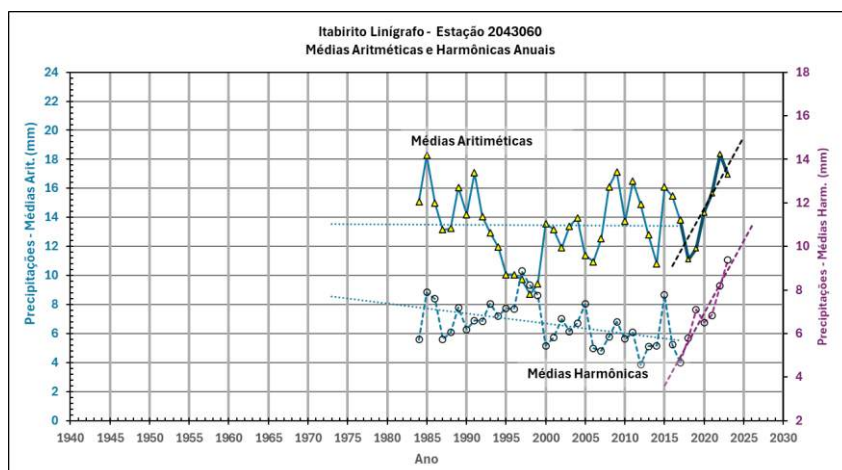
#### **Testes Não-Paramétricos:**

- Mann-Kendall ( $p=0.6664$ ) e Spearman ( $p=0.7826$ ): concordam quanto à ausência de tendência significativa
- Sen's Slope: Inclinação de -0.01462 mm/ano não significativa (IC95% inclui zero)

- Pettitt ( $p=1$ ): Nenhum ponto de mudança significativo
- BFAST: Nenhuma mudança detectada
- CUSUM: Sugere tendência de redução sistemática das precipitações (coef. angular - 0.04);  $R^2$  alto (0.85) indica bom ajuste do modelo
- Changepoint: Detectou mudanças na média em **2017** e **2020**: Redução para 12.918 mm (2017-2020) e aumento posterior para 16.37 mm (2020-2023). **2022**: Mudança mais significativa (média de 17.123 mm).

### Conclusões Principais

- Há discrepância entre métodos de avaliação de tendências: CUSUM mostra tendência de redução e demais testes (Mann-Kendall, Spearman, Sen) não detectam tendência significativa. Possível explicação: CUSUM é mais sensível a mudanças graduais persistentes.
- A autocorrelação positiva detectada pode inflacionar falsamente a significância em alguns testes.
- **Sobre Mudanças Estruturais:** Pettitt e BFAST não identificaram nenhuma mudança e Changepoint identificou mudanças em 2017, 2020 e 2022. Possível explicação: Changepoint é mais sensível a mudanças temporárias. O período 2017-2020 foi atípico: redução de ~13% na precipitação média seguido por aumento acentuado (16.37 mm).



Para permitir uma análise mais detalhada, as tendências de alguns segmentos das séries completas são mostrados nesses gráficos:

- 1983 a 2016: redução das médias aritméticas da área representada pelas estações Itabirito Linígrafo e Água Limpa e aumento na Lagoa dos Ingleses; aumento das