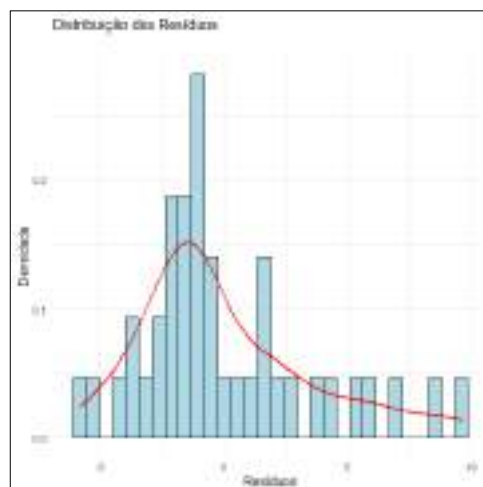
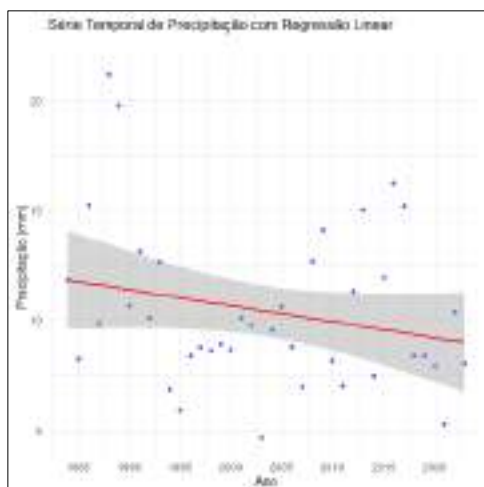
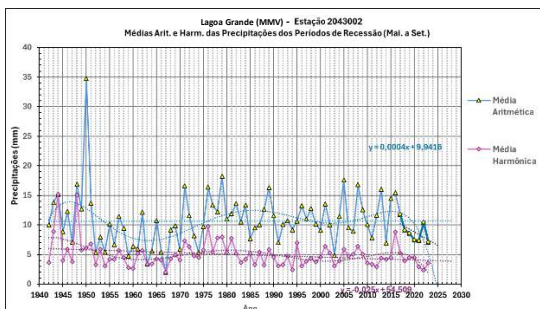
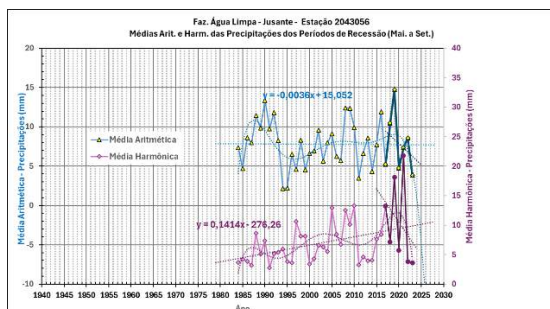
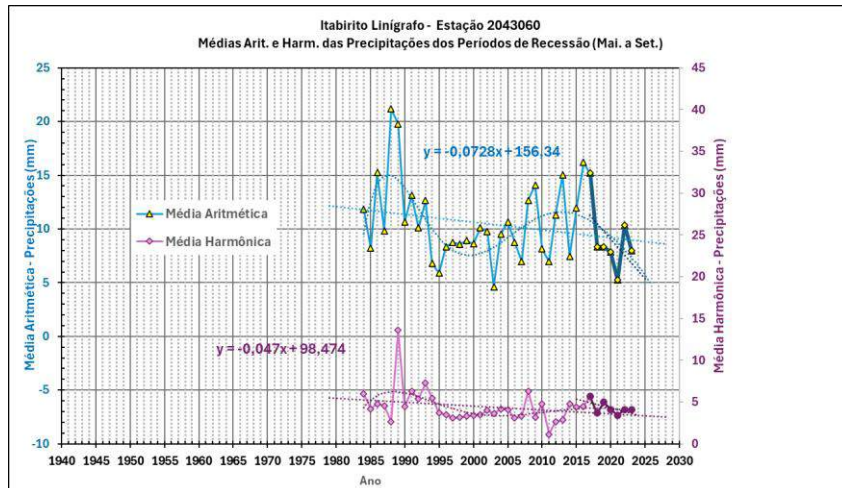
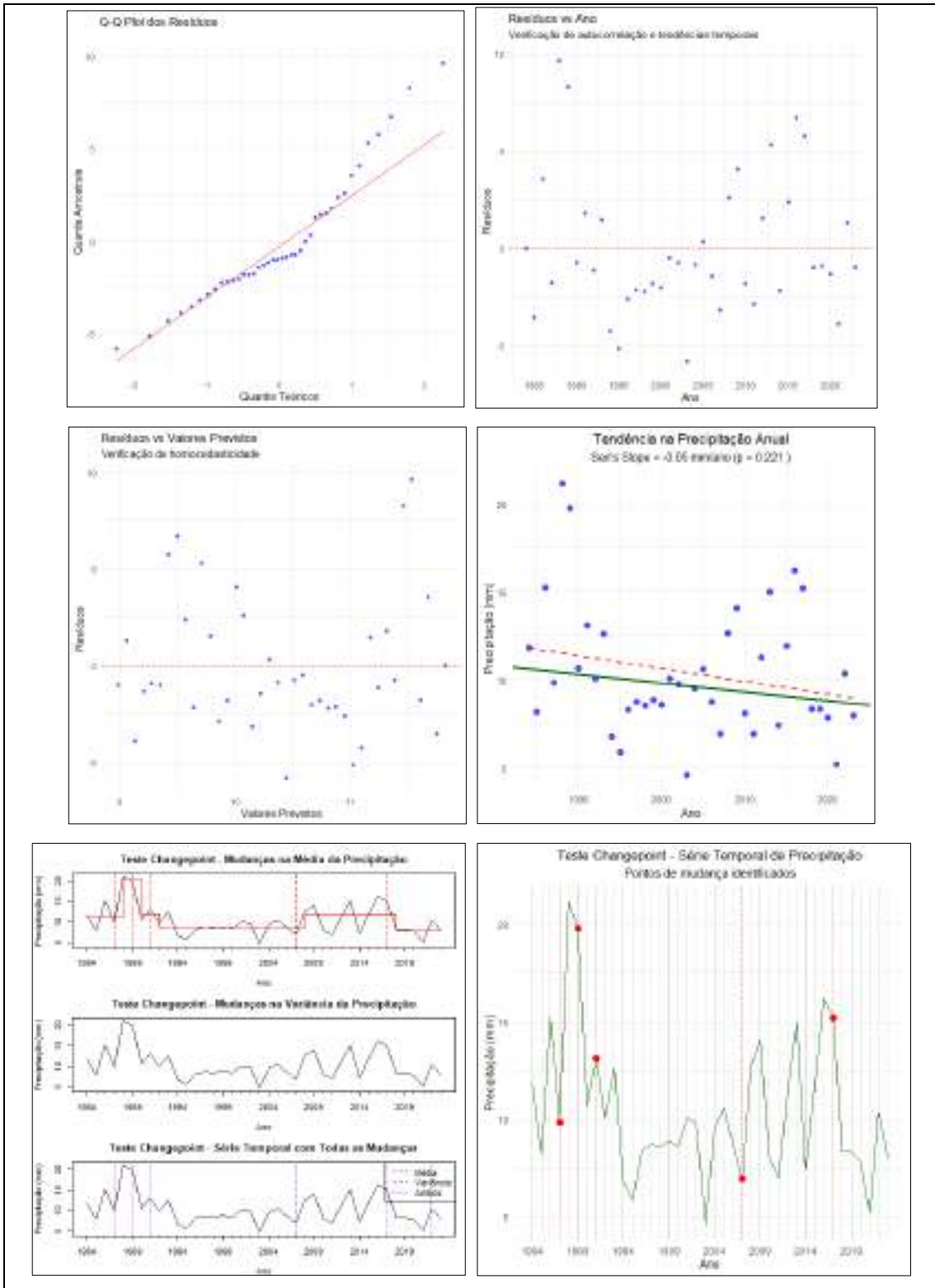


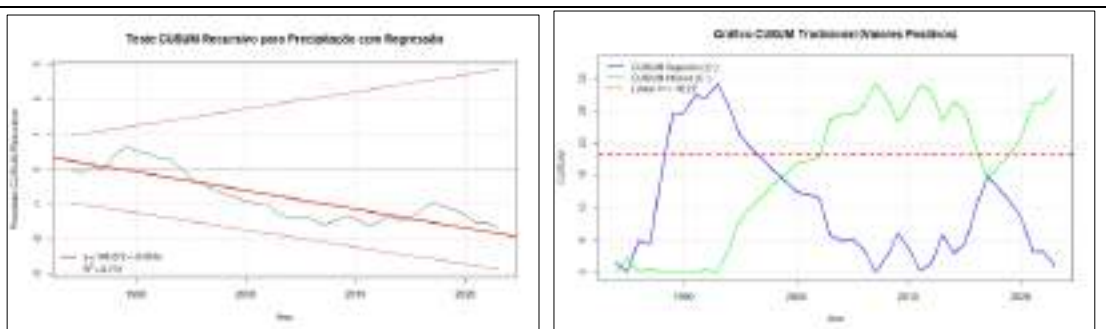
médias harmônicas em Água Limpa e Lagoa dos Ingleses e redução em Itabirito - Linígrafo.

- 2017 a 2023: aumento bastante acentuado das médias aritméticas em Água Limpa, Lagoa dos Ingleses e Itabirito - Linígrafo. e redução das harmônicas em Água Limpa e Lagoa dos Ingleses e redução em Itabirito - Linígrafo, indicando um cenário com aumento tanto de eventos de chuvas mais intensas quanto de eventos de chuvas mais fracas, ou seja, de grande variação da pluviosidade durante o ano.

Períodos Secos (Recessão)







Itabirito Linígrafo – Períodos Secos	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	4.63
1º Quartil:	8.20
Mediana (2º Quartil):	9.66
Média:	10.40
3º Quartil:	12.12
Valor Máximo:	21.18
Variância:	13.28
Desvio Padrão:	3.64
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = $-7.28e-02 * \text{tempo} + 156.3$
Coefficiente angular (variação por ano):	$-7.28e-02$
p-valor do coeficiente angular:	$1.47e-01$
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	$(-0.1724, 0.0267)$
R ² do modelo:	0.05459
Interpretação:	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com 0.07284 mm a menos na precipitação média dos dias de chuva, por ano da série (-2,91 mm em 40 anos, 28,0% da média total da série de 10,41 mm/dia de chuva).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9252 p-valor = 1.13e-02 (p < 0,05) Resíduos não seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 1.1511 p-valor = 4.59e-03 (p < 0,05) Resíduos não seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.181 p-valor = 0.1283 (p > 0,05) Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 1.2177 p-valor = 2.7e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 1.5081 p-valor = 2.19e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.4607 p-valor = 2.71e-02 Resíduos autocorrelacionados
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.1373 p-valor = 0.2168 (p > 0.05) Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Interpretação:	Inclinação = -0.050173 p-valor = 0.2212 (p > 0.05) IC95% = (-0.1491, 0.04) Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 176 p-valor = 0.1177 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.2267 p-valor = 0.1594 (p > 0.05) Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM:	



<p>Equação da reta: Coeficiente angular:</p> <p>R² da regressão:</p> <p>Interpretação:</p>	<p>– $y = 106.27 - 0.053x$ (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– -0.05 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.73 (valor de R² alto, bom ajuste, confirma tendência de redução ao longo de toda a série)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva abaixo de zero a partir de 1994: • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. • Período inicial (10 nos) com soma acima do valor de referência (linha zero). A transição para valores negativos marca o início da mudança estrutural.
<p>Changepoint: Análise de Mudança na Média:</p> <p>Análise de Mudança na Variância:</p> <p>Análise de Mudança na Média e na Variância:</p>	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1987, 1989, 1991, 2007, 2017</p> <p>Período 1984-1987: Média = 11.287 mm</p> <p>Período 1987-1989: Média = 16.937 mm</p> <p>Período 1989-1991: Média = 14.517 mm</p> <p>Período 1991-2007: Média = 8.952 mm</p> <p>Período 2007-2017: Média = 11.455 mm</p> <p>Período 2017-2023: Média = 9.06 mm</p> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <p>– Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 8.00 mm</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

Considerando-se somente os períodos secos da série da Estação Itabirito Linígrafo e considerando que os testes estatísticos não invalidam a análise por regressão linear (ver a seguir), embora não sejam conclusivos, os gráficos de regressão acima, das médias dos dias de chuva dos períodos secos, mostram um ligeira redução geral dos valores das médias aritméticas e um forte aumento das harmônicas das precipitações dos períodos secos de cada ano.

Pode-se destacar a maior redução das médias aritméticas de 2019 a 2023 e o comportamento similar com relação à média harmônica nesses anos, o que indica períodos secos cada vez mais secos (médias aritméticas) pontuados com dias de chuvas com valores mínimos maiores que os dos anos anteriores a 2019 (harmônicas).

Características Gerais da Série

Amplitude acentuada: Variação entre 4.63 mm e 21.18 mm

Distribuição assimétrica: Média (10.40 mm) > Mediana (9.66 mm), indicando presença de valores altos extremos

Alta variabilidade: Desvio padrão de 3.64 mm (35% da média) sugere forte variabilidade interanual (grande dispersão dos dados)

Regressão Linear:

Coeficiente angular: -0.0728 mm/ano (redução)

IC95% [-0.1724, 0.0267] inclui zero → não significativo

R² = 0.054 (explica apenas 5.4% da variabilidade)

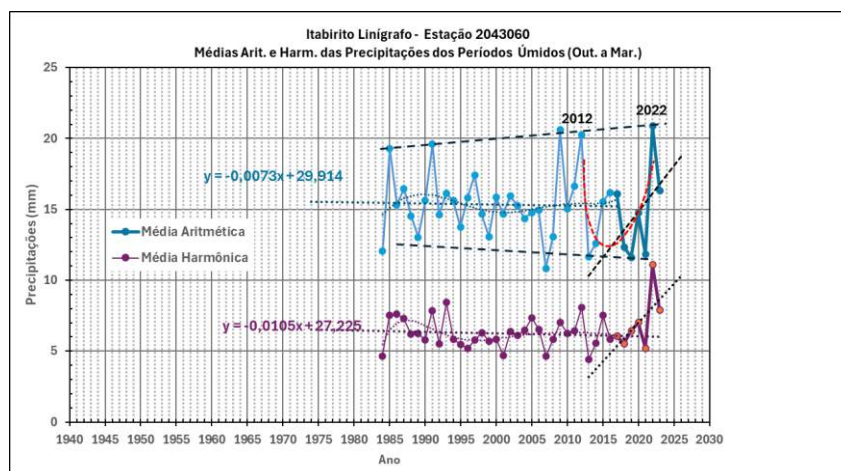
Testes de Pressupostos da Regressão:

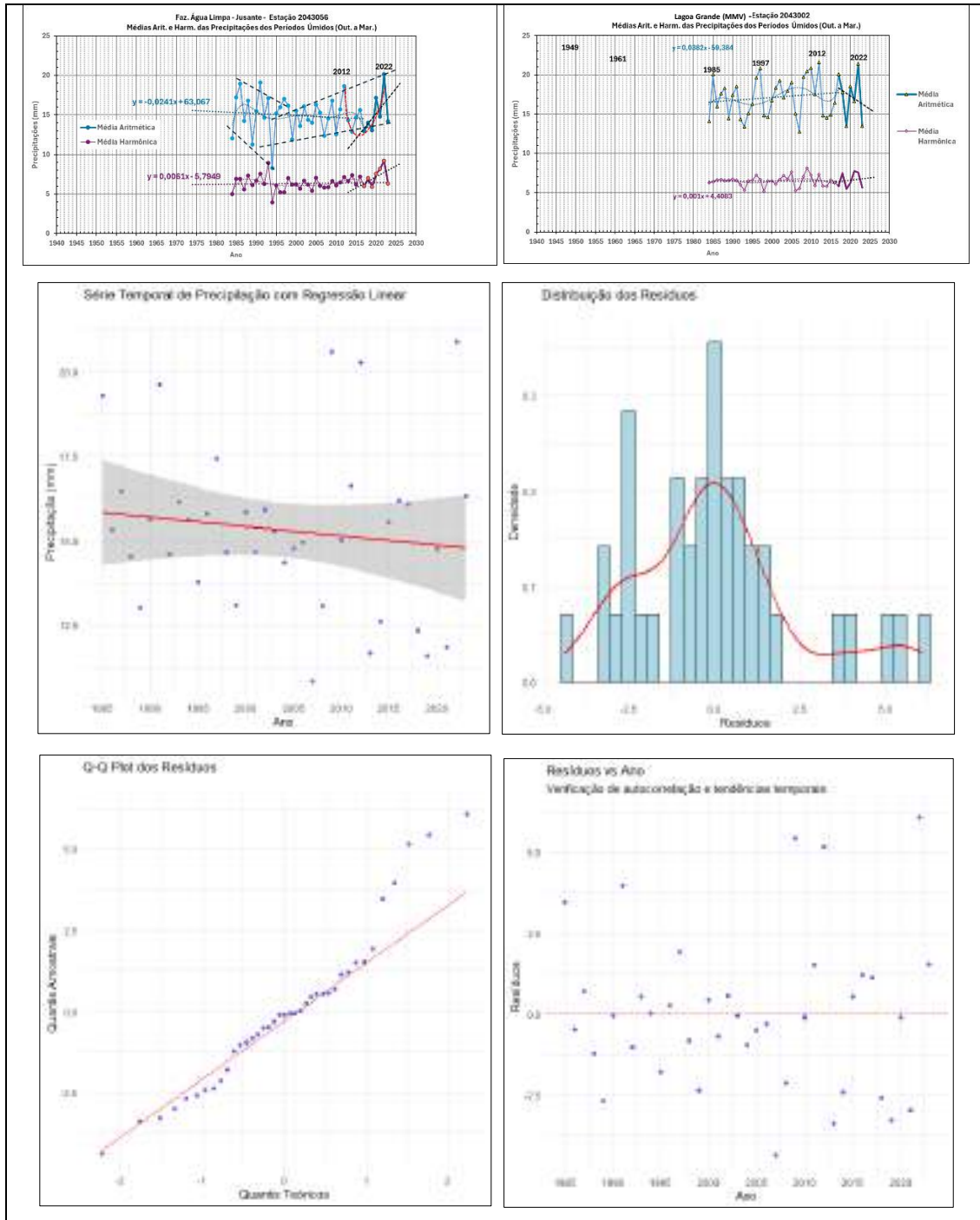
- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ($p = 0.27$) e White ($p = 0.219$): Ambos indicam homocedasticidade (variância constante) no limiar de 5%, o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Normalidade dos resíduos:** Shapiro-Wilk ($p = 0,0113$) e Anderson-Darling ($p = 0,0046$): resíduos **não** seguem distribuição normal, o que não cumpre um dos requisitos para a análise por regressão, mas Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,1283$) não rejeita a hipótese de normalidade dos resíduos. Conclusão: Evidência moderada contra normalidade
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson ($p=0.0271$): 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.

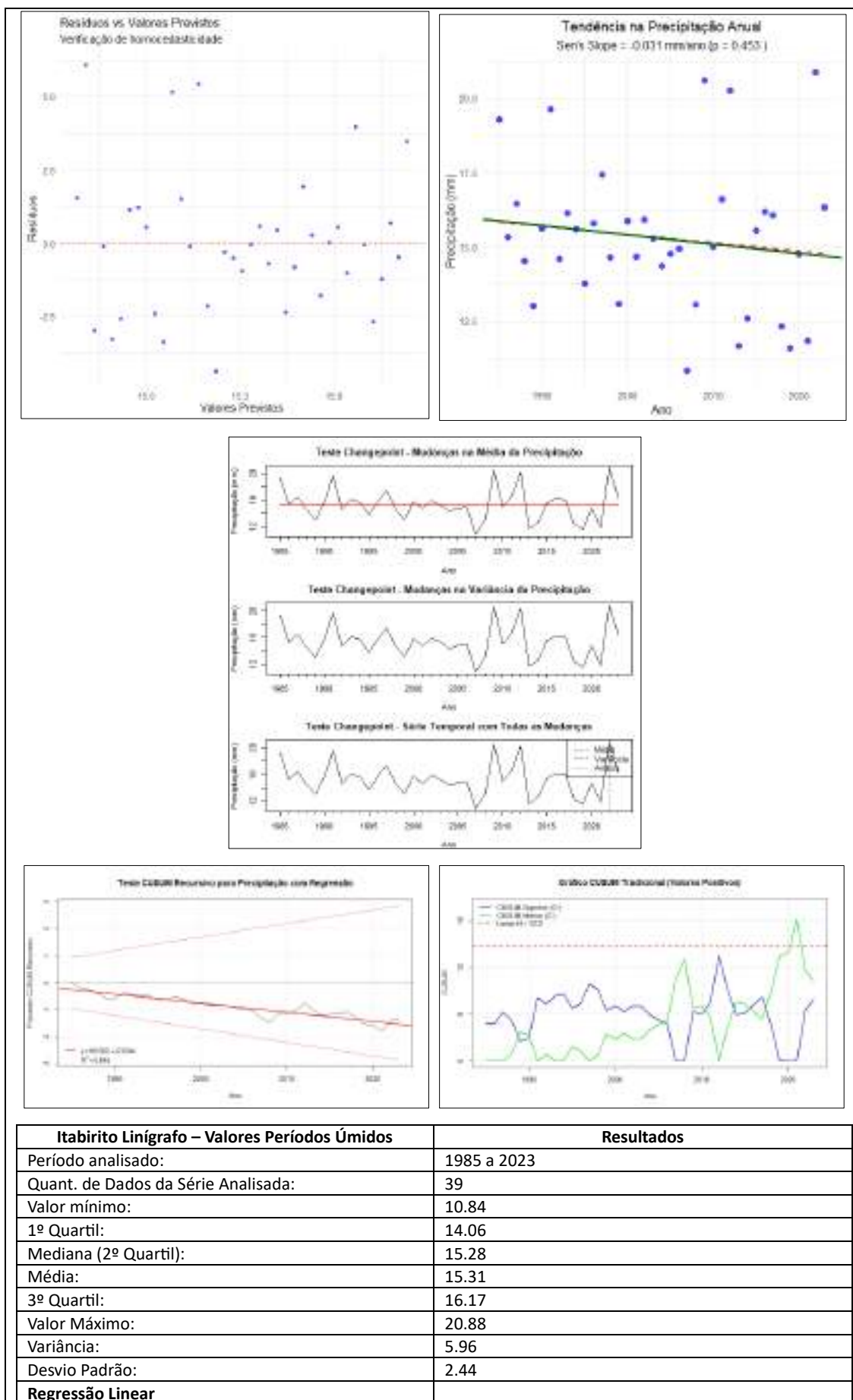
Testes Não-Paramétricos:

- Mann-Kendall ($p=0.2168$) e Spearman ($p=0.1594$): concordam quanto à ausência de tendência significativa
- Sen's Slope: Inclinação de -0.0502 mm/ano não significativa (IC95% inclui zero)
- Pettitt ($p = 0,1177$): Nenhum ponto de mudança significativo
- BFAST: Nenhuma mudança detectada
- CUSUM: Mostra tendência de redução sistemática das precipitações, enquanto outros testes não mostram significância estatística (coef. angular -0.053); R^2 alto (0.731) indica bom ajuste do modelo. Padrão de valores negativos predominante após 1994. Possível explicação: CUSUM é mais sensível a mudanças graduais persistentes. É o único teste que mostra padrão claro de redução.
- Changepoint: Detectou mudanças na média em 1987, 1989, 1991, 2007 e 2017: padrão oscilatório com alternância entre períodos mais úmidos e secos. Nenhuma mudança significativa na variância, sem padrão claro de mudança permanente. Pettitt e BFAST não identificaram nenhuma mudança, mas Changepoint identificou. Possível explicação: Changepoint pode estar detectando variações naturais como mudanças estruturais.

Períodos Úmidos







Itabirito Linígrafo – Valores Períodos Úmidos	Resultados
Período analisado:	1985 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	39
Valor mínimo:	10.84
1º Quartil:	14.06
Mediana (2º Quartil):	15.28
Média:	15.31
3º Quartil:	16.17
Valor Máximo:	20.88
Variância:	5.96
Desvio Padrão:	2.44
Regressão Linear	

Equação da reta: Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R ² do modelo: Interpretação:	Precipitação = $-2.78e-02 * \text{tempo} + 70.99$ -2.78e-02 4.31e-01 (-0.09849, 0.04292) 0.01685 Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com 0.02778 mm a menos na precipitação média dos dias de chuva, por ano da série (1,083 mm em 39 anos, 7,08% da média total da série de 15,31 mm/dia de chuva).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9456 p-valor = 5.86e-02 (p > 0,05) Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 0.7178 p-valor = 5.62e-02 (p > 0,05) Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1319 p-valor = 0.4664 (p > 0,05) Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 3.1159 p-valor = 7.75e-02 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 3.6712 p-valor = 5.54e-02 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 2.0264 p-valor = 4.64e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.08502 p-valor = 0.4533 (p > 0.05) Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Interpretação:	Inclinação = -0.03112 p-valor = 0.4532 (p > 0.05) IC95% = (-0.1127, 0.02647) Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 82 p-valor = 1 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.1186 p-valor = 0.472 (p > 0.05) Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Interpretação:	– $y = 66.56 - 0.03x$ (ver reta vermelha no gráfico) – -0.03 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.84 (valor de R ² alto, bom ajuste, confirma tendência de redução ao longo de toda a série) • Curva abaixo de zero em todo o período analisado: • • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.
Changepoint: Análise de Mudança na Média: Análise de Mudança na Variância: Mudança mais significativa detectada em:	Nenhuma mudança significativa na média detectada. Nenhuma mudança significativa na variância detectada. 2022 Nova média: 16.321 mm Nova variância: NA mm

Considerando-se apenas os períodos úmidos das séries e considerando que os testes estatísticos validam a análise por regressão linear (ver a seguir) e são conclusivos, os gráficos acima, com os valores das médias dos dias de chuva de cada ano, mostram ligeira redução das médias aritméticas das precipitações diárias nas áreas representadas pelas estações

Itabirito Linígrafo e Água Limpa e aumento dessas médias na Lagoa dos Ingleses. Os valores das médias harmônicas apresentam leve redução em Itabirito – Linígrafo e estabilidade em Água Limpa e 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.

É importante notar que o comportamento geral das médias aritméticas e das harmônicas da Fazenda Água Limpa e de Itabirito - Linígrafo é o inverso do comportamento das médias da Lagoa dos Ingleses. No período mais recente (a partir de 2017), Água Limpa e Itabirito - Linígrafo apresentam forte tendência de aumento o passo que na Lagoa dos Ingleses a tendência é de redução.

No gráfico de Itabirito - Linígrafo nota-se um período de maior variabilidade das médias de 1984 a 1991, um período de menor variação de 1992 a 2006 e, a partir de 2007, alternância de valores mais altos e mais baixos das médias, indicando aumento da variabilidade climática na área representada pela estação.

Características Gerais da Série

Amplitude moderada: Variação entre 10.84 mm e 20.88 mm;

Distribuição normal: Média (15.31 mm) \approx Mediana (15.28 mm), indicando simetria;

Variabilidade moderada: Desvio padrão de 2.44 mm (16% da média) sugere relativa estabilidade.

Regressão Linear:

Coefficiente angular: -0.0278 mm/ano (redução);

IC95% [-0.0985, 0.0429] inclui zero \rightarrow não significativo;

$R^2 = 0.0169$ (explica apenas 1.7% da variabilidade).

Testes de Pressupostos da Regressão:

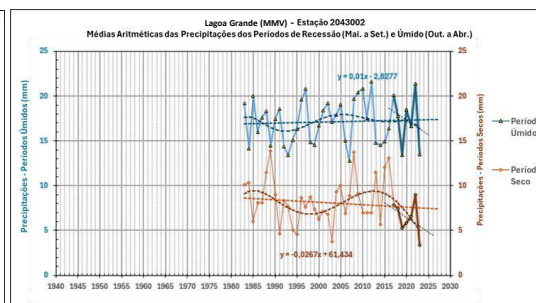
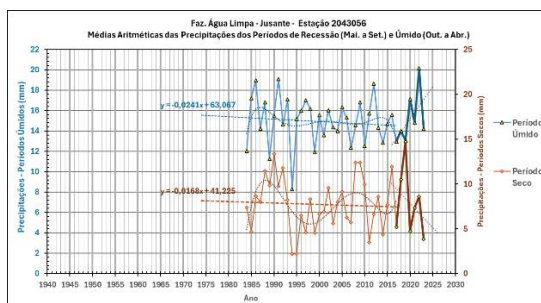
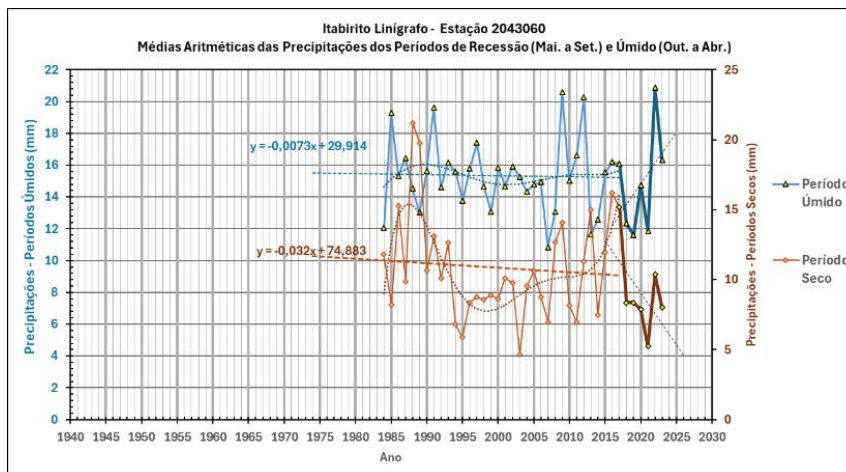
- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ($p = 0.0775$) e White ($p = 0.0554$): Ambos indicam homocedasticidade (variância constante) no limiar de 5%, o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Normalidade dos resíduos:** Shapiro-Wilk ($p = 0,0586$), Anderson-Darling ($p = 0,0562$) e Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,4664$): todos confirmam que os resíduos seguem distribuição normal, o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson ($p=0.464$): resíduos independentes (não correlacionados), o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.

Com os três requisitos atendidos, pode-se considerar a reta de regressão representativa da tendência de redução ao longo dos 39 anos da série analisada.

Testes Não-Paramétricos:

- Mann-Kendall ($p = 0.4533$) e Spearman ($p = 0.472$): concordam quanto à ausência de tendência significativa

- Sen's Slope: Inclinação de -0.0311 mm/ano não significativa (IC95% inclui zero)
- Pettitt ($p = 1$): Nenhum ponto de mudança significativo
- BFAST: Nenhuma mudança detectada
- CUSUM: Mostra tendência de redução sistemática das precipitações, enquanto outros testes não mostram significância estatística (coef. angular -0.03); R^2 alto (0.84) indica bom ajuste do modelo. Padrão de valores negativos em toda a série. Mesmo se real, a redução seria de apenas 1.08 mm em 39 anos (7.1% da média) Possível explicação: CUSUM é mais sensível a mudanças graduais persistentes. É o único teste que mostra padrão claro de redução.
- Changepoint: nenhuma mudança significativa na média ou variância. Único ponto destacado: 2022 identificado como possível mudança (média = 16.321 mm), mas sem suporte estatístico consistente. Possível relação com o evento extremo de chuva do dia 8 de janeiro de 2022.
- Estabilidade notável: Nenhum método robusto detectou mudanças estruturais.
- Tendência: tendência de redução detectada CUSUM, pela reta de regressão e pelo Sen's Slope, embora não corroborada por outros métodos, pode ser considerada real, pois **são atendidos os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e ausência de autocorrelação dos resíduos da regressão linear, o que indica robustez da análise estatística.**
- Contraste com Períodos Secos: comportamento distinto da série de períodos secos (mais estável, menos variável), o que sugere diferentes mecanismos climáticos atuando.





Para comparação, são incluídos nesses gráficos os valores das médias aritméticas dos períodos secos e dos períodos úmidos das três estações, evidenciando-se, assim, na Lagoa dos Ingleses a tendência geral de aumento e, em Água Limpa e Itabirito - Linígrafo, de redução dos valores médios de precipitação dos dias de chuva dos períodos úmidos, o que aponta para diferenças regionais que podem influenciar o comportamento das vazões medidas em Honório Bicalho.

No entanto, nas três estações a tendência geral é de redução dos valores médios de precipitação dos dias de chuva dos períodos secos.

4.11.3.3.1 Conclusões da Análise das Precipitações Médias dos Dias de Chuva – Gráficos de Regressão Linear

Com base na análise dos gráficos de Regressão Linear das médias anuais das precipitações dos dias de chuva nas estações Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV), podem ser tiradas as seguintes conclusões:

1. Tendências gerais contrastantes entre estações:

A análise por média aritmética revela tendências na magnitude das chuvas; a média harmônica destaca as variações nos valores mais baixos. Em geral, os períodos secos estão ficando mais secos (médias aritméticas), mas com eventos menos extremos nas chuvas fracas (médias harmônicas maiores).

Ao longo do período analisado, observa-se redução nas médias aritméticas anuais de precipitação dos dias de chuva em Itabirito Linígrafo, estabilidade em Água Limpa e aumento na Lagoa dos Ingleses. Com relação às médias harmônicas, registra-se aumento em Itabirito Linígrafo e Água Limpa (áreas baixas, vale), indicando maior representatividade das chuvas fracas no total anual, e redução na Lagoa dos Ingleses (áreas altas, Sinclinal Moeda), indicando aumento de chuvas fracas em relação ao total anual.

2. Influência de fatores geográficos:

As diferenças entre as estações, mesmo sendo próximas, podem ser explicadas por fatores como a altitude das áreas onde estão localizadas. Isso é relevante para a avaliação conjunta da precipitação e das vazões na bacia do Alto Velhas, especialmente em Honório Bicalho.

3. Ciclos climáticos e variações temporais:

A análise das retas de regressão evidencia o comportamento divergente entre as estações. Isso aponta para uma condição climática de menor pluviosidade geral, mas com eventos de chuvas intensas pontuais se tornando mais frequentes. O comportamento das médias (tanto aritméticas quanto harmônicas) em Água Limpa e em Itabirito Linígrafo é, em geral, distinto do comportamento da Lagoa Grande (MMV), especialmente nos períodos úmidos. Isso reforça as diferenças regionais significativas, que podem afetar a resposta hidrológica da bacia.

4. Análise por segmentos de tempo – Valores Anuais:

- 1983 a 2016: Redução das médias aritméticas em Água Limpa e Itabirito Linígrafo e aumento na Lagoa dos Ingleses; aumento das médias harmônicas em Água Limpa e Lagoa dos Ingleses e redução em Itabirito Linígrafo.
- 2017 a 2023: aumento bastante acentuado das médias aritméticas nas três estações e redução das harmônicas também nas três estações, indicando um cenário com aumento tanto de eventos de chuvas mais intensas quanto de eventos de chuvas mais fracas, ou seja, de grande variação da pluviosidade durante o ano.

5. Comportamento nos períodos secos:

Em Itabirito Linígrafo, tal como em Água Limpa, há uma leve redução nas médias aritméticas e um forte aumento das médias harmônicas nos períodos secos, sugerindo que os períodos secos estão se tornando mais severos, mas os poucos dias de chuva nesses períodos estão tendo valores mínimos maiores.

6. Comportamento nos períodos úmidos:

Até 2016, em Itabirito Linígrafo e Água Limpa houve redução das médias aritméticas e houve aumento delas na Lagoa dos Ingleses, sendo que as médias harmônicas permaneceram estáveis ou reduziram-se pouco nas três estações. A partir de 2017 registrou-se uma mudança nítida no comportamento das médias dos dias de chuva, com forte aumento das médias em Itabirito Linígrafo e Água Limpa e redução na Lagoa dos Ingleses. Adicionalmente, em Itabirito Linígrafo, de 1984 a 1991 ocorreu alta variabilidade das médias, de 1992 a 2006, menor variabilidade e de 2007 em diante, uma destacada alternância entre valores altos e baixos, o que denota aumento da variabilidade climática.

Tabela-Resumo da Análise da Série Histórica de 1984 a 2023 de Itabirito Linígrafo – Médias Aritméticas das Precipitações Diárias (mm/dia)

Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Período analisado	1984–2023	1984–2023	1985–2023
Quant, de Dados	40	40	39
Valor mínimo	11,29 mm/dia	4,63 mm/dia	10,84 mm/dia
Mediana	14,42 mm/dia	9,66 mm/dia	15,28 mm/dia
Média	14,75 mm/dia	10,40 mm/dia	15,31 mm/dia
Valor Máximo	18,44 mm/dia	21,18 mm/dia	20,88 mm/dia
Desvio Padrão	1,76 mm/dia	3,64 mm/dia	2,44 mm/dia
Regressão Linear – Coef, Angular	-0,0113 mm/dia/ano	-0,07284 mm/dia/ano	-0,02778 mm/dia/ano
Alteração em 41 anos	-0,452 mm/dia	-2,91 mm/dia	-1,08 mm/dia
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(-3,06%)	(-28,01%)	(-7,08%)
Pressupostos da Regressão	Resíduos normais	Resíduos não normais	Resíduos normais
Teste Anderson-Darling	Resíduos normais	Resíduos não normais	Resíduos normais
Kolmogorov-Smirnov	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada
Breusch-Pagan	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
White	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
Durbin-Watson	Resíduos autocorrelacionados	Resíduos autocorrelacionados	Resíduos independentes
Mann-Kendall	Sem tendência significativa	Sem tendência significativa	Sem tendência significativa
Sen's Slope	(-0,01462) mm/dia/ano Sem inclinação significativa (IC inclui zero)	(-0,050173) mm/dia/ano Sem inclinação significativa (IC inclui zero)	(-0,03112) mm/dia/ano Sem inclinação significativa (IC inclui zero)
Alteração em 40 anos pelo Sen's Slope	(-0,585 mm/dia)	(-2,00 mm/dia)	(-1,21 mm/dia)
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(-3,97%)	(-19,00%)	(-7,93%)



Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Teste de Pettitt	Nenhum ponto de mudança significativo detectado.	Nenhum ponto de mudança significativo detectado.	Nenhum ponto de mudança significativo detectado.
Spearman	Sem correlação significativa	Sem correlação significativa	Sem correlação significativa
BFAST	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo	Curva predominantemente abaixo de zero; início da mudança estrutural após 3–4 anos	Curva abaixo de zero a partir de 1994; flutuações pequenas	Curva abaixo de zero em todo o período analisado; flutuações pequenas
CUSUM Recursivo – Coef, angular	(-0,0400)	(-0.050173)	(-0,0303)
CUSUM Tradicional – Tendência de AUMENTO	Não detectada	Detectada	Não detectada
CUSUM Tradicional – Tendência de DIMINUIÇÃO	Detectada após 2017	Detectada	Detectada após 2017
Changepoint – Mudança de Média	2017, 2020; médias: 1984–2017 = 14,73 mm/dia, 2017–2020 = 12,918 mm/dia, 2020–2023 = 16,37 mm/dia	1987, 1989, 1991, 2007, 2017; médias variando de 8,952 a 16,937 mm/dia	Nenhuma mudança significativa
Changepoint – Mudança de Variância	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa
Changepoint – Média + Variância	Mudança combinada mais significativa em 2022 (nova média = 17,123 mm/dia)	Mudança combinada mais significativa em 2022 (nova média = 8,00 mm/dia)	Mudança mais significativa em 2022 (nova média = 16,321 mm/dia)

4.11.3.3.2 Tabela Comparativa das Três Estações - Análise por Regressão Linear das Médias Aritméticas e das Harmônicas das Precipitações dos Dias de Chuva

Aspecto	Lagoa dos Ingleses	Fazenda Água Limpa – Jusante	Itabirito - Linígrafo
Tendência geral das médias aritméticas anuais das precipitações	Ligeiro aumento	Ligeiro aumento	Redução
Tendência geral das médias harmônicas anuais das precipitações	Redução (valores mínimos mais frequentes)	Aumento (valores mínimos menos frequentes)	Aumento (valores mínimos menos frequentes)
1983 a 2016	Aumento das médias aritméticas Aumento das harmônicas	Redução das médias aritméticas Aumento das harmônicas	Redução das médias aritméticas Redução das harmônicas
2017 a 2023	Aumento acentuado das médias aritméticas Redução das harmônicas (grande variação intra-anual)	Aumento acentuado das médias aritméticas Redução das harmônicas (grande variação intra-anual)	Aumento acentuado das médias aritméticas Redução das harmônicas (grande variação intra-anual)
Períodos secos – tendência aritmética	Redução	Redução (mais intensa após 2019)	Redução (mais intensa após 2019)
Períodos secos – tendência harmônica	Redução	Forte aumento (eventos fracos menos frequentes)	Forte aumento (eventos fracos menos frequentes)

Aspecto	Lagoa dos Ingleses	Fazenda Água Limpa – Jusante	Itabirito - Linígrafo
Períodos úmidos – tendência aritmética	Aumento	Redução até 2017, aumento após 2017	Redução até 2017, aumento após 2017
Períodos úmidos – tendência harmônica	Aumento (após 2017)	Estabilidade até 2017, aumento após 2017	Leve redução
Relação entre estações	Tendência geralmente oposta à de Água Limpa e Itabirito Linígrafo	Tendência geralmente oposta à da Lagoa dos Ingleses	Comportamento intermediário e variável, oscilando entre os padrões das outras duas estações
Conclusão climática	Mais eventos de chuvas fracas e variação intra-anual acentuada	Tendência recente a aumento de chuvas intensas e secas mais severas	Aumento da variabilidade climática com alternância de extremos de precipitação

4.11.3.3.3 Conclusões dos Testes Estatísticos – Médias das Precipitações dos Dias de Chuva – Estação Itabirito Linígrafo

Valores Anuais (Série Completa):

Com base nos resultados estatísticos da série anual de precipitação da estação Itabirito Linígrafo (1984–2023), conclui-se que, apesar de a regressão linear indicar uma leve redução na precipitação média ao longo do tempo (cerca de 0,0113 mm por ano), essa tendência não é estatisticamente significativa, conforme indicado pelo alto p-valor (0,644) e pelo intervalo de confiança que inclui zero. Os resíduos da regressão atendem aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, mas apresentam autocorrelação, o que pode afetar a validade do modelo linear simples. Os testes de Mann-Kendall, Sen's Slope, Pettitt e Spearman corroboram a ausência de tendência ou mudança significativa na série. A análise CUSUM sugere uma tendência acumulada de redução ao longo do tempo, embora sem flutuações estatisticamente relevantes. Já a análise de mudança estrutural (Changepoint) detectou alterações na média em 2017, 2020 e 2022, sugerindo possíveis mudanças em padrões pluviométricos, embora não tenha havido variações significativas na variância. Esses resultados, em conjunto, indicam uma série relativamente estável, com flutuações naturais ao longo das décadas e sinais fracos de mudanças estruturais recentes.

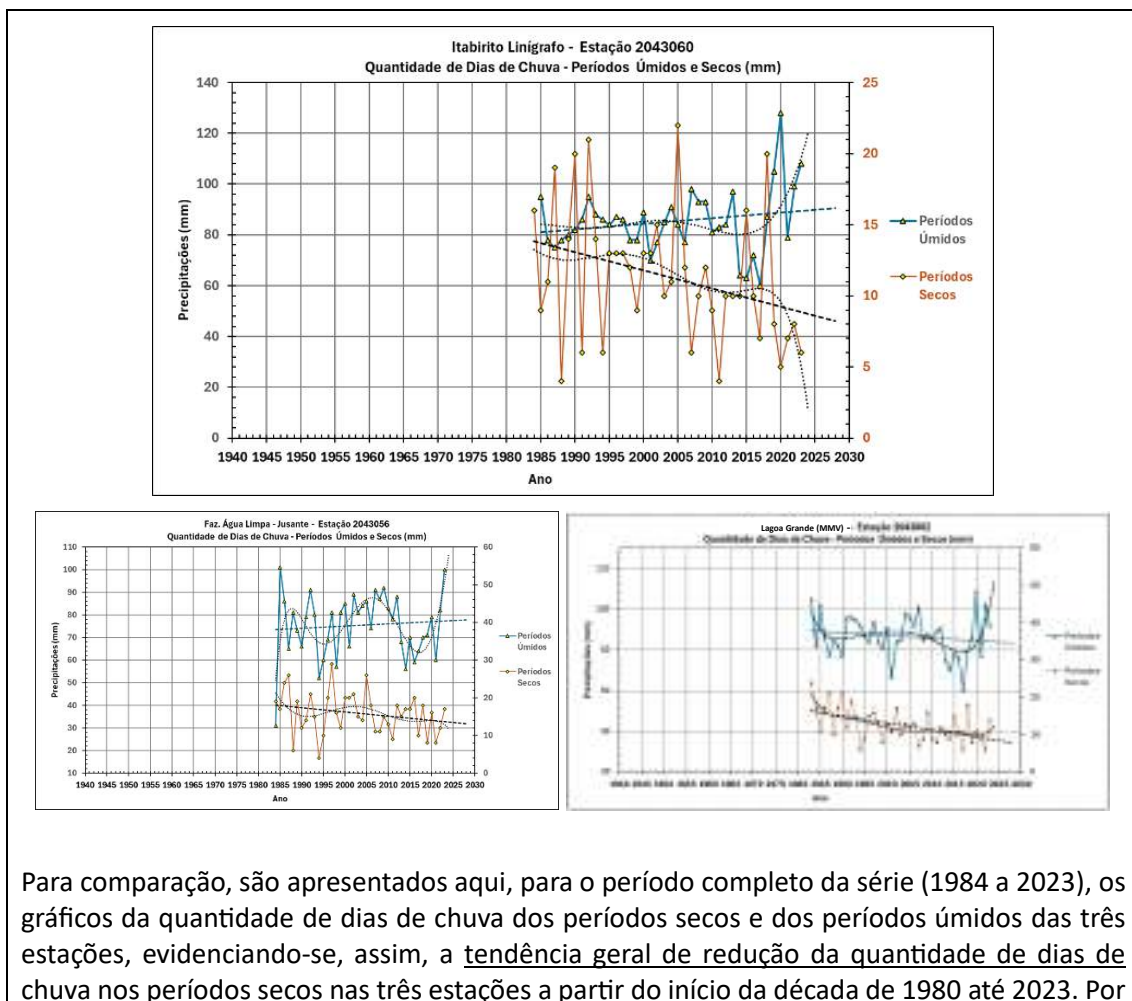
Períodos Secos

A análise estatística da série de precipitação nos períodos secos (recessão) em Itabirito Linígrafo entre 1984 e 2023 revela uma tendência geral de redução nos volumes médios de precipitação ao longo do tempo, estimada em cerca de 0,073 mm por ano (2,91 mm em 40 anos), o que representa aproximadamente 28% da média histórica da série. Apesar disso, essa tendência não é estatisticamente muito significativa, conforme indicado pelo p-valor elevado da regressão linear (0,147) e pelos resultados dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope. O modelo de regressão apresenta resíduos com variância constante e ausência de heterocedasticidade, mas os testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Anderson-Darling) rejeitam a hipótese de normalidade dos resíduos, e há presença de autocorrelação ($p < 0,05$ no teste de Durbin-Watson), comprometendo parcialmente a validade do modelo. A análise CUSUM mostra uma redução acumulada e sistemática a partir de 1994, ainda que com pouca significância estatística nas flutuações. A detecção de pontos de mudança estrutural (Changepoint) identificou diversas alterações na média da precipitação em anos específicos (1987, 1989, 1991, 2007, 2017), com destaque para quedas abruptas entre 1989 e 1991 e de 2017 em diante, reforçando indícios de variabilidade climática e possíveis influências antrópicas na dinâmica hidrológica local. Não foram observadas mudanças significativas na variância da série.

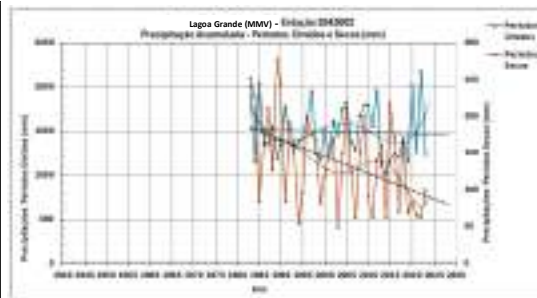
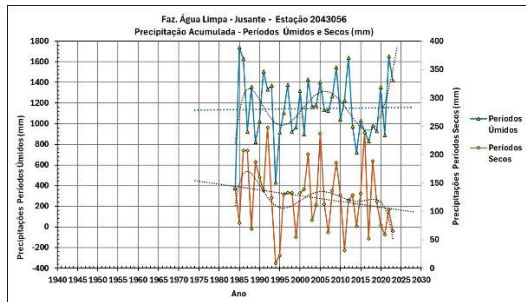
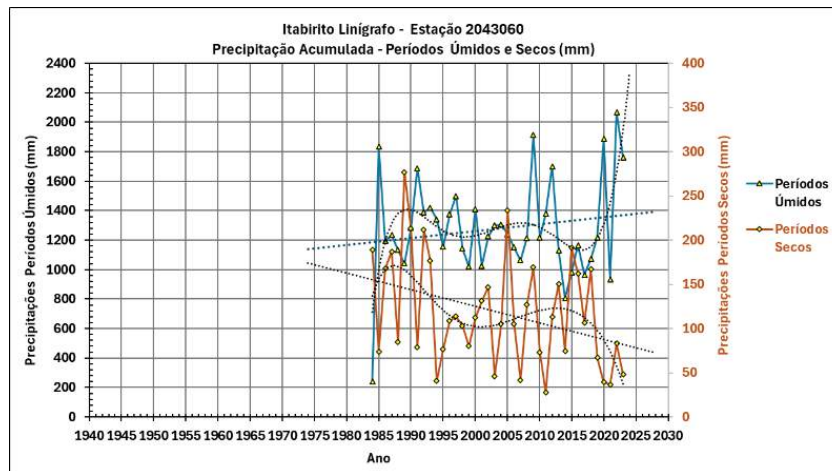
Períodos Úmidos

A análise da série de precipitação nos períodos úmidos em Itabirito – Linígrafo, entre 1985 e 2023, indica uma leve tendência de redução nos valores médios diários de chuva ao longo dos anos, estimada em 0,028 mm/ano (redução total de 1,08 mm em 39 anos, ou 7,1% da média da série), embora essa tendência não seja estatisticamente significativa segundo os testes de regressão, Mann-Kendall, Sen’s Slope e Spearman (todos com $p > 0,05$). Diferente dos períodos secos, os pressupostos da regressão linear foram plenamente atendidos: os resíduos seguem distribuição normal, apresentam variância constante e não são autocorrelacionados, conferindo robustez ao modelo. O teste CUSUM, embora nos demais testes de mudança indiquem resultados não significativos, indica uma tendência acumulada e persistente de redução na série, pois o método é mais sensível a variações graduais. Nenhuma mudança estrutural significativa foi identificada pelos testes de Changepoint ou BFAST, exceto um ponto isolado em 2022, possivelmente relacionado a evento extremo. De modo geral, a série apresenta comportamento estável, distribuição aproximadamente simétrica (média \approx mediana) e variação moderada (desvio padrão = 2,44 mm). A maior estabilidade e menor variabilidade da série, em contraste com os períodos secos, indicam a atuação de mecanismos climáticos distintos nos regimes sazonais da bacia, sendo relevante considerar as diferenças entre estações da região, especialmente frente a variações altimétricas e efeitos locais.

4.11.3.4 Quantidade de Dias de Chuva e Precipitação Acumulada

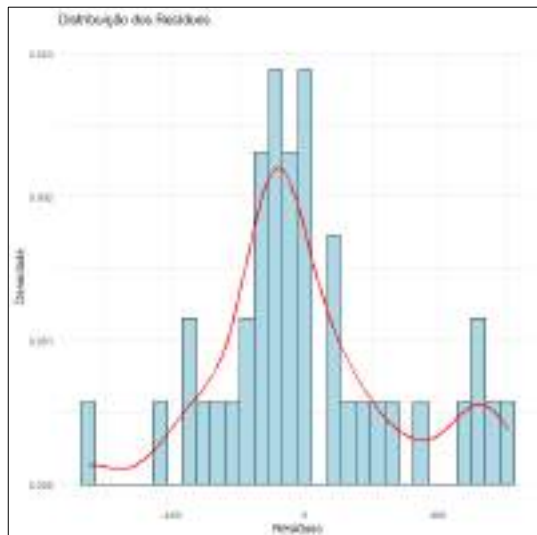
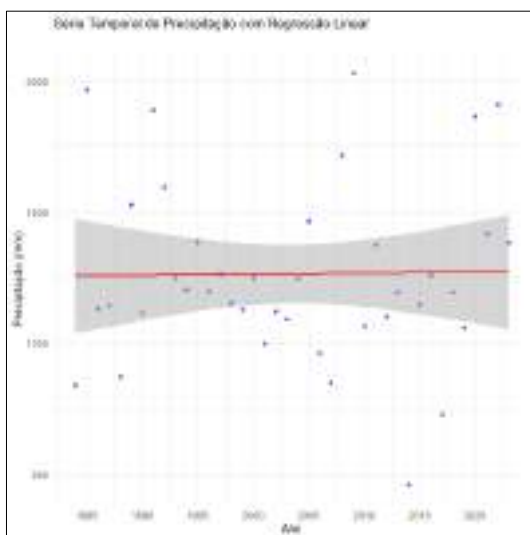
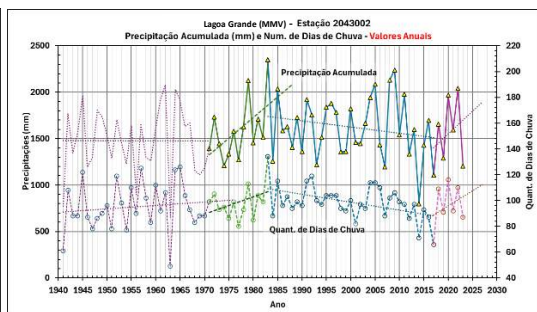
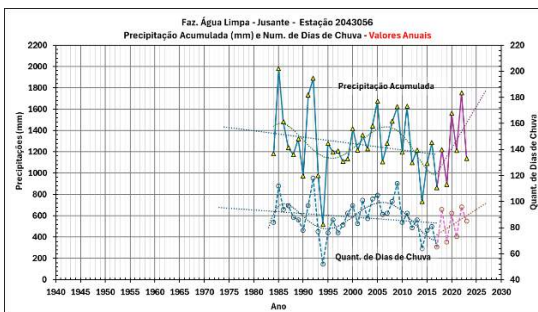
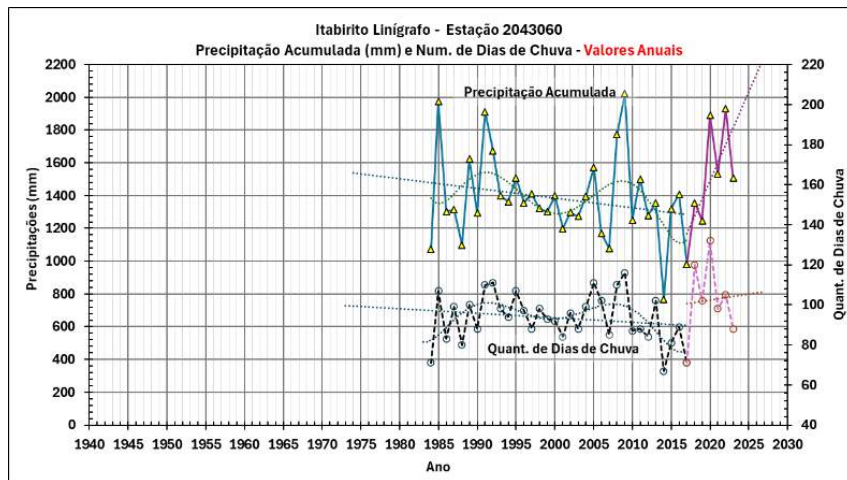
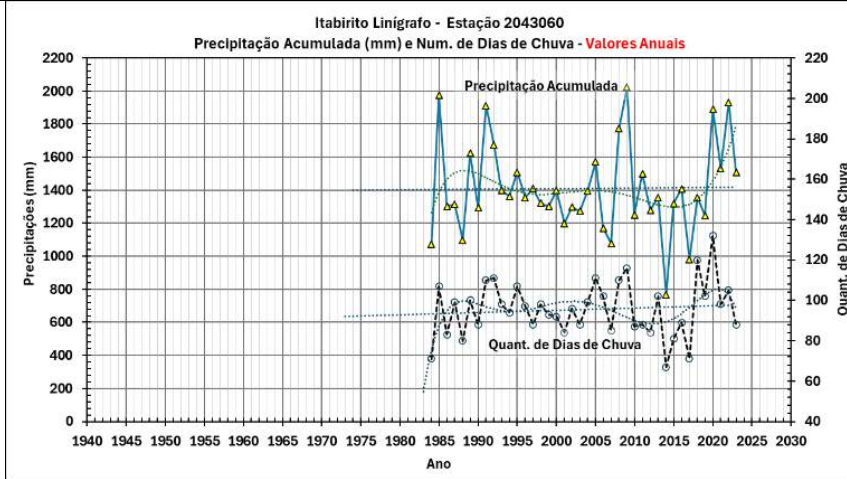


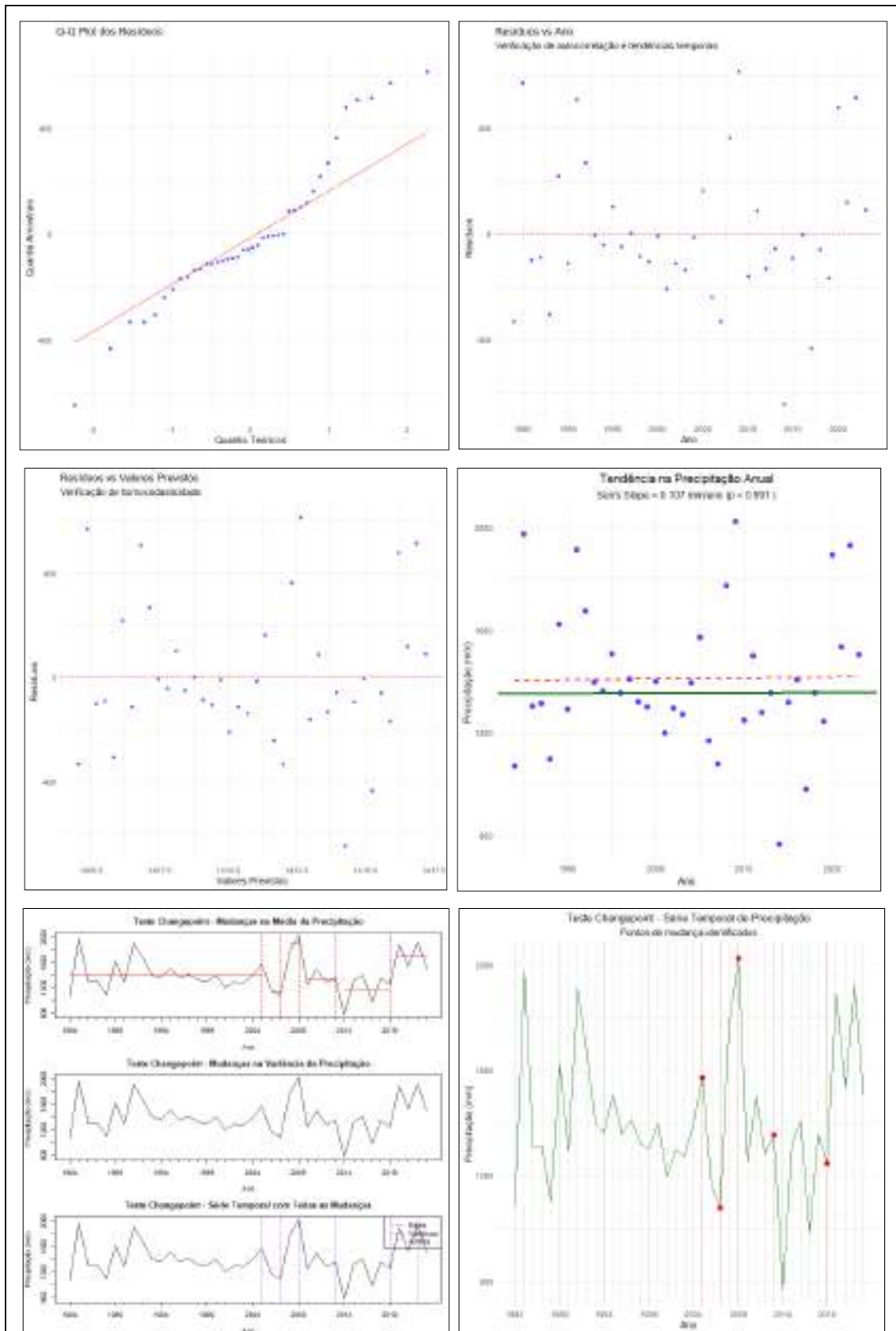
outro lado, no mesmo período, a quantidade de dias de chuva nos períodos úmidos aumentou em Água Limpa e Itabirito Linígrafo e se reduziu na Lagoa dos Ingleses.

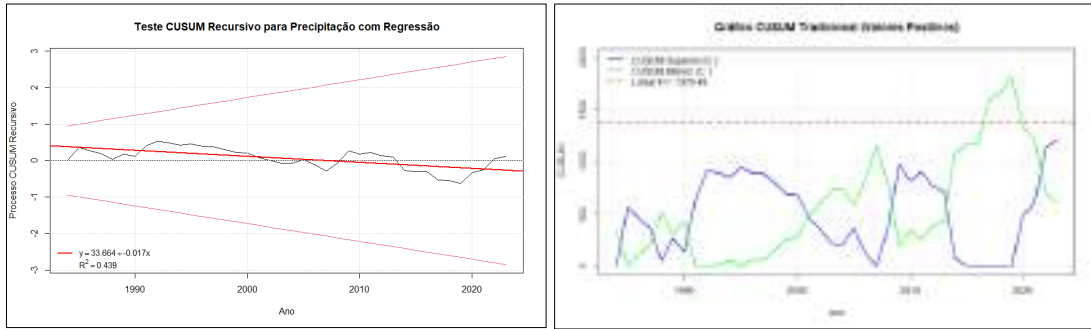


Para comparação, são apresentados aqui, para o período completo da série (1984 a 2023), os gráficos dos valores de precipitação acumulada dos períodos secos e dos períodos úmidos das três estações. De forma similar ao que ocorre com relação à quantidade de dias de chuva, destaca-se a tendência geral de redução da precipitação acumulada nos períodos secos nas três estações a partir do início da década de 1980, sendo essa redução mais acentuada na Lagoa dos Ingleses e em Itabirito Linígrafo. Por outro lado, no mesmo período, a precipitação acumulada nos períodos úmidos de forma geral aumentou levemente em Água Limpa e Itabirito Linígrafo e reduziu-se levemente na Lagoa dos Ingleses.

Anos Cívicos







Itabirito Linígrafo – Valores Anuais (Série Completa)	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	768.10 (em 2014)
1º Quartil:	1278.73
Mediana (2º Quartil):	1356.35
Média:	1410.87
3º Quartil:	1514.62
Valor Máximo:	2023.10 (em 2009)
Variância:	75789.44
Desvio Padrão:	275.30
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = 3.25e-01 * tempo + 760.3
Coefficiente angular (variação por ano):	3.25e-01
p-valor do coeficiente angular:	9.33e-01
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-7.408, 8.057)
R ² do modelo:	0.0001901
Interpretação:	Interpretação: Há evidências de aumento na precipitação anual (valores acumulados) ao longo do tempo, com 0.3247 mm por ano da série (13,0 mm em 40 anos, 0,91% da média total da série, que tem valor 1419,56 mm).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	W = 0.9431 p-valor = 4.41e-02 (p ≤ 0.05)
Interpretação:	Os resíduos NÃO seguem uma distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	A = 1.0591 p-valor = 7.81e-03 (p ≤ 0.05)
Interpretação:	Os resíduos NÃO seguem uma distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos:	D = 0.1742 p-valor = 0.1564 (p > 0,05)
Interpretação:	Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade:	LM = 0.3838 p-valor = 5.36e-01
Interpretação:	Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade:	Chisq = 0.4282 p-valor = 5.13e-01
Interpretação:	Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação:	DW = 1.918 p-valor = 3.33e-01
Interpretação:	Resíduos independentes (não autocorrelacionados).
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall:	tau = 0.002564 p-valor = 0.9907 (p > 0.05)
Interpretação:	Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope:	Inclinação = 0.1071 IC95% = (-6.953, 7.375), p = 0.990704
Intervalo de Confiança 95%:	
Interpretação:	Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto:	U = 104 p-valor = 0.7437
Interpretação:	Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman:	rho = 0.03039 p-valor = 0.8523 (p > 0.05)
Interpretação:	Não há correlação significativa com o tempo



BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
<p>CUSUM:</p> <p>Equação da reta:</p> <p>Coefficiente angular:</p> <p>R² da regressão:</p> <p>Interpretação:</p>	<p>– $y = 33.66 - 0.02x$ (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– -0.02 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.44 (valor de R2 pequeno, ajuste parcial, pouca evidência tendência de redução ao longo de toda a série)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva abaixo de zero entre 2002 e 2008 e entre 2014 e 2021: • • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. • As oscilações acima e abaixo de zero ao longo dos 40 sugerem estabilidade a longo prazo e reta de regressão, com coeficiente negativo, sugere uma leve redução das precipitações acumuladas ao longo dos 40 anos da série. • Resultado não conclusivo.
<p>Changepoint:</p> <p>Análise de Mudança na Média:</p> <p>Análise de Mudança na Variância:</p> <p>Análise de Mudança na Média e na Variância:</p>	<p>– Mudanças detectadas nos anos: 2005, 2007, 2009, 2013, 2019</p> <p>– Período 1984-2005: Média = 1411.891 mm</p> <p>– Período 2005-2007: Média = 1273.9 mm</p> <p>– Período 2007-2009: Média = 1625.033 mm</p> <p>– Período 2009-2013: Média = 1481.96 mm</p> <p>– Período 2013-2019: Média = 1204.957 mm</p> <p>– Período 2019-2023: Média = 1621.66 mm</p> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <p>Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 1506.8 mm</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

O gráfico da série completa dos 40 anos da Estação Itabirito Linígrafo mostra estabilidade para os valores de precipitação acumulada (ou um aumento bem pequeno) e um aumento pequeno da quantidade de dias de chuva.

Para evidenciar comportamentos mais recentes, apresenta-se também uma análise dos valores anuais de dois segmentos da série: 1984 a 2017 e 2017 a 2024. Os gráficos das três estações incorporam tanto os valores anuais de precipitação acumulada quanto a quantidade de dias de chuva de cada ano completo e ambas as variáveis, em geral, apresentam tendências semelhantes: tanto as tendências de crescimento quanto as de redução dos valores anuais das três estações, sejam da série completa ou de segmentos dessa série, estão correlacionadas, de forma que o aumento das precipitações é acompanhado do aumento dos dias de chuva, o mesmo ocorrendo com a redução, embora esses aumentos e reduções não ocorram em proporções semelhantes, ou seja, o aumento das precipitações pode ser mais acentuado que o da quantidade de dias de chuva, resultando em aumento da média diária.

No período de 1984 a 2017 tanto os valores anuais de precipitação acumulada quanto os de quantidade de dias de chuva apresentaram tendência de declínio. No período de 2017 a 2023 houve acentuada tendência de aumento dos valores de ambas as variáveis.

Características Gerais da Série

A série possui ampla variação interanual, com precipitações variando de 768,10 mm (mínimo, 2014) a 2023,10 mm (máximo, 2009).

A média da série é 1410,87 mm, e a mediana é 1356,35 mm, próximas entre si, o que indica distribuição relativamente simétrica, embora o valor máximo mais distante da média indique leve assimetria à direita.

O desvio padrão elevado (275,30 mm) e a variância alta (75.789,44) reforçam a alta variabilidade interanual, típica de regiões com acentuada alternância de anos secos e chuvosos.

Regressão Linear:

O coeficiente angular (0,3247 mm/ano) sugere um leve aumento, que, ao longo de 40 anos, representa 13 mm a mais, ou 0,91% da média da série.

O p-valor do coeficiente angular (0,933) é muito superior ao nível usual de significância (0,05), o que indica ausência de significância estatística da inclinação observada

IC95% [-7,408; 8,057] inclui zero, o que reforça a inexistência de evidência estatística de tendência crescente ou decrescente

$R^2 = 0,00019$, muito próximo de zero, mostra que praticamente nenhuma variação na precipitação é explicada pela passagem do tempo, ou seja, não há tendência clara, o que também indica baixa capacidade preditiva do modelo.

Testes de Pressupostos da Regressão:

- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ($p = 0.3838$) e White ($p = 0.4282$): 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 ($p = 0,0441$) e Anderson-Darling ($p = 0,00781$): resíduos NÃO seguem distribuição normal, o que não atende a um dos requisitos para a análise por regressão. O teste Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,1564$), por outro lado, não rejeita a normalidade. Esses resultados contraditórios limitam a confiabilidade dos testes paramétricos aplicados à regressão.
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson ($p = 0.333$): Não há autocorrelação significativa entre os resíduos (valores próximos no tempo NÃO são correlacionados): cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.

Testes Não-Paramétricos:

- Mann-Kendall ($p = 0.9907$) e Spearman ($p = 0.8523$): concordam quanto à ausência de tendência significativa.
- Sen's Slope: Inclinação de 0,1071 mm/ano e $p = 0.990704$ não significativa (IC95% inclui zero).
- Pettitt ($p = 0.7437$): Nenhum ponto de mudança significativo.
- BFAST: Nenhum ponto de mudança detectado.
- CUSUM: Sugere possível tendência negativa, com reta de inclinação $-0,02$ mm/ano, embora com baixo R^2 (0,44), ou seja, evidência fraca de tendência de queda. O gráfico resultante do processo aponta para possíveis períodos secos mais prolongados (ex. 2002–2008 e 2014–2021), mas sem rompimento estatístico das bandas de confiança.
- Changepoint: A análise de Changepoint indica mudanças sucessivas de média em seis momentos: 2005, 2007, 2009, 2013, 2019 e 2022. A média mais baixa foi registrada no período 2013–2019 (1204,96 mm), sugerindo um ciclo mais seco. A partir de 2019

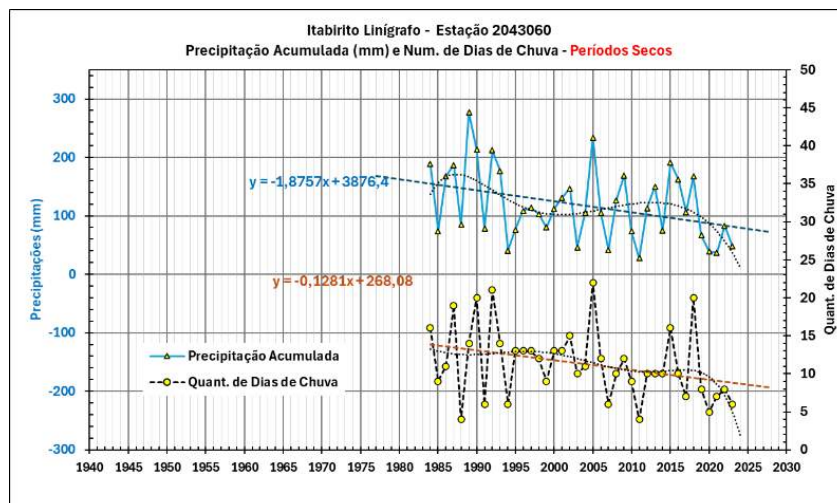
até 2023, a média aumenta novamente (1621,66 mm), indicando possível retorno a anos mais úmidos.

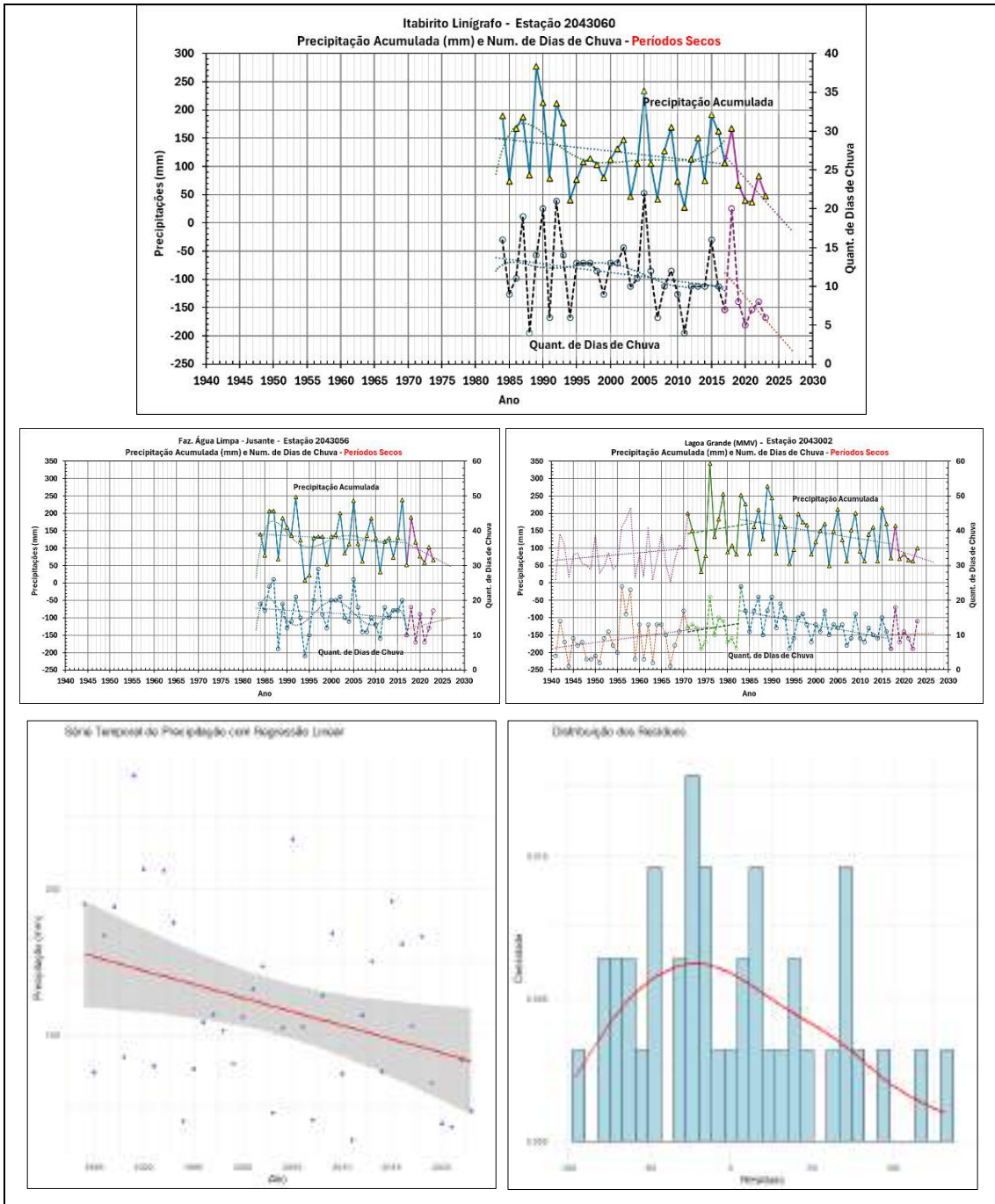
- Não foram identificadas mudanças significativas na variância, indicando que, embora a média flutue ao longo do tempo, a dispersão dos dados permanece relativamente estável.

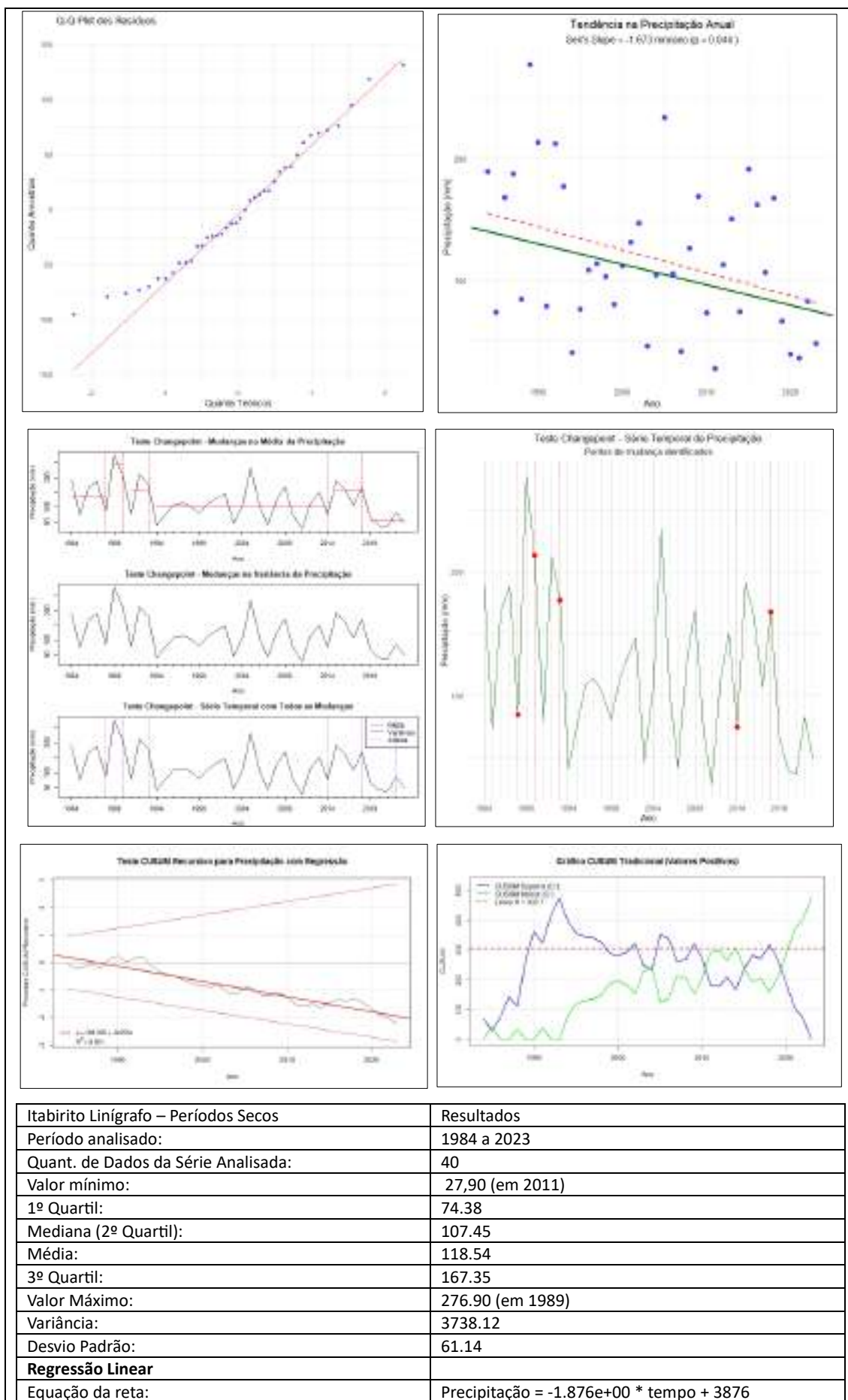
Conclusões Principais

- Não há evidência estatística robusta de tendência de aumento ou redução da precipitação anual acumulada.
- O comportamento da série é marcado por forte variabilidade interanual e mudanças cíclicas na média, com alternância entre anos secos e úmidos.
- O cenário recente (2019–2023) sugere um retorno a anos mais chuvosos após uma sequência de períodos secos (2013–2019).
- O ano mais seco da série (2014) ocorreu apenas 5 anos depois do mais chuvoso (2009), sendo que os anos 2020 e 2022 voltaram a ter altos valores de precipitação, o que indica um aumento expressivo da variabilidade climática no período mais recente da série.
- Os pressupostos da regressão linear não são plenamente atendidos, o que limita a interpretação dos modelos lineares simples.
- Para fins de gerenciamento de recursos hídricos, é essencial considerar:
 - A alta variabilidade interanual e possíveis mudanças cíclicas, que exigem estratégias de resiliência hídrica.
 - A ausência de tendência significativa não descarta a ocorrência de anos extremamente secos ou úmidos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e modelagem climática complementar.

Períodos Secos







<p>Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R² do modelo: Interpretação:</p>	<p>1.876 2.31e-02 (-3.479, -0.2724) 0.1286 Interpretação: Há evidências de redução na precipitação anual (valores acumulados) ao longo do tempo, com 1.876 mm por ano da série (74,0 mm em 40 anos, 63,3% da média total da série, que tem valor 118,54 mm).</p>
Testes de Pressupostos da Regressão:	
<p>Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:</p>	<p>0.9697 p-valor = 3.51e-01 (p > 0.05) Os resíduos seguem uma distribuição normal</p>
<p>Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:</p>	<p>A = 0.3399 p-valor = 4.81e-01 (p > 0.05) Os resíduos seguem uma distribuição normal</p>
<p>Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:</p>	<p>D = 0.08874 p-valor = 0.8835 (p > 0,05) Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos</p>
<p>Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:</p>	<p>LM = 1.2792 p-valor = 2.58e-01 (p > 0,05) Variância constante (homocedasticidade)</p>
<p>Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:</p>	<p>Chisq = 0.8979 p-valor = 3.43e-01 (p > 0,05) Variância constante (homocedasticidade)</p>
<p>Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:</p>	<p>DW = 2.0031 p-valor = 4.36e-01 (p > 0,05) Resíduos independentes (não autocorrelacionados).</p>
Testes de tendências e mudanças	
<p>Mann-Kendall: Interpretação:</p>	<p>tau = -0.2231 p-valor = 0.04384 (p < 0.05) Há tendência estatisticamente significativa de redução na precipitação.</p>
<p>Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:</p>	<p>Inclinação = -1.6727 IC95% = (-3.363, -0.04667) 0.04383879 (p < 0.05) Há redução estatisticamente significativa na precipitação (IC95% não inclui zero).</p>
<p>Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:</p>	<p>U = 164 p-valor = 0.1709 Nenhum ponto de mudança significativo detectado.</p>
<p>Teste de Spearman: Interpretação:</p>	<p>rho = -0.3516 p-valor = 0.0261 (p < 0.05) Correlação negativa significativa com o tempo</p>
<p>BFAST:</p>	<p>Nenhuma mudança estrutural detectada</p>
<p>CUSUM: Equação da reta: Coeficiente angular: R² da regressão: Interpretação:</p>	<p>– $y = 109.33 - 0.06x$ (ver reta vermelha no gráfico) – -0,06 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.90 (valor de R2 bem alto, bom ajuste, forte evidência tendência de redução ao longo de toda a série). <ul style="list-style-type: none"> • Curva abaixo de zero a partir de 1994: . • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. • Resultado não conclusivo: nítida redução da precipitação acumulada dos períodos secos da série, ou seja, secas cada vez mais severas. </p>
<p>Changepoint: Análise de Mudança na Média: Análise de Mudança na Variância: Análise de Mudança na Média e na Variância:</p>	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1988, 1990, 1993, 2014, 2018 – Período 1984-1988: Média = 140.6 mm – Período 1988-1990: Média = 191.533 mm – Período 1990-1993: Média = 170.175 mm – Período 1993-2014: Média = 107.141 mm – Período 2014-2018: Média = 140.28 mm – Período 2018-2023: Média = 73.533 mm Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p>



Mudança mais significativa detectada em: 2022 – Nova média: 48 mm – Nova variância: NA mm

O gráfico dos períodos secos dos 40 anos da Estação Itabirito Linígrafo mostra nítida e persistente redução dos valores de precipitação acumulada e da quantidade de dias de chuva.

Para evidenciar comportamentos mais recentes, apresenta-se também uma análise dos valores dos períodos secos de dois segmentos da série: 1984 a 2017 e 2017 a 2024. Os gráficos das três estações incorporam tanto os valores anuais de precipitação acumulada quanto a quantidade de dias de chuva dos períodos secos de cada ano.

No período de 1984 a 2017, as duas variáveis apresentam tendência geral de redução, o que indica um agravamento contínuo da severidade das secas. No período de 2017 a 2023 as precipitações dos períodos secos também se reduziram, nas três estações, enquanto a quantidade de dias de chuva se manteve relativamente estável na Lagoa dos Ingleses, aumentou um pouco em Água Limpa e se reduziu em Itabirito Linígrafo.

A oscilações dos valores estão bem correlacionadas na Lagoa dos Ingleses e Itabirito Linígrafo (mas não em Água Limpa) de forma que o aumento das precipitações é acompanhado do aumento dos dias de chuva, o mesmo ocorrendo com a redução, embora esses aumentos e reduções não ocorram em proporções semelhantes ou seja, o aumento das precipitações pode ser mais acentuado que o da quantidade de dias de chuva, resultando em aumento da média diária.

No entanto, **é muito importante destacar que os gráficos das três estações mostram tendência persistente de redução das precipitações nos períodos secos, ou seja os períodos secos têm sido cada vez mais secos desde o início da década de 1980**, o que agrava o cenário de insegurança hídrica na RMBH.

Características Gerais da Série

A série apresenta ampla variabilidade interanual, com valores anuais oscilando entre 27,90 mm (mínimo, 2011) e 276,90 mm (máximo, 1989).

A média (118,54 mm) e a mediana (107,45 mm) estão relativamente próximas, embora o valor máximo muito elevado aponte para uma assimetria à direita.

O desvio padrão (61,14 mm) e a variância elevada (3.738,12 mm²) reforçam o grau significativo de dispersão dos dados, o que é típico de séries pluviométricas em regiões com acentuada alternância entre anos chuvosos e secos.

Regressão Linear:

O coeficiente angular negativo indica uma redução média anual de 1,876 mm. Ao longo de 40 anos, essa redução acumulada chega a aproximadamente 74 mm, o que representa 63,3% da média total da série, evidenciando, assim, um declínio relevante.

O p-valor do coeficiente angular (0,0231) é estatisticamente significativo ($p < 0,05$), o que apoia a evidência de redução da precipitação ao longo do tempo.

O intervalo de confiança da inclinação (-3,479; -0,2724) não inclui zero, reforçando a existência de uma tendência significativa de queda.

O R² de 0,1286, embora modesto, indica que cerca de 13% da variação pode ser explicada pelo tempo — um valor considerável em séries ambientais.

Testes de Pressupostos da Regressão:

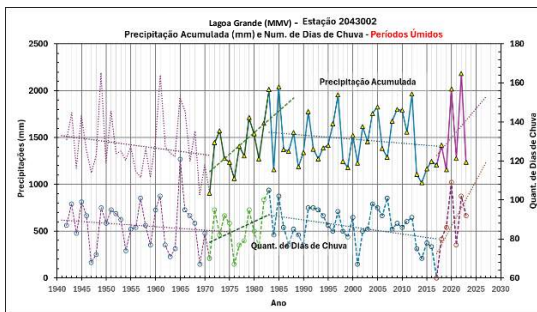
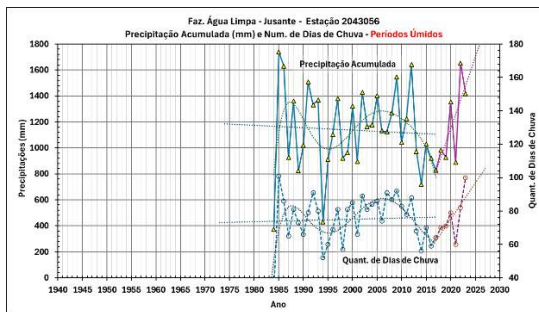
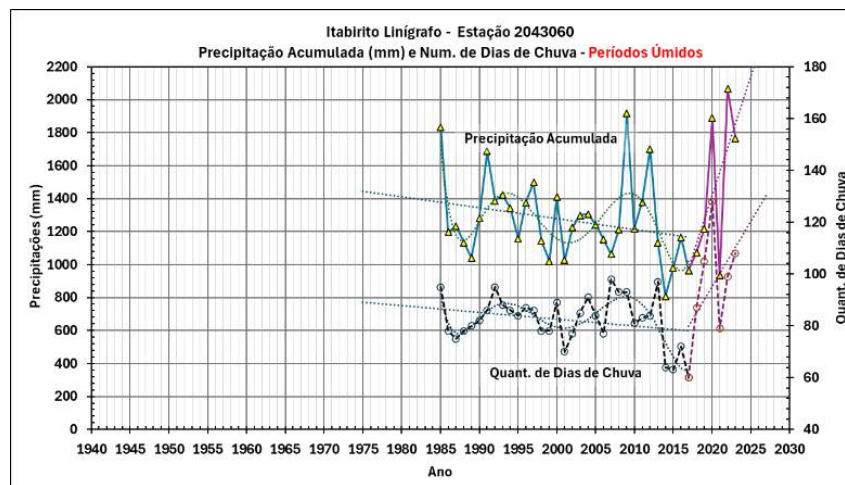
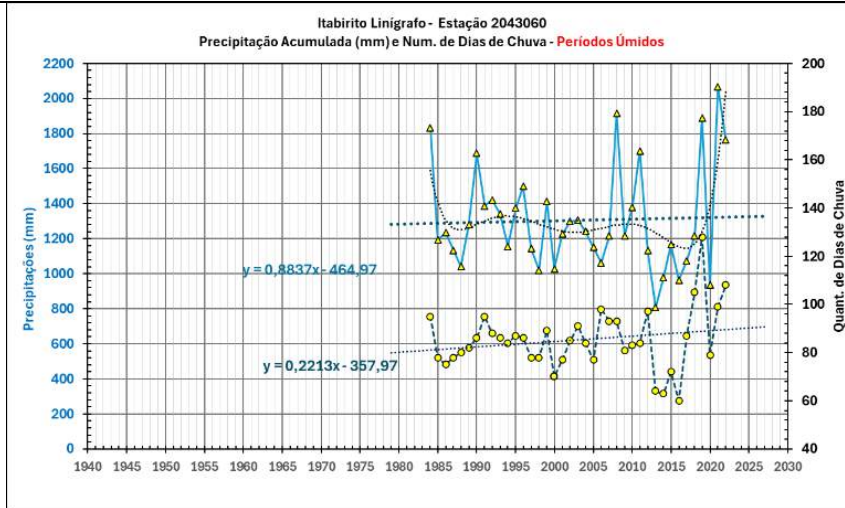
- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ($p = 0.258$) e White ($p = 0.343$): Ambos indicam homocedasticidade (variância constante), o que cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.
- **Normalidade dos resíduos:** Shapiro-Wilk ($p = 0,351$), Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,8835$) e Anderson-Darling ($p = 0,481$) não rejeitam a normalidade dos resíduos (todos com $p > 0,05$), indicando que o modelo linear se ajusta adequadamente nesse aspecto (cumpre um dos requisitos para a análise por regressão).
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson ($p = 0.436$): aponta ausência de autocorrelação, confirmando que os resíduos são independentes, o que fortalece a validade dos resultados da regressão (cumpre um dos requisitos para a análise por regressão).

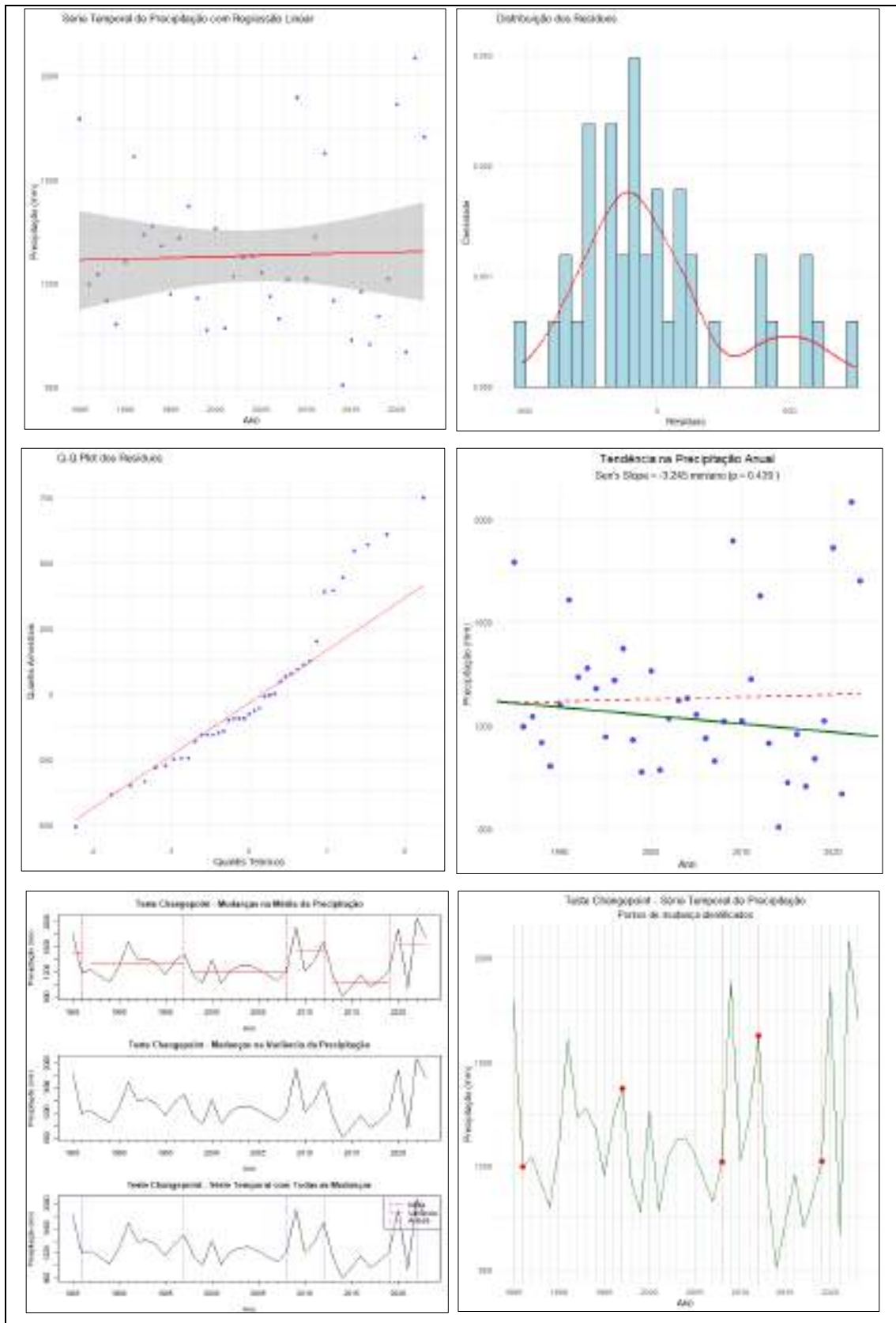
Testes Não-Paramétricos:

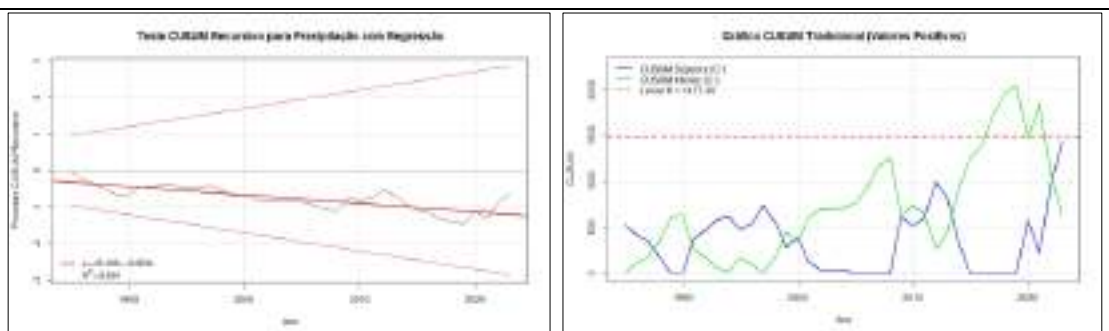
- Mann-Kendall ($p = 0.0438$) e Spearman ($p = 0.0261$): concordam quanto à existência de tendência significativa de redução das precipitações dos períodos secos da série.
- Sen's Slope: Inclinação de -1.673 mm/ano, $p = 0.04384$ e $IC95\% = -3,363$ a $-0,04667$ (não inclui zero) confirmam a existência de uma tendência negativa estatisticamente significativa.
- Pettitt ($p = 0.1709$): Nenhum ponto de mudança significativo.
- BFAST: Nenhum ponto de mudança detectado.
- CUSUM: A análise CUSUM apresenta uma reta de tendência com coeficiente angular de $-0,06$ e alto R^2 (0,90), indicando forte evidência de redução sistemática das precipitações, especialmente perceptível a partir de 1994, sem rompimento estatístico das bandas de confiança.
- Changepoint: A análise de Changepoint detectou mudanças na média da precipitação anual em 1988, 1990, 1993, 2014 e 2018. Observa-se uma queda acentuada nas médias a partir de 1993 (107,14 mm) e principalmente no último período (2018–2023), com média de 73,53 mm, e em 2022, um novo patamar com média ainda mais baixa (48 mm). Nenhuma mudança significativa na variância foi identificada, sugerindo que a variabilidade interna da série se mantém estável mesmo com a queda na média.

Conclusões Principais

- A análise estatística confirma uma tendência estatisticamente significativa de redução na precipitação anual acumulada ao longo do período, evidenciada por múltiplos testes (regressão linear, Mann-Kendall, Sen's Slope, Spearman e CUSUM).
- A queda acumulada estimada em 74 mm representa uma perda relevante de 63% da média histórica da série.
- Apesar da ausência de mudanças significativas na variância, a sucessiva redução nas médias detectadas pela análise de Changepoint aponta para uma possível transição climática para períodos mais secos.
- Este cenário impõe desafios importantes para o planejamento e gestão de recursos hídricos, exigindo medidas adaptativas, monitoramento contínuo e revisão de políticas para garantir a segurança hídrica em cenários de crescente escassez.







Itabirito Linígrafo – Períodos Úmidos	Resultados
Período analisado:	1985 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	39
Valor mínimo:	806.80 (em 2014)
1º Quartil:	1132.70
Mediana (2º Quartil):	1226.30
Média:	1305.05
3º Quartil:	1399.55
Valor Máximo:	2066.80 (em 2022)
Variância:	87318.49
Desvio Padrão:	295.50
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = 8.84e-01 * tempo + -465.8
Coefficiente angular (variação por ano):	8.84e-01
p-valor do coeficiente angular:	8.37e-01
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-7.744, 9.512)
R ² do modelo:	0.001163
Interpretação:	Interpretação: Há evidências de aumento na precipitação anual (valores acumulados) ao longo do tempo, com 0,884 mm por ano da série (34.5 mm em 40 anos, 2.64% da média total da série, que tem valor 1305.05 mm).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	Shapiro-Wilk: W = 0.9256 p-valor = 1.3e-02 (p ≤ 0.05) Os resíduos NÃO seguem uma distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 1.1505 p-valor = 4.59e-03 (p ≤ 0.05) Os resíduos NÃO seguem uma distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1399 p-valor = 0.3938 (p > 0,05) Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 5.8972 p-valor = 1.52e-02 (p ≤ 0.05) Variância NÃO constante (heterocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 6.1513 p-valor = 1.31e-02 (p ≤ 0.05) Variância NÃO constante (heterocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.7467 p-valor = 1.65e-01 (p > 0.05) Resíduos independentes (não autocorrelacionados).
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.08772 p-valor = 0.4388 (p > 0.05) Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: Interpretação:	Inclinação = -3.245 IC95% = (-10.39, 5.883) 0.4388126 Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 92 p-valor = 0.868 Nenhum ponto de mudança significativo detectado

Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.1016 p-valor = 0.5382 (p > 0.05) Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Interpretação:	<ul style="list-style-type: none"> • $y = 45.44 - 0.02x$ (ver reta vermelha no gráfico) • -0.02 (negativo: Indica uma redução sistemática nos valores de precipitação ao longo do tempo). • 0.4388 (valor de R2 pequeno, ajuste parcial, pouca evidência tendência de redução ao longo de toda a série). • Curva abaixo de zero desde o início da série até o final da série, indicando tendência de redução contínua da precipitação: quanto mais afastada da linha zero (para baixo), mais intensa é a mudança acumulada) • • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.
Changepoint: Análise de Mudança na Média: Análise de Mudança na Variância: Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1986, 1997, 2008, 2012, 2019</p> <ul style="list-style-type: none"> – Período 1985-1986: Média = 1514.45 mm – Período 1986-1997: Média = 1312.967 mm – Período 1997-2008: Média = 1216.642 mm – Período 2008-2012: Média = 1485.68 mm – Período 2012-2019: Média = 1130.125 mm – Período 2019-2023: Média = 1574.32 mm <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <p>Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <ul style="list-style-type: none"> – Nova média: 1762.7 mm – Nova variância: NA mm

Para evidenciar comportamentos mais recentes, apresenta-se aqui uma análise dos valores dos períodos úmidos de dois segmentos da série: 1984 a 2017 e 2017 a 2024. Os gráficos das três estações, referentes aos períodos úmidos, incorporam tanto a curva dos valores anuais de precipitação acumulada quanto a da quantidade de dias de chuva dos períodos úmidos de cada ano.

No período de 1984 a 2017, as precipitações acumuladas dos períodos úmidos apresentam tendência geral de redução nas três estações, o que indica uma redução da pluviosidade do período em toda a área. No mesmo período, a quantidade de dias de chuva também apresentou tendência de redução em Itabirito Linígrafo e Lagoa dos Ingleses e de ligeiro aumento em Água Limpa.

No período de 2017 a 2023 as precipitações acumuladas e a quantidade de dias de chuva dos períodos úmidos apresentaram forte tendência de aumento.

Características Gerais da Série

A série histórica de precipitação acumulada dos períodos úmidos em Itabirito (Linígrafo), no período de 1985 a 2023, apresenta alta variabilidade interanual, com valores que variam de 806,80 mm (mínimo em 2014) a 2066,80 mm (máximo em 2022).

A média da série é de 1305,05 mm e a mediana é de 1226,30 mm, com primeiro e terceiro quartis em 1132,70 mm e 1399,55 mm, respectivamente, indicando distribuição levemente assimétrica à direita.

O desvio padrão elevado (295,50 mm) e a variância alta (87.318,49 mm²) confirmam a dispersão acentuada dos dados, típica de regiões sujeitas a acentuada alternância de anos secos e chuvosos. O comportamento estatístico geral da série reflete padrões cíclicos e extremos pluviométricos, que exigem atenção no planejamento e na gestão hídrica local.

Regressão Linear:

O coeficiente angular (0,884 mm/ano) sugere um leve aumento, que representa cerca de 34,5 mm ao longo de 39 anos — equivalente a apenas 2,64% da média total da série.

No entanto, o coeficiente angular não é estatisticamente significativo ($p = 0,837$) é muito superior ao nível usual de significância (0,05), o que indica ausência de significância estatística da inclinação observada.

O intervalo de confiança da inclinação IC95% (-7,744 a 9,512) inclui zero, indicando que não há tendência robusta de aumento.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,001163$), muito próximo de zero, mostra que praticamente nenhuma variação na precipitação é explicada pela passagem do tempo, ou seja, não há tendência clara, o que também indica baixa capacidade preditiva do modelo.

Testes de Pressupostos da Regressão:

- **Homocedasticidade:** Breusch-Pagan ($p = 0.0152$) e White ($p = 0.0131$): ambos indicam presença de heterocedasticidade (variância dos resíduos NÃO constante) violando um dos pressupostos essenciais da regressão linear.
- **Normalidade dos resíduos:** Shapiro-Wilk ($p = 0,013$) e Anderson-Darling ($p = 0,00459$): resíduos NÃO seguem distribuição normal, o que não atende a um dos requisitos para a análise por regressão. O teste Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,3938$), por outro lado, não rejeita a normalidade. Esses resultados contraditórios limitam a confiabilidade dos testes paramétricos aplicados à regressão.
- **Autocorrelação:** Durbin-Watson (DW = 1,7467; $p = 0,165$): Não há autocorrelação significativa entre os resíduos (valores próximos no tempo NÃO são correlacionados): cumpre um dos requisitos para a análise por regressão.

Testes Não-Paramétricos:

- Mann-Kendall ($p = 0.4388$) e Spearman ($p = 0.5382$): concordam quanto à ausência de tendência significativa.
- Sen's Slope: Inclinação de -3.245 mm/ano (tendência de redução, que representa cerca de 126,6 mm ao longo de 39 anos — equivalente a apenas 9,70% da média total da série = 1305.05 mm/ano), mas o valor $p = 0.4388126$ indica tendência não significativa (IC95% inclui zero).
- Pettitt ($p = 0.868$): Nenhum ponto de mudança significativo.
- BFAST: Nenhum ponto de mudança detectado.
- CUSUM: Sugere possível tendência negativa, com reta de inclinação -0,02 mm/ano, embora com baixo R^2 (0,4388), ou seja, evidência fraca de tendência de queda, ou seja, tendência não estatisticamente robusta. O gráfico resultante do processo queda contínua das precipitações desde o início da série, mas sem rompimento estatístico das bandas de confiança. Essa tendência de redução concorda com os resultados do teste Sen's Slope.
- Changepoint: A análise de Changepoint detectou alterações significativas na média nos anos de 1986, 1997, 2008, 2012, 2019 e, especialmente, em 2022, com variações

nos níveis médios de precipitação entre os segmentos. A média mais baixa foi registrada no período 2012–2019 (1130.125 mm), sugerindo um ciclo mais seco. A partir de 2019 até 2023, a média aumenta novamente (1574.32 mm), indicando possível retorno a anos mais úmidos. Não foram identificadas mudanças significativas na variância, indicando que, embora a média flutue ao longo do tempo, a dispersão dos dados permanece relativamente estável.

Conclusões Principais

- Não há evidência estatística robusta de tendência de aumento ou redução da precipitação anual acumulada.
- O comportamento da série é marcado por forte variabilidade interanual e mudanças cíclicas na média, com alternância entre anos secos e úmidos.
- O cenário recente (2019–2023) sugere um retorno a anos mais chuvosos após uma sequência de períodos secos (2012–2019).
- O período úmido mais seco da série (2014) ocorreu apenas 8 anos antes do mais chuvoso (2022), o que indica um aumento expressivo da variabilidade climática no período mais recente da série.
- Os pressupostos da regressão linear não são plenamente atendidos, o que limita a interpretação dos modelos lineares simples. A regressão linear indica leve aumento da precipitação acumulada ao longo da série, mas CUSUM e Sen's Slope, que capturam melhor a tendência dos dados, indicam redução.
- Para fins de gerenciamento de recursos hídricos, é essencial considerar:
 - A alta variabilidade interanual e possíveis mudanças cíclicas, que exigem estratégias de resiliência hídrica.
 - A ausência de tendência significativa não descarta a ocorrência de anos extremamente secos ou úmidos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e modelagem climática complementar.

Tabela-Resumo da Análise da Série Histórica de 1984 a 2023 de Itabirito Linígrafo – Precipitação Acumulada

Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Período analisado	1984–2023	1984–2023	1985–2023
Quant, de Dados da Série Analisada	40	40	39
Valor mínimo	768.10 (em 2014)	27.90 (em 2011)	806.80 (em 2014)
Mediana (2º Quartil)	1356.35	107,45	1226,3
Média	1410.87	118,54	1305,05
Valor Máximo	2023.10 (em 2009)	274,9	2066.80 (em 2022)
Desvio Padrão	275.30	61,14	
Regressão Linear – Coef, angular (variação por ano)	0,325 mm/ano	(-1,876 mm/ano)	(0,884 mm/ano)
Aumento em 41 anos	0,1268 mm	(-118,54 mm)	34,48 mm
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(+0,91%)	(-63,3%)	(+2,64%)
Teste Shapiro-Wilk	Resíduos não normais	Resíduos normais	Resíduos não normais



Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Teste Anderson-Darling	Resíduos não normais	Resíduos normais	Resíduos não normais
Kolmogorov-Smirnov	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada
Breusch-Pagan	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância NÃO constante (heterocedasticidade)
White	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância NÃO constante (heterocedasticidade)
Durbin-Watson	Resíduos independentes	Resíduos independentes	Resíduos independentes
Mann-Kendall	Sem tendência significativa	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO	Sem tendência significativa
Sen's Slope	(+0,1071 mm/ano). Sem inclinação significativa (IC inclui zero)	(-1.6727 mm/ano) IC95% = (-3.363, -0.04667) 0.04383879 (p < 0.05) HÁ REDUÇÃO ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA na precipitação (IC95% NÃO inclui zero).	(-3,245) Sem inclinação significativa (IC inclui zero)
Alteração em 41 anos pelo Sen's Slope	(+4,18 mm)	(-66,91)	(126,60 mm)
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(+0,30%)	(-56,44%)	(-9,70%)
Teste de Pettitt	Nenhum ponto de mudança significativo detectado.	Nenhum ponto de mudança significativo detectado	Nenhum ponto de mudança significativo detectado.
Spearman	Sem correlação significativa	HÁ TENDÊNCIA ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA DE REDUÇÃO	Sem correlação significativa
BFAST	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo	Curva abaixo de zero entre 2002 e 2008 e entre 2014 e 202s; tendência de redução; flutuações pequenas	Coef. = -0,06 = redução sistemática da precipitação ao longo do tempo). R2 = 0.90; bom ajuste, forte evidência tendência de redução	Curva abaixo de zero em toda a série; tendência de redução; flutuações pequenas
CUSUM Recursivo – Coef. angular	(- 0,02)	(-0,06)	(-0,02)
CUSUM Tradicional – Tendência de AUMENTO	Não detectada	Detectada	Não detectada
CUSUM Tradicional – Tendência de DIMINUIÇÃO	Detectada após 2017	Detectada	Detectada após 2017
Changepoint – Mudança na Média	2005, 2007, 2009, 2013, 2019; médias variando entre 1273,9 e 1621,66	1988, 1990, 1993, 2014, 2018; médias variando entre 73,53 e 191,53 mm/ano	1986, 1997, 2008, 2012, 2019 ; médias variando entre 1130,12 e 1574,32 mm/ano
Changepoint – Mudança na Variância	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa



Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Changepoint – Média + Variância	Mudança mais significativa detectada em 2022 -(nova média: 1506.8 mm)	Mudança mais significativa detectada em 2022 -(nova média: 48 mm)	Mudança mais significativa detectada em 2022 -(nova média: 1506.8 mm)

4.11.3.4.1 Quadros Comparativos das Três Estações – Gráficos de Regressão Linear – Precipitação Acumulada e Quantidade de Dias de Chuva

O seguinte quadro resume, sob o ponto de vista de segmentação das séries, o comportamento dos dados de precipitação acumulada, quantidade de dias de chuva e valor médio das precipitações dos dias de chuva analisados:

Itabirito - Linígrafo		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum.	E		A		R	
	Quant. Dias de Chuva	A		A		R	
	Média	R		E		E	
Dois Segmentos: 1984 a 2017 e 2017 a 2023	Precip. Acum.	R	A	R	A	R	R
	Quant. Dias de Chuva	R	A	R	A	R	R
	Média	R	A	E	A	R	R

Fazenda Água Limpa		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum.	A		A		R	
	Quant. Dias de Chuva	A		A		R	
	Média	A		E		E	
Dois Segmentos: 1984 a 2017 e 2017 a 2023	Precip. Acum.	R	A	R	A	R	R
	Quant. Dias de Chuva	R	A	R	A	R	A
	Média	R	A	R	A	R	R

Lagoa dos Ingleses		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum.	A		A		A	
	Quant. Dias de Chuva	E		E		A	
	Média	A		A		E	
Dois Segmentos	Precip. Acum.	A	R	R	R	A	R
	Quant. Dias de Chuva	A	R	R	R	A	R
	Média	E	A	A	A	R	R

onde:

A = Aumento R = Redução E = Estabilidade

Comparando-se qualitativamente a parte relativa aos dois segmentos das séries (as 3 últimas linhas) dos quadros pode-se ver que no período seco, em Água Limpa e Itabirito Linígrafo houve uma redução das precipitações maior que a redução na Lagoa dos Ingleses e o inverso ocorreu com relação aos períodos úmidos. Tomando-se os dados do ano completo, no primeiro segmento (1984 a 2017) houve redução tanto das precipitações acumuladas quanto dos dias de chuva em Água Limpa e Itabirito Linígrafo e no segundo segmento (2017 a 2023) houve aumento. O contrário ocorreu na Lagoa dos Ingleses.

Com relação aos dados do ano completo (as 3 primeiras linhas), não houve redução de nenhuma das variáveis na Lagoa dos Ingleses, mas em Água Limpa e Itabirito Linígrafo constatou-se redução nos períodos secos.

O quadro a seguir compara, de forma qualitativa, os valores de precipitação acumulada nas duas estações com os das vazões escoadas do Rio das Velhas registradas em Honório Bicalho:



Itabirito - Linígrafo		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum. Faz. Itab. Lin.	A		A		R	
	Volume Escoado HB	R		R		R	
Dois Segmentos: 1984 a 2017 e 2017 a 2023	Precip. Acum. Itab. Lin.	R	A	R	A	R	R
	Volume Escoado HB	R	A	R	A	R	A

Fazenda Água Limpa		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum. Água Limpa	A		A		R	
	Volume Escoado HB	R		R		R	
Dois Segmentos: 1984 a 2017 e 2017 a 2023	Precip. Acum. Água Limpa	R	A	R	A	R	R
	Volume Escoado HB	R	A	R	A	R	A

Lagoa dos Ingleses		Anuais		Per. Úmidos		Per. Secos	
Série Completa	Precip. Acum. L. Ingleses	A		A		A	
	Volume Escoado HB	R		R		R	
Dois segmentos: 1984 a 2017 e 2017 a 2023	Precip. Acum. L. Ingleses	A	R	R	R	A	R
	Volume Escoado HB	R	A	R	A	R	A

Quando se toma os valores da série completa, ou seja, de 1984 a 2023, constata-se redução das vazões do Rio das Velhas em todas os 3 tipos de análise: ano completo, períodos úmidos e períodos secos dos anos e essa redução de vazão ocorre associada tanto a aumentos quanto a reduções nos valores de precipitação das duas estações. Porém, quando o intervalo completo da série é segmentado (1984 a 2017 e 2017 a 2024) verifica-se, em Água Limpa e Itabirito Linígrafo, correspondência entre reduções e aumentos de precipitação e reduções e aumentos de vazão, exceto no que diz respeito ao último segmento nos períodos secos. Essa correspondência, na Lagoa dos Ingleses, ocorre apenas no primeiro segmento (1984 a 2107) dos períodos úmidos.

O aumento da vazão do rio nos períodos secos dos anos de 2017 a 2023, época em que ocorreu redução das precipitações desses períodos nas áreas das três estações, leva à conclusão de que a vazão do rio aumentou nesse período devido ao **aporte extra de água proveniente dos reservatórios da região (lagoas dos Ingleses, das Codornas, Miguelão, reservatório de Rio de Pedras) e/ou proveniente do bombeamento de águas subterrâneas de cavas de mineração** para rebaixamento do nível freático, aportes esses que podem também ter influenciado o aumento de vazão identificado na análise dos períodos úmidos e dos Anos Cívicos.

Na análise por dois segmentos, há correspondência entre aumento/redução de precipitações nas três estações e aumento/redução de vazões em HB em todos os recortes (exceto no último, conforme parágrafo anterior), o que não ocorre com relação às precipitações na Lagoa dos Ingleses e vazões em Honório Bicalho. Esse fato pode indicar que as vazões do rio estão condicionadas mais por precipitações de outras áreas que pelas precipitações que ocorrem na área representada pela estação Lagoa dos Ingleses.

4.11.3.4.2 Conclusões da Análise por Regressão Linear das Precipitações Acumuladas e Quantidade de Dias de Chuva das Três Estações – (1984-2017) x (2017-2023)

1. Tendência Geral a Longo Prazo (1984–2023)

- **Anos Cívicos**
 - Verificou-se estabilidade das precipitações acumuladas e aumento da quantidade de dias de chuva em Itabirito Linígrafo e aumento das duas variáveis em Água Limpa. Na Lagoa dos Ingleses houve aumento das precipitações acumuladas e estabilidade da quantidade de dias de chuva.
- **Períodos Secos:**



- Há uma tendência clara e persistente de redução da quantidade de dias de chuva e da precipitação acumulada nos períodos secos desde o início da década de 1980, nas três estações. Essa tendência é mais acentuada na Lagoa dos Ingleses e Itabirito Linígrafo, mas está presente também em Água Limpa.
- Essa redução contínua caracteriza um agravamento da severidade das secas ao longo do tempo e aumenta a insegurança hídrica na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).
- **Períodos Úmidos:**
 - A quantidade de dias de chuva aumentou em Água Limpa e Itabirito Linígrafo, mas diminuiu em Lagoa dos Ingleses. A precipitação acumulada nos períodos úmidos aumentou levemente em Água Limpa e Itabirito Linígrafo, mas se reduziu levemente em Lagoa dos Ingleses.
 - Há uma leve recuperação da pluviosidade em duas estações, mas heterogeneidade espacial dos padrões é evidente.

2. Análise por Segmentos Temporais

1984 a 2017:

- **Dados Anuais (Anos Cíveis)**
 - Tendência geral de redução nos valores anuais tanto da precipitação acumulada quanto da quantidade de dias de chuva nas três estações, indicando fase de ressecamento.
- **Períodos secos:**
 - Tendência clara e persistente de redução tanto na precipitação acumulada quanto na quantidade de dias de chuva nos períodos secos nas três estações, indicando um agravamento das secas.
- **Períodos úmidos:**
 - Precipitação acumulada apresenta tendência de redução nas três estações. A quantidade de dias de chuva apresenta redução em Itabirito Linígrafo e Lagoa dos Ingleses e leve aumento em Água Limpa.

2017 a 2023:

- **Dados Anuais (Anos Cíveis)**
 - Tendência de aumento acentuado nos valores anuais de precipitação e de dias de chuva nas três estações.
- **Períodos secos:**
 - A precipitação acumulada continuou a diminuir nas três estações. A quantidade de dias de chuva permaneceu estável na Lagoa dos Ingleses, teve leve aumento em Água Limpa e redução em Itabirito Linígrafo.
 - Correlação entre chuvas e dias de chuva: presente em Lagoa dos Ingleses e Itabirito Linígrafo, não observada em Água Limpa.
 - A tendência persistente de redução das chuvas nos períodos secos reforça um cenário de vulnerabilidade hídrica contínua.
- **Períodos úmidos:**
 - Houve uma forte tendência de aumento tanto na precipitação acumulada quanto na quantidade de dias de chuva nos períodos úmidos, nas três estações.

3. Observações Gerais:

- As curvas da precipitação anual acumulada e da quantidade de dias de chuva anuais nas três estações geralmente apresentam tendências semelhantes: aumento da

precipitação acompanha aumento dos dias de chuva, e redução de precipitação acompanha redução dos dias.

- No entanto, as variações nas precipitações são geralmente mais acentuadas que as variações no número de dias de chuva, indicando que, em anos com aumento da chuva, há aumento na intensidade média diária de precipitação.
- O comportamento diferenciado das três estações possivelmente se deve à sua localização na bacia: Água Limpa e Itabirito Linígrafo estão em áreas baixas da bacia, no vale do rio das Velhas e do rio Itabirito e a Lagoa dos Ingleses está na parte mais alta, na Serra da Moeda.

4. Considerações Finais

- Secas mais severas e com menor recuperação hídrica nos períodos secos são uma realidade consistente desde 1984, o que agrava a insegurança hídrica na RMBH.
- Recente intensificação dos períodos úmidos (após 2017), com aumento significativo da precipitação e dos dias de chuva nas três estações, o que pode implicar em maior intensidade e risco de eventos extremos.
- A assimetria entre períodos secos e úmidos pode comprometer o equilíbrio hídrico, favorecendo eventos extremos de ambos os tipos: estiagens prolongadas e chuvas intensas concentradas.
- A melhora recente dos períodos úmidos (2017 a 2023) não tem evitado nem compensado o agravamento dos períodos secos em termos de segurança hídrica
- As tendências distintas entre as estações nos períodos úmidos sugerem que análises integradas são essenciais para interpretar corretamente os impactos na hidrologia da bacia e os impactos nas vazões do Rio das Velhas em Honório Bicalho.
- A redução persistente das precipitações nos períodos secos e o comportamento das chuvas mais intensas em menos dias reforçam a complexidade da gestão dos recursos hídricos e a necessidade de estratégias adaptativas para lidar com a variabilidade climática.

4.11.3.4.3 Tabela Comparativa das Três Estações - Análise por Regressão Linear das Precipitações Acumuladas e Quantidade de Dias de Chuva

Aspecto	Água Limpa (AL)	Lagoa dos Ingleses (LI)	Itabirito Linígrafo (IL)	Interpretação Geral / Implicações para a Gestão Hídrica
Tendência geral nos valores anuais (chuva e dias de chuva)	Aumento das duas variáveis.	Aumento das precipitações acumuladas e estabilidade da quantidade de dias de chuva.	Estabilidade das precipitações acumuladas e aumento da quantidade de dias de chuva	Comportamentos distintos nas áreas das três estações, indicando necessidade de monitoramento específico e contínuo.
Tendência geral nos períodos secos – chuva acumulada	Redução contínua.	Redução mais acentuada.	Redução contínua.	Reforça a necessidade de estratégias para uso racional da água no período seco, como armazenamento eficiente e controle de perdas.
Tendência geral nos períodos secos – dias de chuva	Redução contínua.	Redução mais acentuada.	Redução contínua.	A redução na frequência de chuvas durante os períodos de seca impede possíveis recargas no período; importante priorizar ações de conservação de solo e dos aquíferos. Estudar recarga artificial.

Aspecto	Água Limpa (AL)	Lagoa dos Ingleses (LI)	Itabirito Linígrafo (IL)	Interpretação Geral / Implicações para a Gestão Hídrica
Tendência geral nos períodos úmidos – chuva acumulada	Leve aumento.	Leve redução.	Leve aumento.	Indica oportunidade para armazenamento, mas também a necessidade de sistemas de drenagem adequados e prevenção de enchentes.
Tendência geral nos períodos úmidos – dias de chuva	Aumento.	Redução.	Aumento.	Aumento dos dias chuvosos pode beneficiar infiltração e recarga, mas também pode elevar riscos de deslizamento em áreas sensíveis, cheias e desastres em áreas de mineração.
Comportamento entre 1984–2017: chuva anual e dias de chuva	Reduções nas duas variáveis.	Reduções nas duas variáveis.	Reduções nas duas variáveis.	Reflete um período de pressão hídrica crescente.
Comportamento entre 2017–2023: chuva anual e dias de chuva	Aumento nas duas variáveis, mais forte na chuva.	Aumento nas duas variáveis.	Aumento nas duas variáveis, mais forte na chuva.	Sugere possível mudança no regime climático recente. Necessário reavaliar parâmetros de projeto de obras hidráulicas. Possibilidade de retorno à condição anterior justifica investimentos em gestão integrada e consumo eficiente. Implantar sistemas de armazenamento, recarga de aquíferos, sistemas de drenagem adequados e prevenção de enchentes.
Comportamento dos períodos secos entre 1984–2017: chuva anual e dias de chuva	Reduções nas duas variáveis.	Reduções nas duas variáveis.	Reduções nas duas variáveis.	Tendência crítica: menor disponibilidade nos períodos de maior demanda (seca). Cenários como esse requerem ações de compensação hídrica e captação alternativa e/ou armazenamento. Preservação dos aquíferos e possíveis sistemas de recarga.
Comportamento dos períodos secos entre 2017–2023: chuva anual e dias de chuva	Redução das chuvas; quant. de dias aumentou ligeiramente.	Redução das chuvas; quant. de dias estável.	Reduções nas duas variáveis.	A redução na frequência de chuvas durante os períodos de seca impede possíveis recargas no período; importante priorizar ações de conservação de solo e dos aquíferos. Estudar recarga artificial e armazenamento durante os períodos úmidos.
Comportamento dos períodos úmidos entre 1984–2017: chuva anual e dias de chuva	Redução da chuva; leve aumento das chuvas	Redução da chuva e dos dias.	Redução da chuva e dos dias.	Menor capacidade de recarga dos aquíferos durante esse período, o que pode ter reduzido o volume deles ao longo do tempo somando-se ao rebaixamento dos níveis dos aquíferos nas cavas de mineração.
Comportamento dos períodos úmidos entre 2017–2023: chuva anual e dias de chuva	Aumento expressivo nas duas variáveis.	Aumento expressivo nas duas variáveis.	Aumento expressivo nas duas variáveis.	Pode representar oportunidade para recuperação de níveis de aquíferos e para armazenamento, mas impõe risco maior de eventos intensos. Políticas de controle de uso do solo e alertas antecipados são recomendadas.

4.11.3.4.4 Conclusões dos Testes Estatísticos dos Dados de Precipitação Acumulada da Série da Estação Itabirito Linígrafo

Valores Anuais (Série Completa):

A série histórica de precipitação anual acumulada da estação Itabirito Linígrafo (1984–2023) revela alta variabilidade interanual, com média de 1410,87 mm e forte dispersão dos dados, mas sem tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução ao longo do tempo. Os testes de regressão linear indicam coeficiente angular positivo, porém com p-valor elevado e R^2 praticamente nulo, reforçando ausência de relação entre precipitação e tempo. Os resíduos da regressão não atendem plenamente aos pressupostos da regressão linear de normalidade, embora apresentem homocedasticidade e ausência de autocorrelação. Testes não paramétricos (Mann-Kendall, Sen's Slope, Spearman) também não apontam tendência significativa. Análises de ponto de mudança identificam oscilações cíclicas nas médias, com períodos secos (2013–2019) e um recente retorno a anos mais chuvosos (2019–2023), sem mudanças relevantes na variância. A CUSUM sugere leve tendência negativa, mas com fraca evidência estatística. Assim, embora não haja sinal claro de tendência linear, a variabilidade natural da série e os ciclos de mudança na média exigem atenção no planejamento de recursos hídricos, com foco em estratégias adaptativas e monitoramento contínuo.

Períodos Secos

A série histórica de precipitação acumulada dos períodos secos em Itabirito (1984–2023) apresenta forte evidência estatística de tendência de queda ao longo do tempo, confirmada por múltiplos testes (regressão linear, Mann-Kendall, Sen's Slope, Spearman e CUSUM), com redução estimada de cerca de 74 mm, o que representa 63% da média histórica. Embora a dispersão dos dados permaneça estável (sem mudanças significativas na variância), a análise de Changepoint detectou sucessivas quebras na média, especialmente a partir de 1993, com valores cada vez mais baixos até o mínimo recente de 48 mm em 2022. A normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos da regressão foram atendidas, o que dá robustez ao modelo. Esse cenário reforça a necessidade de medidas adaptativas de gestão de recursos hídricos, considerando a possível transição climática para condições mais secas e a crescente vulnerabilidade hídrica da região.

Períodos Úmidos

A série histórica dos períodos úmidos em Itabirito Linígrafo (1985–2023) revela alta variabilidade interanual nas precipitações, com valores entre 806,80 mm e 2066,80 mm, e média de 1305,05 mm, refletindo alternância entre anos secos e chuvosos. A regressão linear sugere leve aumento ao longo do tempo (0,884 mm/ano), mas sem significância estatística ($p = 0,837$; $R^2 \approx 0$), indicando que o tempo não explica a variação observada. A análise de pressupostos da regressão mostra violação de normalidade e homocedasticidade, comprometendo sua confiabilidade. Testes não paramétricos (Mann-Kendall, Sen's Slope, Spearman, Pettitt e BFAST) não apontam tendência significativa nem mudança pontual marcante, embora o CUSUM e Sen's Slope indiquem fraca tendência de redução. A análise de mudança de regime (Changepoint) identificou oscilações significativas na média, com destaque para a seca entre 2012–2019 e o retorno a valores mais elevados a partir de 2019, sem alterações significativas na variância. Conclui-se que não há tendência estatisticamente robusta de aumento ou redução nas chuvas, mas há ciclos marcantes entre períodos secos e úmidos, ressaltando a importância do monitoramento contínuo e estratégias de gestão hídrica que considerem tais oscilações.

4.11.4 Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade – Frequências

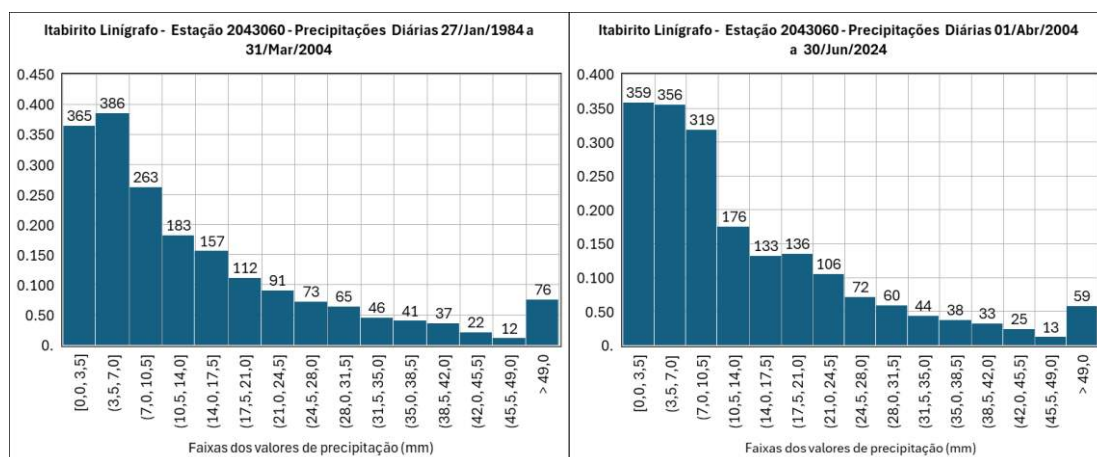
4.11.4.1 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos

Como no caso da Estação Lagoa Grande (MMV), nas análises a seguir foi considerada a seguinte classificação das chuvas por intensidade (ver Anexo 1):

Volume Diário de Chuva (mm)	Classificação
0	Sem precipitação
0,1 a 2,4	Chuvisco
2,5 a 10	Chuva fraca
10,1 a 20	Chuva moderada
20,1 a 50	Chuva forte
50,1 a 100	Chuva muito forte
Acima de 100	Chuva extrema ou torrencial

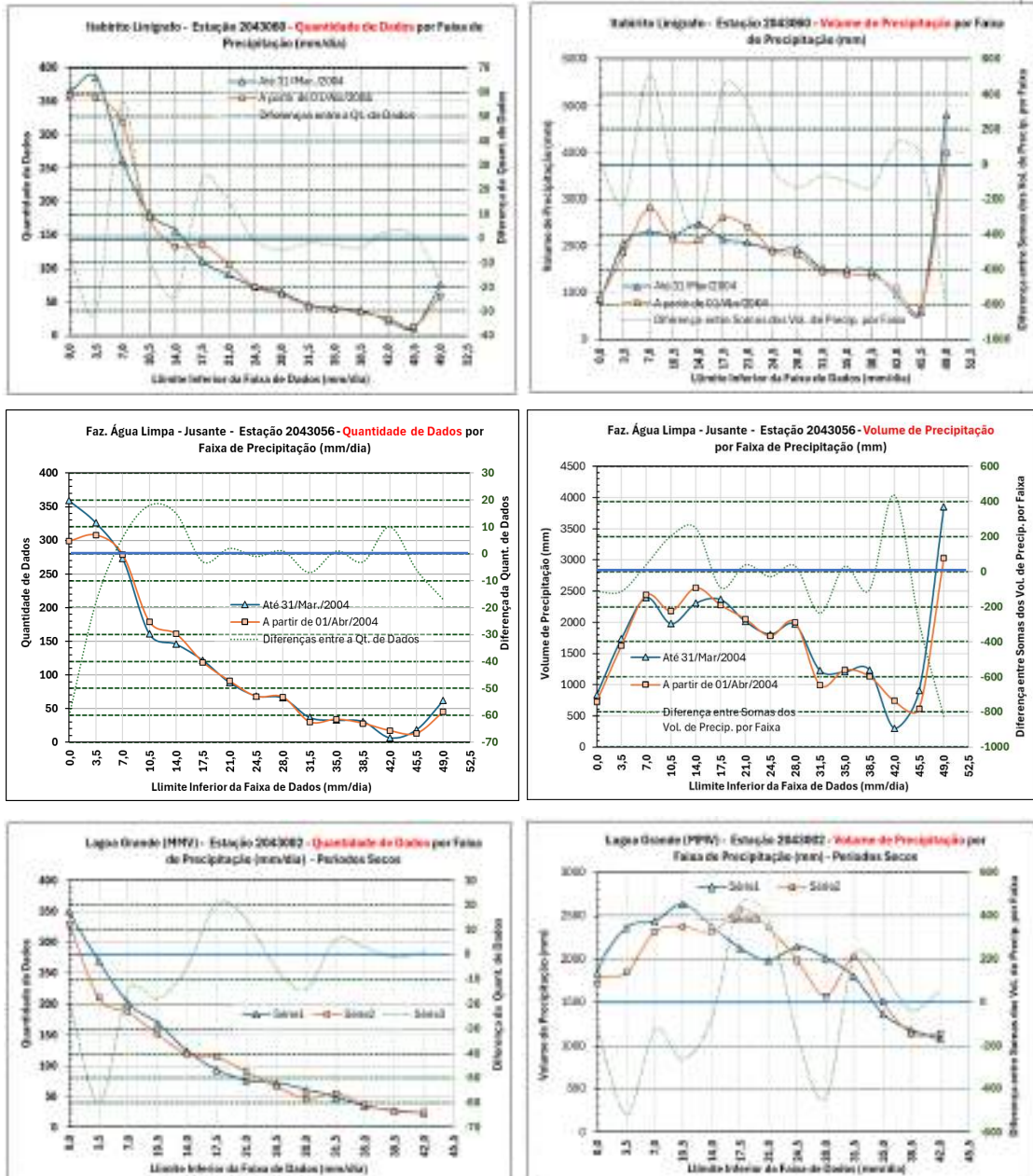
Para tentar avançar na detecção de tendências, no âmbito da análise de que trata o presente documento, a série da Estação Itabirito - Linígrafo foi dividida em dois períodos com igual quantidade de dias, sendo o primeiro de 27/01/1984 a 30/03/2004 e o segundo de 01º/04/2004 a 30/06/2024. Os valores de precipitação (maiores ou iguais 1,3 mm por dia) foram classificados em 14 faixas, de largura 3,5 mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 49,0 mm diários.

A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, mostrando as quantidades de dias de chuva em cada faixa de valores de precipitação diária.



Como exemplo de comparação permitida por esses histogramas, pode-se citar que nos primeiros 20,2 anos da série ocorreram 76 dias com chuva acumulada diária com valores superiores a 49 mm e nos últimos 20,2 anos, 59 eventos, uma redução de 22%.

A seguir são apresentados os gráficos de dispersão correspondentes às frequências mostradas nos histogramas acima. Para permitir a comparação direta, abaixo são apresentados os gráficos das estações Itabirito – Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV):



Pode-se ver, no gráfico de quantidade de dados (de dias de chuva) de Itabirito Linígrafo, que nos 20,2 anos mais recentes, contados a partir de 01º/04/2004, houve uma quantidade ligeiramente maior (ver diferença entre quantis, eixo vertical da esquerda) de dias chuvosos que nos 20,2 anos anteriores apenas nas faixas de precipitação de 4 a 10 mm, de 16 a 22 mm por dia e de 40 a 46 mm. Ou seja, nos últimos 20,2 anos houve uma redução geral da quantidade de dias de chuva exceto nas três faixas citadas. Essa redução nos dias de chuva reflete-se, também, como redução do volume de chuvas nas faixas correspondentes, como se pode constatar pelo gráfico de volumes de precipitação.

Nos gráficos de dispersão acima as curvas pontilhadas referem-se à diferença entre frequências em cada faixa. No caso dos volumes precipitados de Itabirito Linígrafo, a curva mostra diferenças positivas – tal como no caso das quantidades de dias de chuva – apenas entre 4 a 10 mm, entre 16 a 24 mm e entre 40 e 46 mm.

O aumento na quantidade anual de chuvas – principalmente chuvas de maior intensidade – não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água subterrânea para alimentar nascentes no período seco, pois essa disponibilidade está associada não apenas à distribuição



das chuvas (volume diário), mas também a diversos outros fatores, tais como o tempo de infiltração até a água atingir os aquíferos. Adicionalmente, chuvas de maior intensidade tendem a escoar rapidamente para os cursos d'água, provocando erosões, assoreamentos, deslizamentos e inundações, sem tempo para percolar pela terra e recarregar os aquíferos.

Pode-se considerar que as chuvas inferiores a 6 mm, principalmente se abaixo de 3,5 mm, por dia (que reduziram significativamente nos últimos 20,2 anos) têm pouca influência na recarga dos aquíferos, pois podem ficar retidas nas folhas da vegetação e na serrapilheira (parte da abstração inicial) e evaporar em seguida, bem como ser absorvidas pelas raízes e retornar à atmosfera por transpiração das plantas, não conseguindo se infiltrar mais no solo e chegar aos aquíferos.

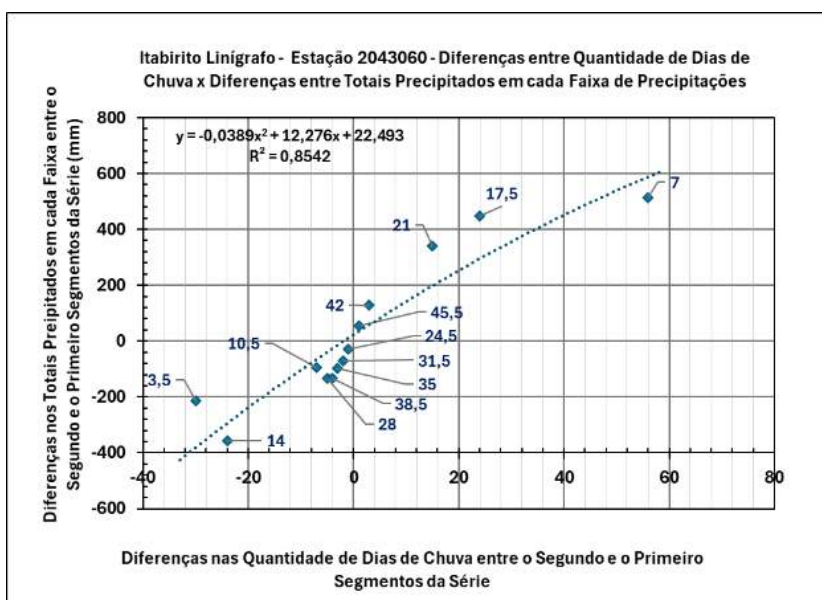
Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	364	358	849,3	864,4	-6	15
3,5	7,0	386	356	2056,2	1841,9	-30	-214
7,0	10,5	263	319	2298,4	2813,0	56	515
10,5	14,0	183	176	2242,0	2148,3	-7	-94
14,0	17,5	157	133	2462,7	2106,0	-24	-357
17,5	21,0	112	136	2145,9	2595,0	24	449
21,0	24,5	91	106	2072,2	2413,9	15	342
24,5	28,0	73	72	1911,0	1881,8	-1	-29
28,0	31,5	65	60	1931,0	1796,9	-5	-134
31,5	35,0	46	44	1527,5	1458,0	-2	-69
35,0	38,5	41	38	1508,5	1410,3	-3	-98
38,5	42,0	37	33	1475,7	1343,7	-4	-132
42,0	45,5	22	25	960,3	1088,4	3	128
45,5	49,0	12	13	566,3	620,0	1	54
49,0	300,0	76	59	4792,5	3981,2	-17	-811
Totais		1928	1928	28800	28363	0	-437

O primeiro ponto a notar nos dados acima refere-se à correspondência entre as diferenças de dias de chuva e as de total precipitado: em todas as faixas, os valores negativos das diferenças entre dias de chuva dos dois segmentos analisados correspondem a valores negativos do total precipitado, o mesmo se dando com relação aos valores positivos. Isso confirma a correlação entre as quantidades de precipitação e de dias de chuva, embora possam ocorrer exceções em outros casos.

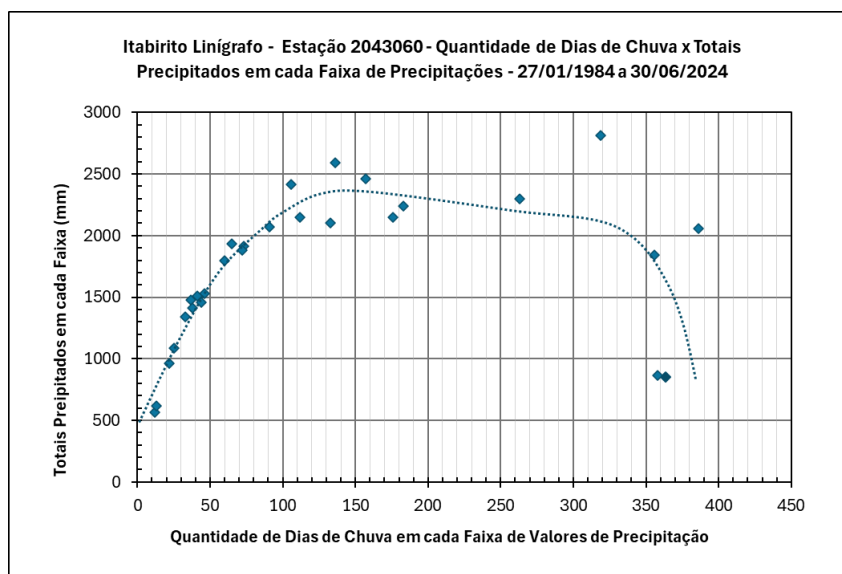
É importante observar que a maior redução de volume de precipitações por faixa ocorreu com valores diários superiores a 49 mm, ou seja, chuvas intensas, o inverso do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV). No total, durante os 40,4 anos da série, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 8.773,7 mm (15,34% do volume total). Nos primeiros 20,2 anos o volume dessas chuvas foi de 4.792,5 mm (contra 3.852,9 mm na Faz. Água Limpa e 6.728,9 mm na Lagoa Grande (MMV)) e nos 20,2 anos mais recentes, de 3981,2 (contra 3.027,1 mm na Faz. Água Limpa e 6.608,6 mm na Lagoa Grande (MMV)), uma redução de 16,9% no valor dos primeiros 20,2 anos (contra 21,4% na Faz. Água Limpa e 1,8% na Lagoa Grande (MMV)). Essa redução da intensidade na região das cabeceiras do Rio das Velhas contribuiu para reduzir o impacto do aumento da intensidade das chuvas diárias na região do Sinclinal Moeda (Lagoa Grande (MMV)) e dos riscos a elas associados,

Por outro lado, houve redução de 6,9% (contra 8,8% na Faz. Água Limpa e 7,1% na Lagoa Grande (MMV)) dos volumes dos chuviscos e chuvas fracas (chuvas diárias de 1,2 a 7,0 mm), volumes que podem não ser de significativa importância para a recarga dos aquíferos, principalmente se inferiores a 3 – 4 mm/dia.

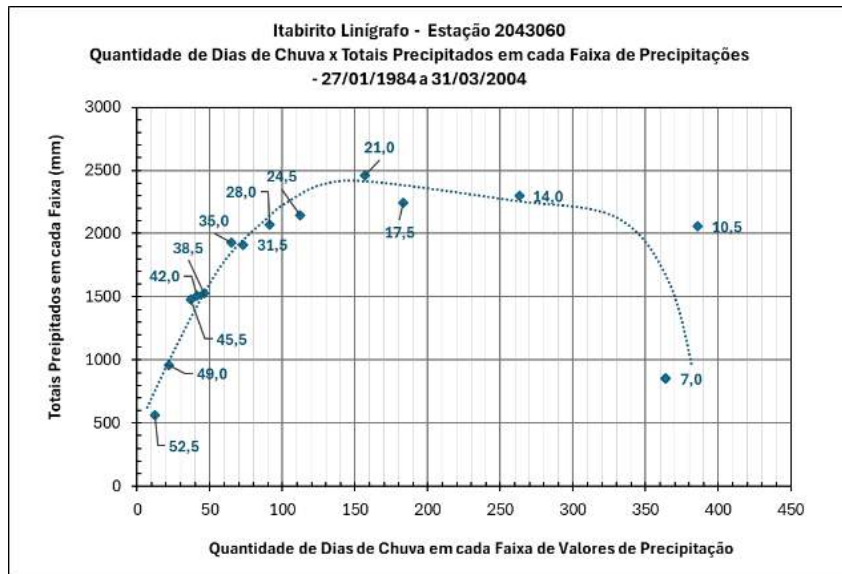
O gráfico a seguir apresenta a correlação entre as diferenças entre números de dias chuvosos e totais precipitados dos dois segmentos de 20,2 anos da série; os rótulos dos pontos indicam o limite superior da faixa de precipitações a que eles se referem:



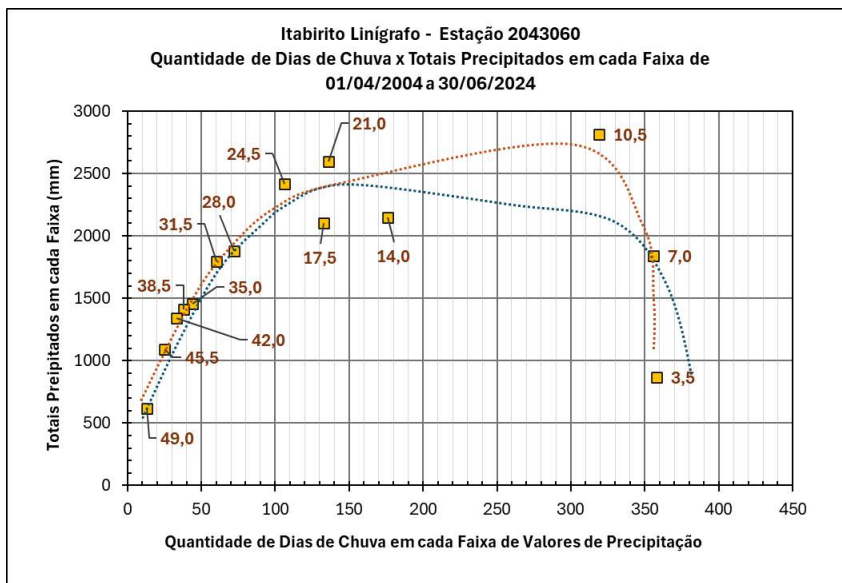
O gráfico abaixo mostra, para a série completa (40,4 anos) e desconsiderando as chuvas diárias com mais de 49 mm e as com menos de 3,5 mm a relação entre a quantidade de dias de chuva em cada faixa de valores de precipitação e os totais precipitados em cada faixa (mm). Tanto as maiores quanto as menores quantidade de dias de chuva correspondem a menores volumes de precipitação. Os maiores volumes (acima de 2.000 mm) de precipitação por faixa ocorreram com valores diários de precipitação entre 10,5 e 35,0 mm aproximadamente, valores esses informados pelos rótulos dos gráficos mais abaixo. Ou seja, chuvas moderadas foram responsáveis pelos maiores volumes precipitados (desconsiderando-se os volumes das chuvas torrenciais).



O gráfico a seguir, similar ao anterior, refere-se ao primeiro segmento de anos da série (de 27/01/1984 a 31/03/2004), destacando as relações referentes a esse período. Em geral, os menores valores de quantidade de dias referem-se à maiores faixas de precipitações, pois quanto maior o valor da precipitação, menor a sua ocorrência.



O gráfico a seguir, similar aos anteriores, refere-se ao segundo segmento de 20,2 anos da série (de 01º/04/2004 a 30/06/2024), destacando as relações referentes a esse período em comparação com as do período anterior (linha azul pontilhada), o que permite uma outra forma de comparação dos dois segmentos.



Conclusões da análise por faixas de valores diários de precipitação dos anuais (Anos Cívicos) dos dois segmentos de 20,2 anos cada - Estação Itabirito – Linígrafo:

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação na região da Estação Itabirito - Linígrafo, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984 a 2004 e 2004 a 2023) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

Alterações nas quantidades de dias chuvosos e nos volumes precipitados anuais (Anos Civis) da Estação Itabirito - Linígrafo – Nos últimos 20,2 anos (de 01/04/2004 a 30/06/2024), em comparação com os primeiros 20,2 anos (de 27/01/1984 a 31/03/2004):

- Nos últimos 20,2 anos (2004 a 2023), houve uma redução de 3,44% na quantidade de dias com chuva, quando comparado com os 20,2 anos anteriores (1984 a 2004).
- Apenas três faixas de precipitação apresentaram aumento na frequência de dias chuvosos: 4 a 10 mm, 16 a 24 mm e 40 a 46 mm.
- Houve redução de 6,86% nos volumes de chuviscos e chuvas fracas (faixa de 1,3 a 7,0 mm/dia), que podem ser de baixa relevância para recarga de aquíferos, pois geralmente não ultrapassam as camadas superficiais do solo e são perdidas por evaporação e transpiração, sem contribuir de modo significativo para a recarga subterrânea.
- Observou-se aumento na frequência (6,85% com relação ao valor da frequência dos primeiros 20,2 anos) e no volume das chuvas (5,61%) entre 7 e 21 mm/dia. O total precipitado nessa faixa foi de 18.811,3 mm (32,9% do total dos 40,4 anos).
- Houve pequeno aumento da frequência (0,47%) e do volume precipitado (3,02%) na faixa de 21 a 31,5 mm/dia. O total precipitado nessa faixa foi de 12.006,8 mm (21,00% do total dos 40,4 anos).
- Houve redução da frequência (4,11%) e do volume precipitado (3,14%) na faixa de 31,5 a 45,5 mm/dia. O total precipitado nessa faixa foi de 19.772,4 mm (18,85% do total dos 40,4 anos).
- Praticamente não houve alteração na frequência e no volume precipitado na faixa de 45,5 a 49,0 mm/dia
- Houve redução significativa (22%) no número de dias com chuvas superiores a 49 mm/dia, passando de 76 para 59 eventos. Em termos de volume, as chuvas intensas (> 49 mm/dia) tiveram uma redução de 16,9%, de 4792,5 mm para 3981,2 mm. Isso pode reduzir os riscos associados a chuvas muito intensas, como erosão, assoreamento e inundações, principalmente na região das cabeceiras do Rio das Velhas. O total precipitado nessa faixa foi de 8.773,7 mm (15,35% do total dos 40,4 anos).
- Há uma correlação direta entre a frequência de dias chuvosos e o volume total precipitado por faixa: faixas com menos dias tendem a ter menor volume total e vice-versa. Essa correlação fortalece o uso da análise por faixas como ferramenta para detecção de tendências hidrológicas e planejamento hídrico regional.

Tabela Comparativa: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) – Análise de Precipitações por Faixas – Valores Anuais (Anos Civis)

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito - Linígrafo
Período de análise	Dois períodos de 20,2 anos: • 18/01/1984 a 30/03/2004 • 01/04/2004 a 30/06/2024	Dois períodos de 26,3 anos: • 27/04/1971 a 12/08/1997 • 13/08/1997 a 30/11/2023	Dois períodos de 20,2 anos: • 27/01/1984 a 30/03/2004 • 01/04/2004 a 30/06/2024
Critério de inclusão	Precipitação diária \geq 1,3 mm	Precipitação diária \geq 1,3 mm	Precipitação diária \geq 1,3 mm
Classificação por faixas	14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm	14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm	14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito - Linígrafo
Tendência geral	Redução geral do número de dias chuvosos e dos volumes de precipitação com aumento apenas nas faixas de 6–17 mm e 39–44 mm	Redução de 101 dias chuvosos e 513 mm no total precipitado nos 26,3 anos mais recentes	Redução geral do número de dias chuvosos e dos volumes de precipitação com aumento apenas nas faixas de 4-10 mm, 16-24 mm e 40-46 mm.
Reduções marcantes	Faixas > 45,5 mm: redução de 27% nos eventos (>49 mm) Volume dessas chuvas caiu 23,4% (de 4755,8 mm para 3641,8 mm)	Faixa > 45 mm: +5 dias e + 680 mm Faixa 45,5–49 mm: –3 dias e –127 mm Faixas 3,5–17,5 mm: –255 dias e –2548 mm Faixa 28–35 mm: –20 dias e –598 mm	Faixas > 45,5 mm: redução de 22,4% nos eventos (>49 mm) O volume dessas chuvas diminuiu 16,9% (de 4792,5 mm para 3981,2 mm)
Aumentos relevantes	Faixas de 6–17 mm e 39–44 mm: ligeiro aumento de dias e volume (ex.: maior aumento em 39–44 mm) Volume maior nessas faixas	Faixa 1,3–3,5 mm: aumento de 78 dias e 297 mm Essas chuvas são podem ser pouco eficazes para recarga	Faixas de 4–10 mm, 16-24 e 40-46 mm: ligeiro aumento de dias e volume (ex.: maior aumento em 16-24 mm) Volume maior nessas faixas
Chuvas de maior contribuição ao volume total	Maiores volumes por faixa: chuvas moderadas (10,5–31,5 mm/dia) Chuvas torrenciais >49 mm: 16,3% do total em 40,4 anos	Reduções importantes em faixas moderadas, potencialmente críticas para recarga dos aquíferos	Maiores volumes por faixa: chuvas moderadas (10,5–35,5 mm/dia) Chuvas torrenciais >49 mm: 15,35% do total em 40,4 anos
Chuvas fracas (< 6 mm/dia)	Redução expressiva (–8,8% no volume de chuviscos e fracas) Essas chuvas possivelmente têm baixa capacidade de recarga efetiva	Aumento na faixa 1,3–3,5 mm pode ter pouca influência na recarga e até indicar mudança negativa na eficácia das chuvas	Redução expressiva (–6,8% no volume de chuviscos e fracas) Essas chuvas possivelmente têm baixa capacidade de recarga efetiva
Chuvas intensas (>45,5 mm/dia)	Forte redução: eventos intensos diminuiram 27% em frequência e 23,4% em volume Menor risco de erosões, inundações	Pequeno aumento (1,3%) do volume e da quantidade de dias com chuvas intensas (0,08%)	Forte redução: eventos intensos diminuiram 22% em frequência e 15,34% em volume Menor risco de erosões, inundações

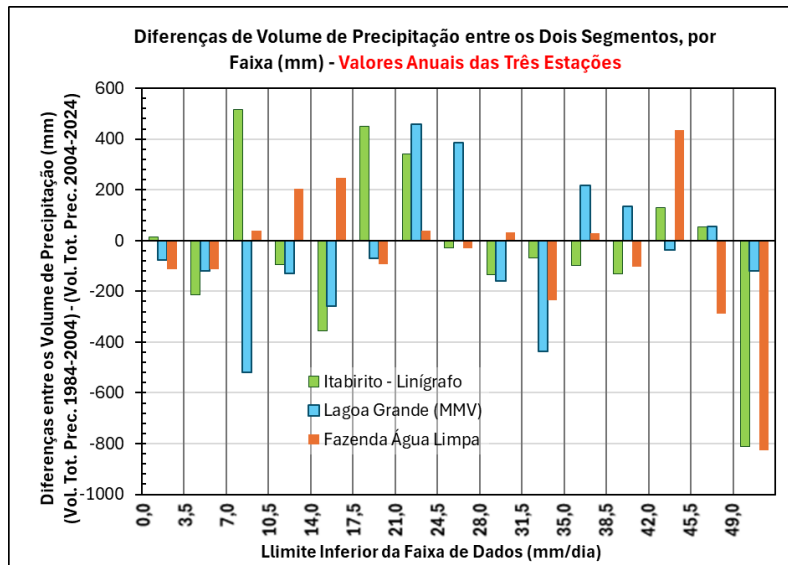
Tabela Comparativa 2: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) – Análise de Precipitações por Faixas – Valores Anuais (Anos Cívicos)

Indicador	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito Linígrafo	Fazenda Água Limpa	Conclusão Comparativa
Período de análise (anos)	2 segmentos de 20,2 anos			Mesma duração de análise em todas as estações, permitindo comparação direta.
Alteração total de dias chuvosos (número)	- 124 dias	0 dias	- 62 dias	Lagoa Grande e Fazenda Água Limpa tiveram queda e Itabirito Linígrafo não se alterou.
Alteração total de dias chuvosos com relação ao 1º segmento (%)	- 6,07%	0%	- 3,44%	Lagoa Grande mostra a maior redução percentual; Itabirito Linígrafo não se alterou.
Alteração total do volume precipitado (mm)	- 679 mm	- 437 mm	- 775 mm	Fazenda Água Limpa apresentou a maior queda de volumes precipitados e Itabirito Linígrafo, a menor. Em média, houve perda de 630 mm de chuva nas áreas representadas pelas três estações.



Alteração do volume precipitado (%) com relação ao 1º segmento (%)	- 2,06%	- 1,52%	- 2,96%	Ao longo dos 40,4 anos das séries não ocorreu uma alteração significativa, de longo prazo (20,2) dos volumes precipitados durante os anos civis. A perda percentual média dos últimos 20,2 anos com relação aos primeiros 20,2 anos foi de 2,18%.
Aumento de dias em faixas específicas (número)	43 dias	99 dias	53 dias	Itabirito Linígrafo apresentou o maior aumento de distribuição de dias de chuva em faixas de intensidade de precipitação.
Aumento do volume em faixas específicas (mm)	1.131 mm	1.502 mm	1.027 mm	Lagoa Grande e Fazenda Água Limpa apresentaram aumentos semelhantes e inferiores ao de Itabirito Linígrafo. O maior aumento – em valores absolutos – da distribuição de volumes de chuvas por faixas de intensidade de precipitação (mm/dia) ocorreu em Itabirito Linígrafo.
Aumento percentual do volume (%) nas faixas com relação ao 1º segmento (%)	3,43%	5,22%	3,92%	Percentualmente, os valores das alterações de distribuição por faixas são próximos, indicando uma uniformidade espacial das alterações. O aumento médio foi de 4,19%;
Redução de dias nas demais faixas (número)	- 169 dias	- 99 dias	- 115 dias	Lagoa Grande teve maior redução de dias em faixas específicas de intensidade diária de precipitação. Itabirito Linígrafo apresentou a menor redução.
Redução do volume nas demais faixas (mm)	- 1.930 mm	- 1.939 mm	- 1.802 mm	A menor redução – em valores absolutos – da distribuição de volumes de chuvas por faixas de intensidade de precipitação (mm/dia) ocorreu na Fazenda Água Limpa. No entanto, os três valores de redução não diferem significativamente uns dos outros.
Redução percentual do volume nas demais faixas com relação ao 1º segmento (%)	- 5,86%	- 6,73%	- 6,89%	Percentualmente, os valores das alterações de distribuição por faixas são próximos, indicando uma uniformidade espacial das alterações. A redução média foi de - 6,49%.
Volume total precipitado nos períodos úmidos (mm)	65.214 mm	57.162 mm	51.552 mm	Lagoa Grande possui maior volume acumulado e a Fazenda Água Limpa, o menor. A redução dos volumes totais precipitados ocorre rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa), mostrando a distribuição espacial das chuvas na bacia do Alto Rio das Velhas.
Volume do primeiro segmento (1984 a 2004) (mm)	32.947 mm	28.800 mm	26.164 mm	Proporção dos volumes iniciais segue padrão dos totais: Lagoa > Itabirito > Fazenda. A perda total de volume precipitado nos 49,4 anos nas áreas representadas pelas três estações foi de 1.891 mm (437 – 775 – 679), ou seja, apenas 2,15% do total precipitado no primeiro segmento (28.800 + 25.389 + 32.368 = 87.910 mm)
Volume do segundo segmento (2004 a 2024) (mm)	32.268 mm	28.363 mm	25.389 mm	Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande com queda mais sensível.

Os gráficos a seguir evidenciam as alterações nos volumes precipitados registrados pelas três estações.



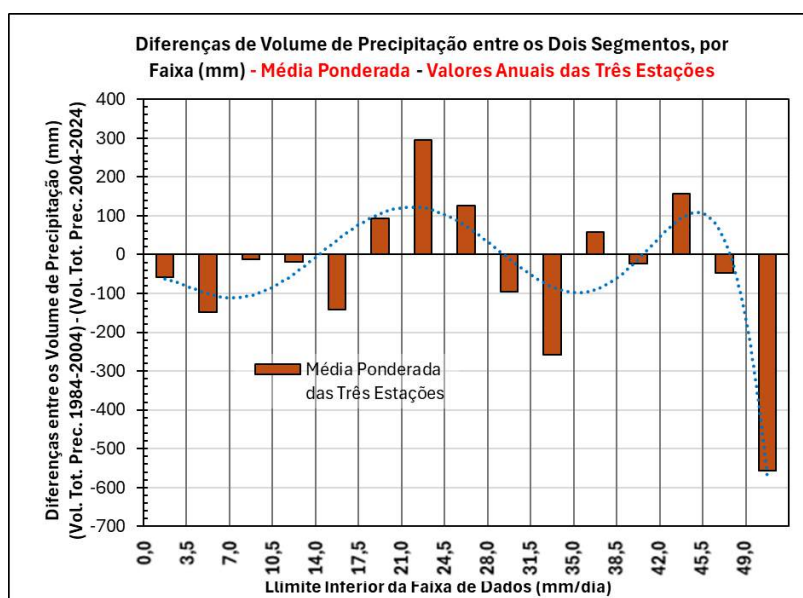
Pela quantidade e pela área das barras verticais que representam esses valores no gráfico acima, pode-se ver que, sob o aspecto da análise em recortes temporais de anos civis, houve ganhos e perdas de volumes precipitados em faixas intermediárias de valores diários (mm/dia), com comportamentos opostos entre as três estações em várias faixas de valores diários. No entanto, houve perdas significativas, nas três estações, em faixas de valores acima de 49,0 mm/dia. Ou seja, houve redução das chuvas mais intensas nas três estações em um cenário de aumento dos valores pontuais de eventos extremos, como o do dia 08 de janeiro de 2022.

Para permitir uma visualização global do cenário – e apenas com esse objetivo – calculou-se a média ponderada das alterações de volumes das três estações, sendo o fator de ponderação a quantidade total de chuvas precipitadas nos períodos secos em cada estação, ou seja, o valor do ganho ou da perda de volume de chuva de uma estação, em cada faixa, foi multiplicado pelo volume total precipitado (nos períodos secos) registrado pela estação em 40,4 anos e dividido pela soma dos volumes totais das três estações.

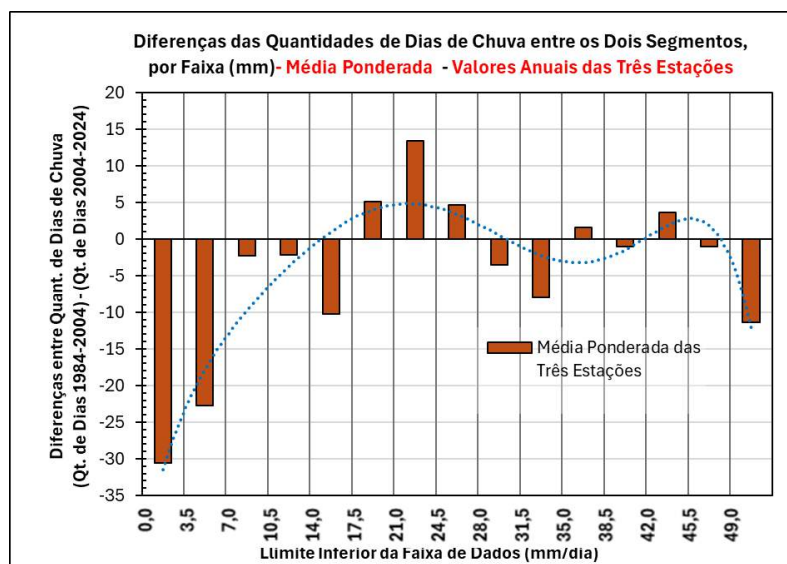
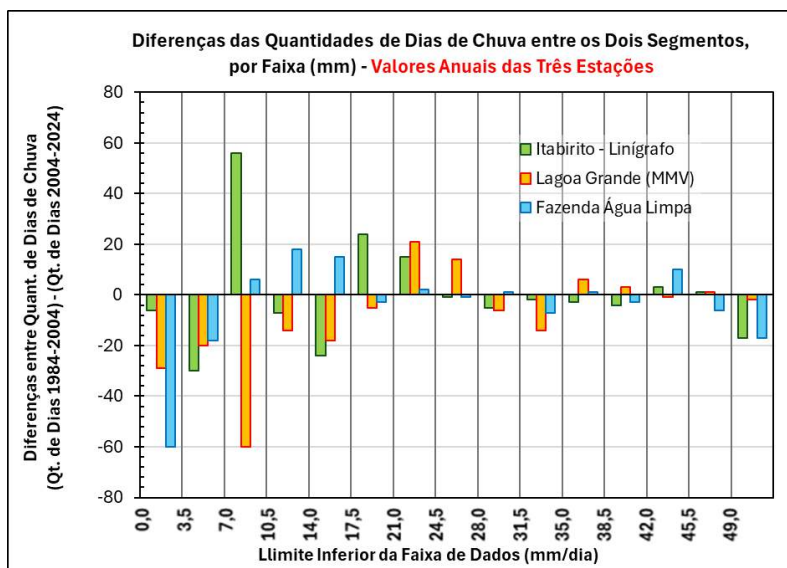
Deve-se salientar que essa média é um artifício matemático e não representa o efeito real das perdas e ganhos de volumes de precipitação, pois há diferenças entre as dimensões das áreas que são representadas pelas estações, entre a variação temporal e espacial, entre a permeabilidade dos solos dessas áreas, as características dos aquíferos de cada área (se freáticos ou confinados, se fraturados ou porosos), a distribuição das chuvas ao longo das horas do dia em cada estação etc.

A tabela e o gráfico das médias a seguir podem ser considerados “fotografias” do comportamento das chuvas dos períodos anuais e mostram a redistribuição das chuvas por intensidade diária de precipitação por meio das diferenças médias, em cada faixa, dos valores precipitados nos dois períodos de 20,2 anos. De forma geral, houve redução de volumes precipitados nas faixas de 1,3 a 17,5 mm/dia, de 28 a 35,0 mm/dia, 38,5 a 42,0 mm e acima de 45,5mm/dia, totalizando 1.359 mm. Nas demais faixas o ganho foi de 731 mm, com um saldo de -628 mm.

Limites das Faixas de Precipitações		Diferenças Médias Ponderadas	
Inferior	Superior	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	-31	-58
3,5	7,0	-23	-149
7,0	10,5	-2	-13
10,5	14,0	-2	-19
14,0	17,5	-10	-141
17,5	21,0	5	94
21,0	24,5	13	296
24,5	28,0	5	126
28,0	31,5	-4	-95
31,5	35,0	-8	-257
35,0	38,5	2	58
38,5	42,0	-1	-24
42,0	45,5	4	157
45,5	49,0	-1	-47
49,0	300,0	-11	-557
Totais		-65	-628



Os gráficos a seguir evidenciam as alterações nas quantidades de dias de chuvas das três estações. Pode-se ver que, nos valores anuais, houve redução da quantidade de dias de chuvas (um saldo de -68 dias na faixa de 1,3 a 17,5 mm/dia e -20 dias nas faixas superiores a 28 mm/dia. Na faixa de 17 a 28 mm/dia houve um ganho de 23 dias de chuva com um saldo de -65 dias de chuva. O gráfico da média ponderada das alterações de quantidades de dias de chuva nas três estações, assim como no caso anterior, espelha a redistribuição dos volumes precipitados pelas faixas de intensidade diária de precipitação.



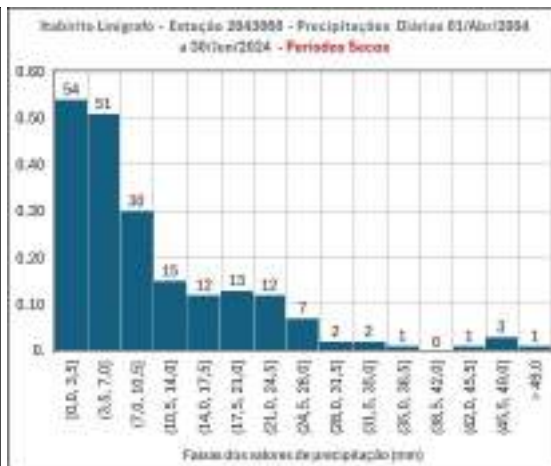
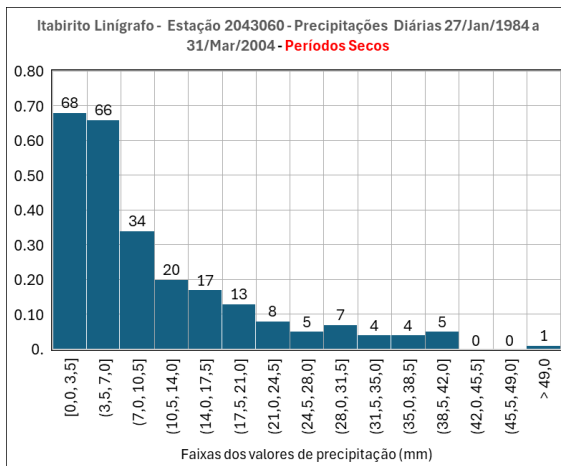
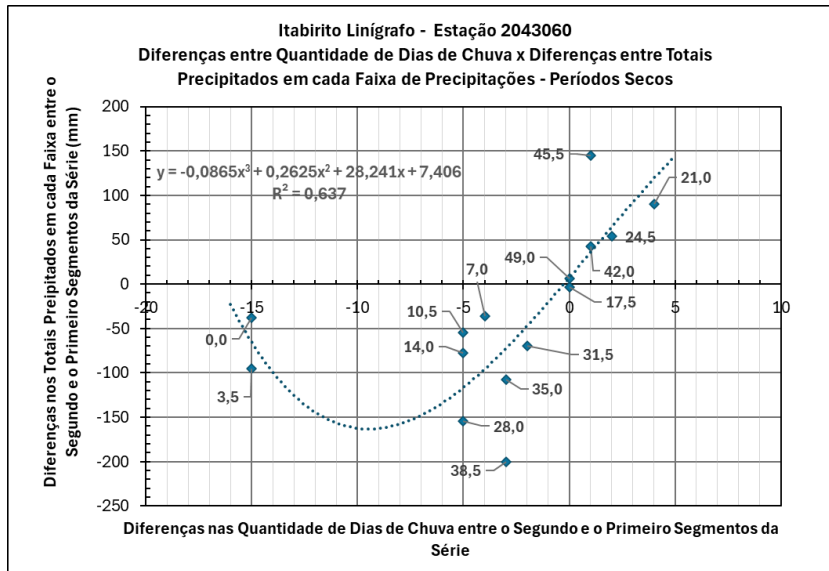
4.11.4.2 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Secos

Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos secos** que foram registrados na Fazenda Água Limpa a partir de 18/jan./1984 até 30/06/2024. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

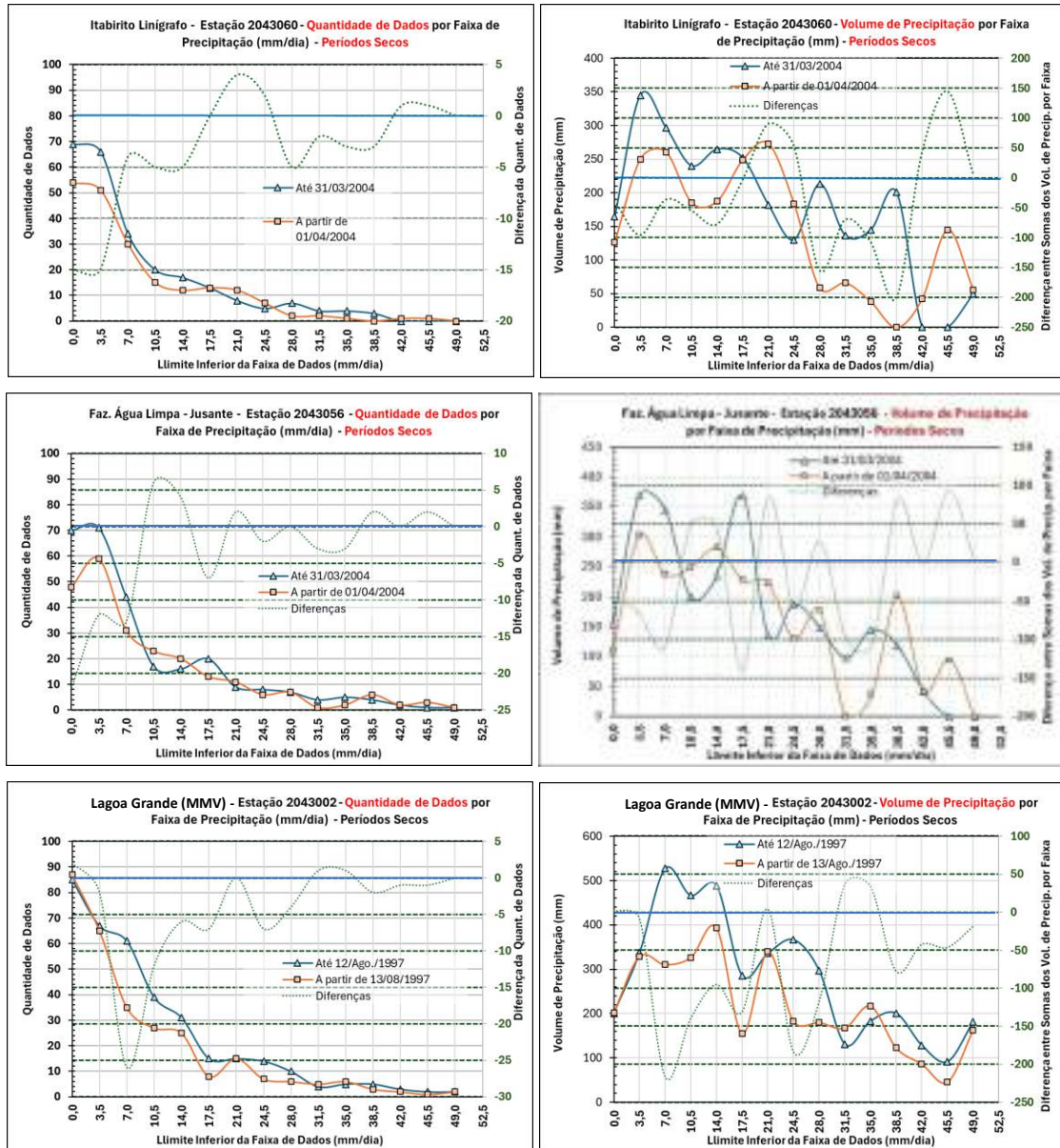
Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	68	54	164,4	126,4	-14	-38
3,5	7,0	66	51	345,0	249,7	-15	-95
7,0	10,5	34	30	297,0	260,7	-4	-36
10,5	14,0	20	15	240,1	185,6	-5	-55
14,0	17,5	17	12	264,9	187,5	-5	-77
17,5	21,0	13	13	251,9	248,7	0	-3
21,0	24,5	8	12	182,2	272,8	4	91
24,5	28,0	5	7	130,1	183,8	2	54
28,0	31,5	7	2	213,0	58,6	-5	-154



31,5	35,0	4	2	136,3	66,3	-2	-70
35,0	38,5	4	1	145,1	38,0	-3	-107
38,5	42,0	3	0	200,5	0,0	-3	-201
42,0	45,5	0	1	0,0	42,4	1	42
45,5	49,0	0	1	0,0	145,1	1	145
49,0	300,0	0	0	49,6	55,9	0	6
Totais		249	201	2620	2122	-48	-499



Para permitir a comparação direta, abaixo são apresentados os gráficos das estações Itabirito – Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV) :



Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos períodos secos dos dois segmentos de 20,2 anos cada da Estação Itabirito - Linígrafo:

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos períodos secos da série da Estação Itabirito - Linígrafo, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984-2004 e 2004-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

Alterações nas quantidades de dias chuvosos e nos volumes precipitados nos períodos secos da Estação Itabirito - Linígrafo – Nos últimos 20,2 anos (de 01/04/2004 a 30/06/2024), em comparação com os primeiros 20,2 anos (de 27/01/1984 a 31/03/2004):

- Houve uma redução total de 49 dias de chuva (19,1%) e de 499 mm de volume precipitado (19,03% do total precipitado nos primeiros 20,2 anos).
- Houve aumento de apenas 8 dias e de 338 mm (12,9% do volume total precipitado nos primeiros 20,2 anos) nas faixas 21,0 a 28,0 mm e acima de 42,0 mm de precipitações diárias.



- Houve uma redução de 57 dias e 837 mm de precipitações mas demais faixas (31,9% do total precipitado nos primeiros 20,2 anos), o que comprova que os períodos secos se tornaram mais secos.
- O maior volume de precipitações ocorreu com valores diários de 7 a 21 mm e a maior parte dos dias de chuva ocorreu na faixa de 1,3 a 14 mm diários, com redução progressiva nas faixas de maiores valores. No total, durante os 40,4 anos analisados, o volume precipitado nos períodos secos foi de 4.742 mm.
- Nos primeiros 20,2 anos o volume de chuvas dos períodos secos foi de 2.620 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 2.122 m, uma redução de 19,03%, o que comprova o agravamento das secas.
- A análise confirma uma tendência já apontada em outras abordagens feitas no presente documento: agravamento das secas, com redução das precipitações e dos dias de chuva dos períodos secos.

Os resultados sugerem que mudanças no regime de chuvas podem ter contribuído para a redução das vazões do Rio das Velhas nos períodos de recessão.

Tabela Comparativa: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) – Análise de Precipitações por Faixas – Períodos Secos

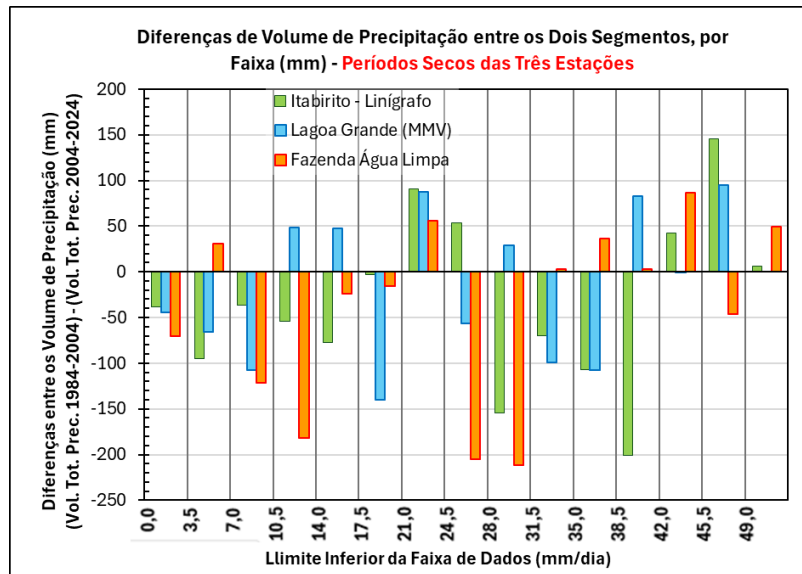
Indicador	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito Linígrafo	Fazenda Água Limpa	Conclusão Comparativa
Período de análise (anos)	2 segmentos de 20,2 anos	2 segmentos de 20,2 anos	2 segmentos de 20,2 anos	Períodos comparáveis. Ajuste permite comparação direta com Lagoa Grande.
Alteração total de dias chuvosos (número)	- 63 dias	- 49 dias	- 46 dias	Todas as estações tiveram perdas na quantidade de dias de chuva durante os períodos secos. A maior perda ocorreu na Lagoa Grande (MMV) e reduziu-se rumo a sudeste (Faz. Água Limpa teve a menor perda).
Alteração total de dias chuvosos com relação ao 1º segmento (%)	- 22,6%	- 19,3%	- 16,5%	Percentualmente, redução de dias de chuva foi maior na Lagoa Grande e diminuiu rumo a sudeste (Faz. Água Limpa teve a menor perda).
Alteração total do volume precipitado (mm)	- 612 mm	- 499 mm	- 234 mm	Em valores absolutos, a redução de volume de chuvas foi maior na Lagoa Grande e diminuiu rumo a sudeste (Faz. Água Limpa teve a menor perda).
Alteração do volume precipitado (%) com relação ao 1º segmento (%)	- 20,2%	- 19,03%	- 9,15%	Percentualmente, a redução de volume de chuvas foi maior na Lagoa Grande e diminuiu rumo a sudeste (Faz. Água Limpa teve a menor perda).
Aumento de dias em faixas específicas (número)	9 dias	8 dias	16 dias	Água Limpa teve maior aumento de dias em faixas específicas; Itabirito teve valor intermediário. Aumento rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Aumento do volume em faixas específicas (mm)	265 mm	338 mm	389 mm	Água Limpa teve maior aumento de volumes de chuvas em faixas específicas; Lagoa Grande teve o menor aumento. Aumento rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Aumento percentual do	8,75%	12,9%	15,2%	Percentualmente, o aumento de volumes de chuvas em faixas específicas foi maior na Faz.



volume (%) nas faixas com relação ao 1º segmento (%)				Água Limpa. Aumento rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Redução de dias nas demais faixas (número)	- 72 dias	- 56 dias	- 62 dias	A redução nas demais faixas foi maior na Lagoa Grande e menor em Itabirito – Linígrafo.
Redução do volume nas demais faixas (mm)	- 876 mm	- 837 mm	- 622 mm	Lagoa Grande teve maior redução de volumes de chuvas nas demais faixas; Faz. Água Limpa teve menor redução. Redução rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Redução percentual do volume nas demais faixas c/ relação ao 1º segmento (%)	- 29,0%	- 31,9%	- 24,4%	Lagoa Grande e Itabirito – Linígrafo tiveram a maior redução de volumes de chuvas nas demais faixas; Faz. Água Limpa teve menor redução. Redução rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Volume total precipitado nos períodos secos (mm)	5.442 mm	4.742 mm	4.869 mm	Lagoa Grande teve o maior aporte histórico de chuvas e Itabirito – Linígrafo, o menor.
Volume do primeiro segmento (1984 a 2004) (mm)	3.027 mm	2.620 mm	2.551 mm	Lagoa Grande teve o maior aporte histórico de chuvas nos primeiros 20,2 anos e a Faz. Água Limpa, o menor. Redução dos volumes precipitados rumo a sudeste (da Lagoa Grande para Água Limpa).
Volume do segundo segmento (2004 a 2024) (mm)	2.415 mm	2.122 mm	2.318 mm	Lagoa Grande teve o maior aporte histórico de chuvas nos últimos 20,2 anos e Itabirito – Linígrafo, o menor.

Os gráficos a seguir evidenciam as alterações nos volumes precipitados dos **períodos secos** das três estações.

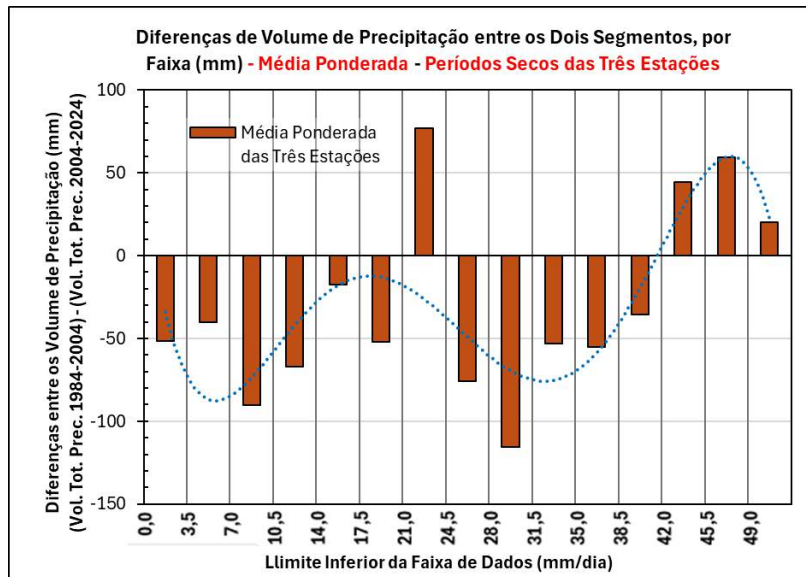
Pela quantidade e pela área das barras verticais que representam esses valores, pode-se ver que, nos períodos secos, as perdas de volume de precipitação na maior parte das faixas de valores diários e essas perdas superaram significativamente os ganhos em algumas faixas. Houve aumento das chuvas mais intensas dos períodos secos (acima de 45,5 mm/dia), chuvas essas que são raras nos períodos secos. O gráfico evidencia uma redução acentuada das chuvas nos períodos secos, ou seja, um agravamento significativo das secas nos últimos 20 anos em comparação com os 20 anos anteriores.



A tabela e o gráfico das médias a seguir mostram a redistribuição das chuvas por intensidade diária de precipitação por meio das diferenças médias, em cada faixa, dos valores precipitados nos dois períodos de 20,2 anos e podem ser considerados “fotografias” do comportamento das chuvas dos períodos secos e mostram claramente o agravamento das secas na Bacia do Alto Rio das Velhas em um cenário pontuado por aumento de chuvas intensas, raras nesse período.

De forma geral, houve redução de volumes em todas as faixas, exceto nas de 21,0 a 24,5 mm/dia e acima de 42,0 mm. As perdas totalizaram 653 mm e os ganhos, 201 mm, com um saldo de – 454 mm.

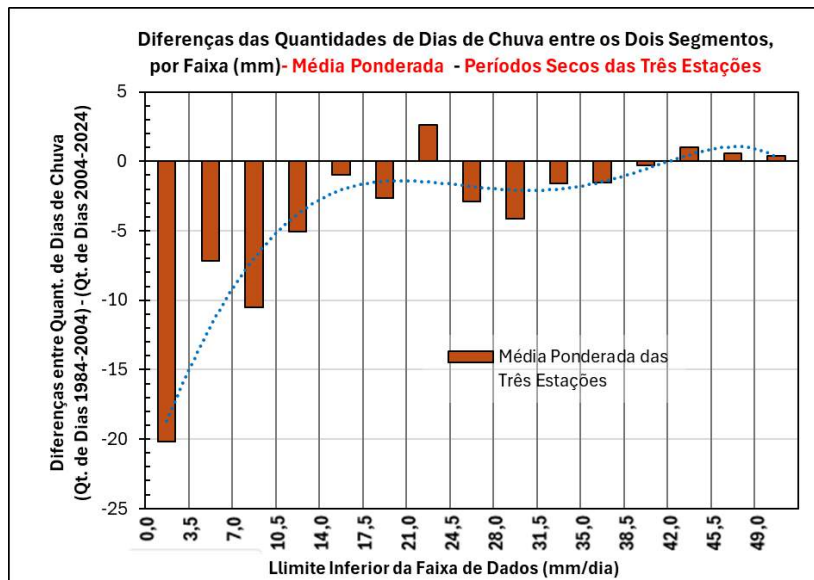
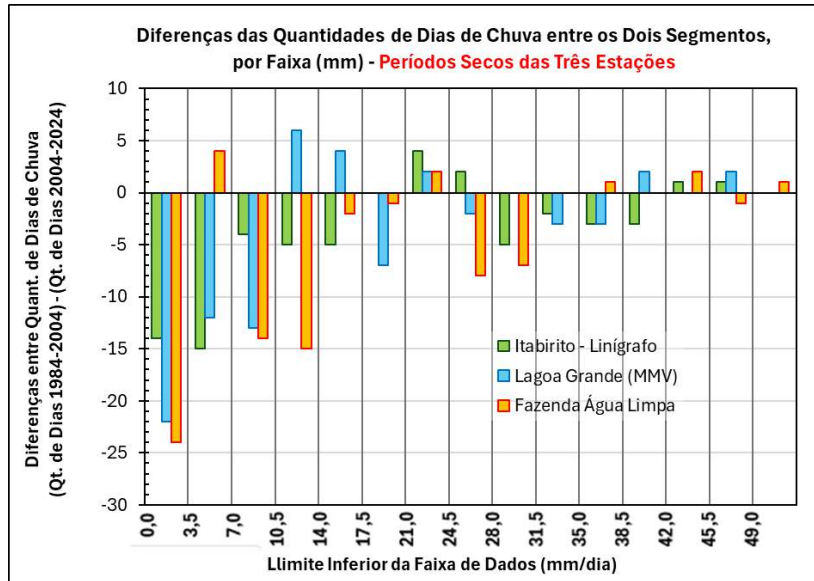
Limites das Faixas de Precipitações		Diferenças Médias Ponderadas	
Inferior	Superior	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	-20	-52
3,5	7,0	-7	-40
7,0	10,5	-11	-90
10,5	14,0	-5	-67
14,0	17,5	-1	-17
17,5	21,0	-3	-52
21,0	24,5	3	77
24,5	28,0	-3	-76
28,0	31,5	-4	-116
31,5	35,0	-2	-53
35,0	38,5	-2	-55
38,5	42,0	0	-35
42,0	45,5	1	44
45,5	49,0	1	59
49,0	300,0	0	20
Totais		-52	-454



Como já explicado no item anterior, esse gráfico permite a visualização do comportamento médio das chuvas nas estações, mas não representa o efeito real visto que esse depende de diversos parâmetros não espelhados pela média matemática (permeabilidade dos solos, dimensão da área representada por cada estação etc.)

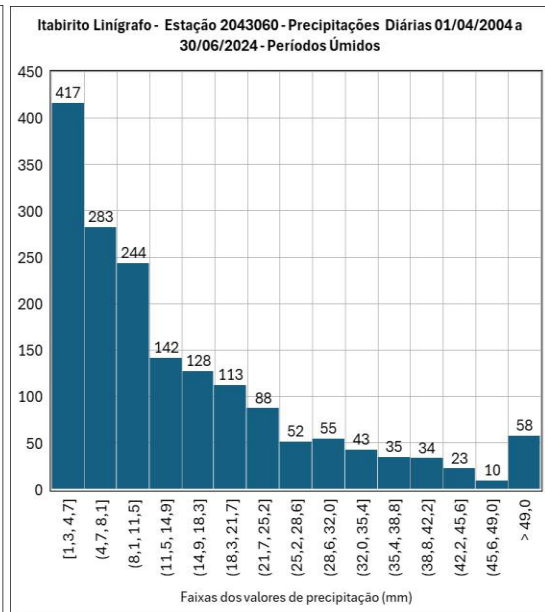
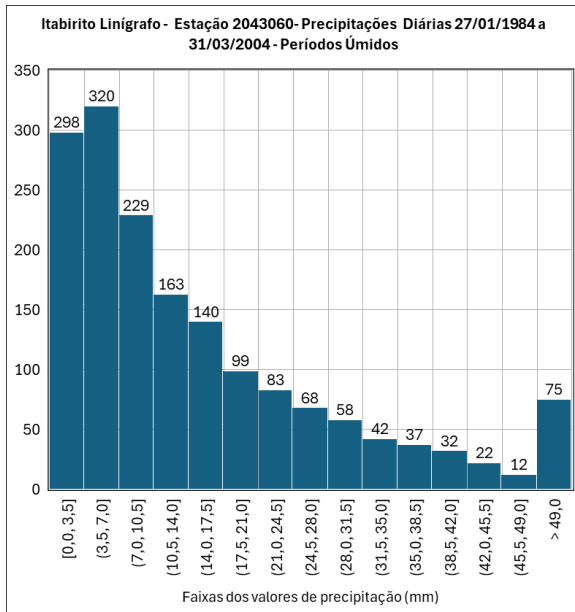
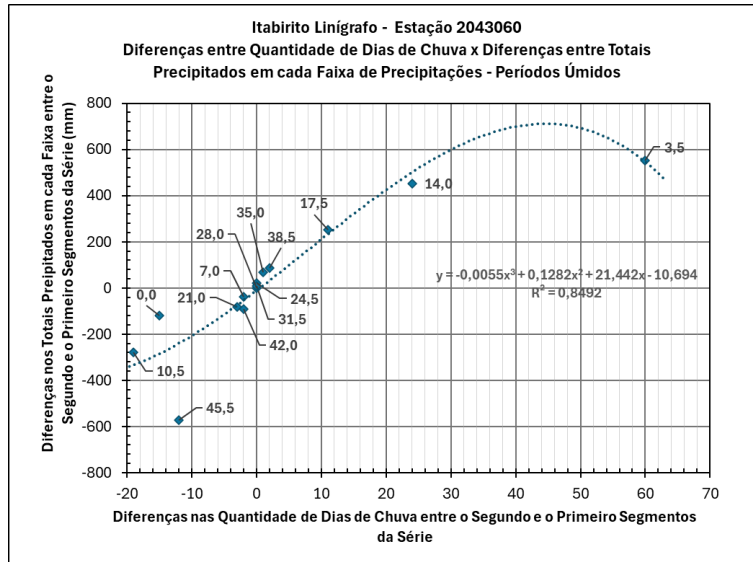
Os gráficos a seguir evidenciam as alterações nas quantidades de dias de chuvas das três estações. Pelo número e pela área das barras verticais que representam esses valores, pode-se ver que, nos períodos secos, houve redução da quantidade de dias de chuvas principalmente nas faixas de valores diários menores e as perdas totais superaram significativamente os pequenos ganhos em algumas faixas. Houve pouca variação na quantidade dos dias de chuvas com valores diários de precipitação superiores a 28 mm. O gráfico evidencia uma redução acentuada dos dias de chuva nos períodos secos, ou seja, um agravamento significativo das secas nos últimos 20 anos em comparação com os 20 anos anteriores. O gráfico das médias ponderadas das alterações de quantidades de dias de chuva nas três estações, assim como no caso anterior, espelha claramente a intensificação das secas.

Houve uma perda de 47 dias de dias de chuvas na faixa de 1,3 a 21,0 mm/dia e de 10 dias na faixa de 24,5 a 38,5 mm/dia. Na faixa de 21,0 a 24,5 mm/dia houve um ganho de 2 dias de chuva e na faixa acima de 42,0 mm, um ganho de 2 dias também, com um saldo de -52 dias de chuva. O gráfico da média ponderada das alterações de quantidades de dias de chuva nas três estações, assim como no caso anterior, espelha a redistribuição dos volumes precipitados pelas faixas de intensidade diária de precipitação.



4.11.4.3 *Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Úmidos*

Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos úmidos** que foram registrados na Fazenda Água Limpa a partir de 27/jan./1984 até 30/06/2024. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

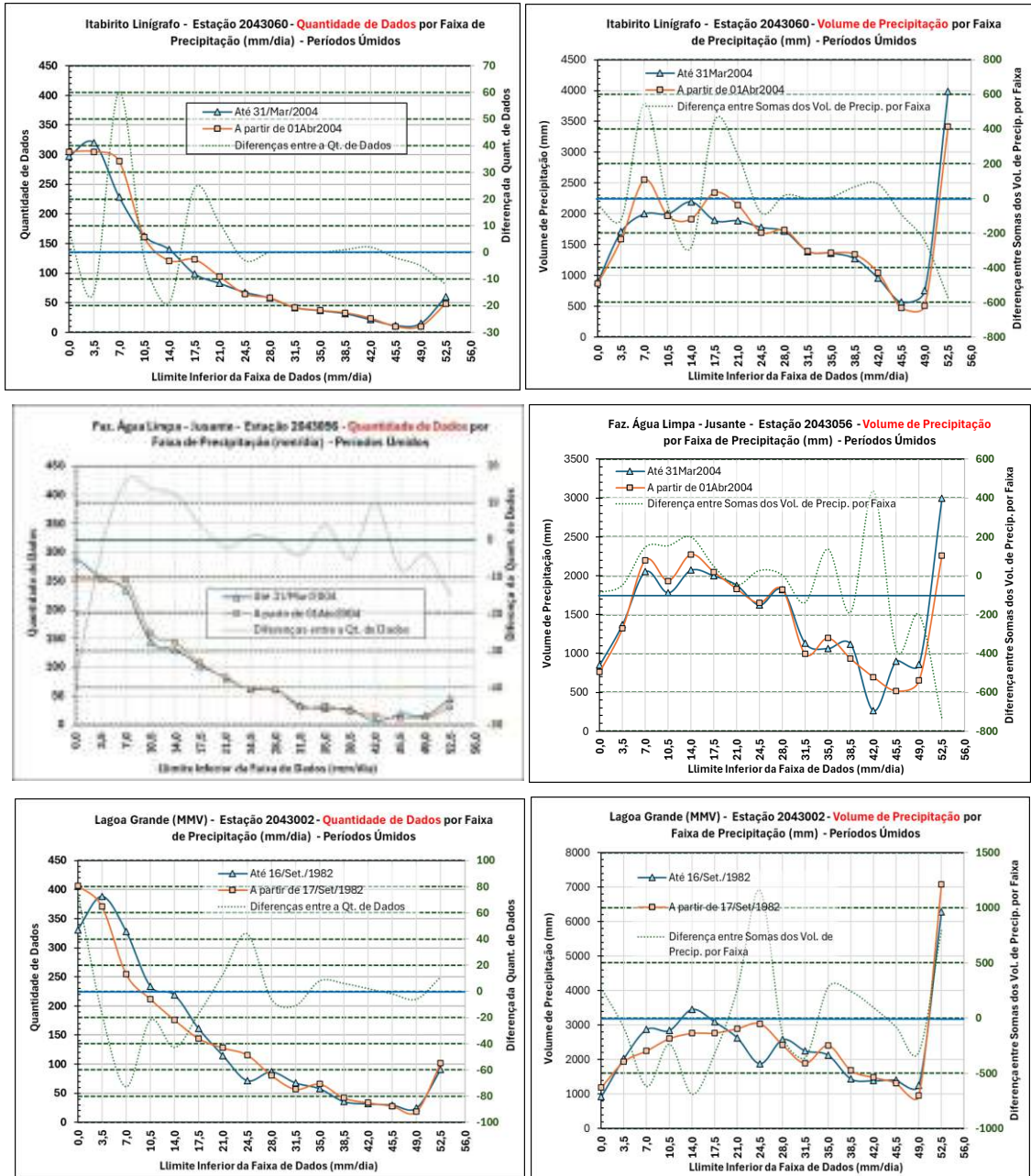


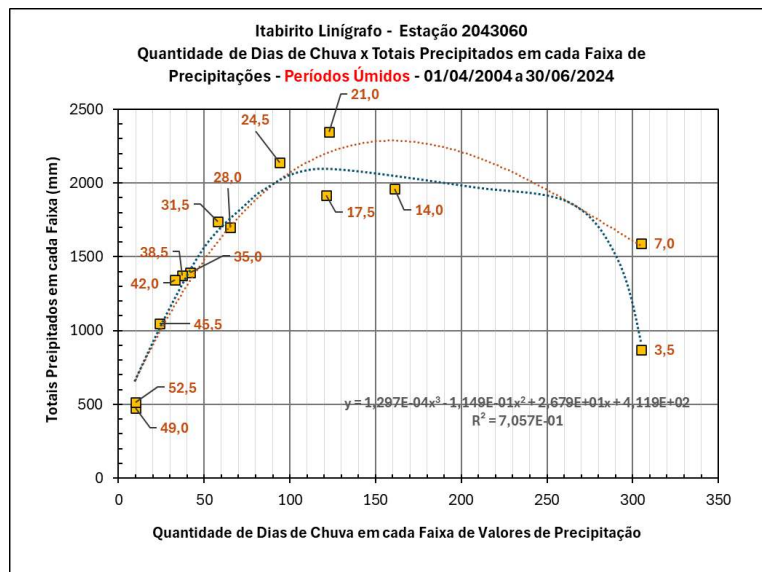
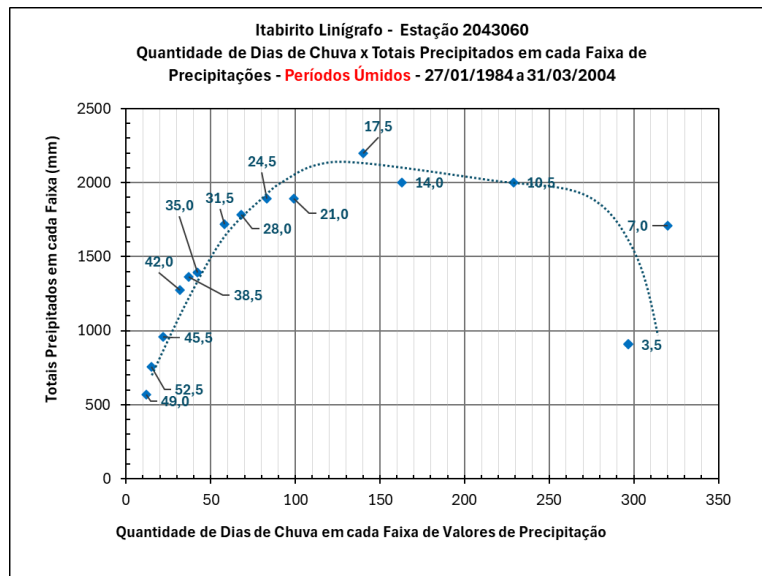
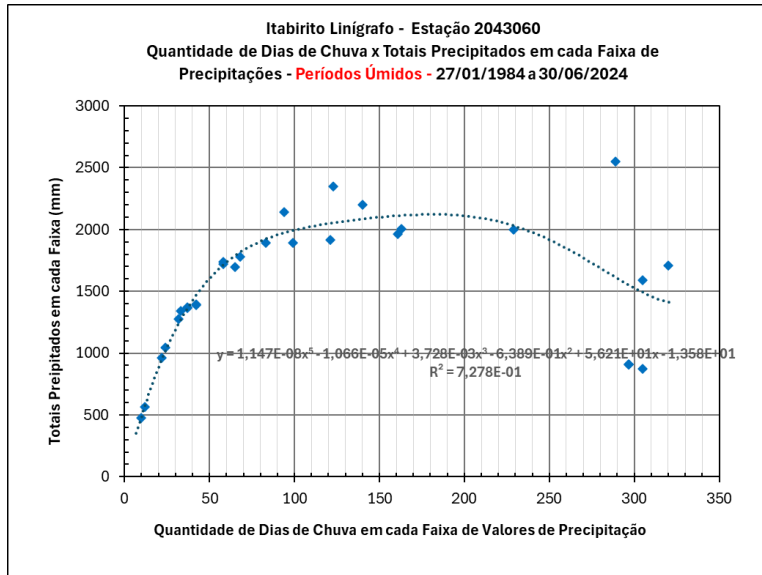
Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	297	305	684,9	738,0	8	53
3,5	7,0	320	305	1711,2	1592,2	-15	-119
7,0	10,5	229	289	2001,4	2552,3	60	551
10,5	14,0	163	161	2001,9	1962,7	-2	-39
14,0	17,5	140	121	2197,8	1918,5	-19	-279
17,5	21,0	99	123	1894,0	2346,3	24	452
21,0	24,5	83	94	1890,0	2141,1	11	251
24,5	28,0	68	65	1780,9	1698,0	-3	-83
28,0	31,5	58	58	1718,0	1738,3	0	20
31,5	35,0	42	42	1391,2	1391,7	0	1
35,0	38,5	37	37	1363,4	1372,3	0	9
38,5	42,0	32	33	1275,2	1343,7	1	69



42,0	45,5	22	24	960,3	1046,0	2	86
45,5	49,0	12	10	566,3	474,9	-2	-91
49,0	52,5	15	10	758,3	513,2	-5	-245
52,5	300,0	60	48	3984,6	3412,1	-12	-572
Totais		1677	1725	26179	26241	48	62

Para permitir a comparação direta, abaixo são apresentados os gráficos dos períodos úmidos das estações Itabirito – Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV) :





Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos períodos úmidos dos dois segmentos de 20,2 anos cada da Estação Itabirito - Linígrafo:



Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos **períodos úmidos** da série da Estação Itabirito - Linígrafo, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984-2004 e 2004-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

Alterações nas quantidades de dias chuvosos e nos volumes precipitados dos períodos úmidos da Estação Itabirito - Linígrafo – Nos últimos 20,2 anos (de 01/04/2004 a 30/06/2024), em comparação com os primeiros 20,2 anos (de 27/01/1984 a 31/03/2004):

- Nos primeiros 20,2 anos o volume de chuvas dos períodos úmidos, considerando-se todas as faixas de precipitação, foi de 26.401 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 26.374 mm, uma redução de 0,24%. Assim, houve um aumento total de apenas 62 mm (0,24%) de volume precipitado. Com relação à quantidade de dias de chuva, o aumento foi de 48 dias (2,86%). Essas diferenças percentuais apontam para uma tendência de estabilidade das precipitações dos períodos úmidos ao longo dos 40,4 anos da série.
- Houve uma redução de 58 dias de chuva (-3,5%) e de 1.429 mm (-5,41%) de volume precipitado em faixas diferentes de precipitação, principalmente acima de 45,5 mm/dia, apontando para uma redução das chuvas mais intensas. Esse comportamento é oposto ao verificado na Lagoa Grande (MMV) e permite afirmar que as precipitações dos períodos úmidos têm se intensificado nas partes mais altas da região Sinclinal Moeda e reduzido nas mais baixas (fundo do vale do Rio das Velhas).
- Houve um aumento de 106 dias (6,3%) e 1491 mm (5,7%) de precipitações mas demais faixas.
- Houve uma redução total de 15 dias e 119 mm de precipitações diárias entre 1,2 e 7,0 mm/dia, o que mostra alguma tendência de redução dos chuviscos e chuvas mais fracas também nos períodos úmidos, praticamente não significativos em termos de segurança hídrica e recarga de aquíferos, principalmente se inferiores a 3 – 4 mm/dia.
- Ao contrário do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV), houve um aumento de 63 dias (3,8%) e 685 mm (2,6%) de precipitações entre 7,0 mm e 21 mm por dia.
- Na faixa de 21,0 a 31,5 mm/dia houve um aumento de 8 dias (0,5%) e 189 mm (0,72%) de precipitações.
- Na faixa de 31,5 a 45,5 mm/dia houve um aumento de 3 dias (0,2%) e 164 mm (0,6%) de precipitações.
- Um volume muito grande de precipitações, com um total de 9.719,4 mm (18,5% de toda a precipitação dos períodos úmidos dos 40,4 anos) ocorreu com valores diários superiores a 45,5 mm.
- As chuvas com valores acima de 45,5 mm/dia reduziram-se nos últimos 20,2 anos em comparação com as chuvas da mesma faixa do período de igual duração anterior: 19 dias (1,1% a menos) e 909 mm (3,5% do valor total dos períodos úmidos a menos). Considerando-se apenas as precipitações com valores superiores a 45,5 mm, o volume dos primeiros 20,2 anos em Itabirito Linígrafo foi de 5.309,2 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 4.400,2 mm, uma redução 17,1%, o que denota a redução das chuvas muito fortes, ao contrário do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV).

O exame dos valores de precipitação diária da série da Estação Itabirito Linígrafo revelou que nos primeiros 20,2 anos o máximo ocorreu no dia 18/12/2000 (114,1 mm em 24 h) e nos últimos 20,2 anos os máximos ocorreram no dia 05/02/2017 (97,5 mm em 24 h) e no dia 09/01/2022 (189,6 mm em 24 h), o que pode indicar uma intensificação dos eventos extremos.

4.11.4.4 Conclusões da Comparação de Dois Períodos dos Últimos 40,2 Anos – Distribuição Volumétrica por Classes de Intensidade e Frequências

A comparação dos padrões de precipitação dos últimos 20,2 anos com os dos 20,2 anos anteriores de Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV) revela mudanças significativas na distribuição por faixas de intensidade das chuvas e nos padrões espaciais das precipitações da região do Alto Rio das Velhas, o que pode ter implicações diretas na recarga dos aquíferos e nas vazões do rio.

Pode-se considerar que as estações Itabirito Linígrafo e Fazenda Água Limpa representam a parte de menor altitude da bacia do Alto Rio das Velhas. A estação Itabirito Linígrafo está situada na margem esquerda do Rio Itabirito e registrou uma redução global dos dias e dos volumes de chuva, apresentando, assim, tendência a uma menor pluviosidade e agravamento das secas.

Tabela Comparativa: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) – Análise de Precipitações por Faixas – Períodos Úmidos

Indicador	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito Linígrafo	Fazenda Água Limpa	Conclusão Comparativa
Período de análise (anos)	2 segmentos de 20,2 anos	2 segmentos de 20,2 anos	2 segmentos de 20,2 anos	Mesma duração de análise em todas as estações, permitindo comparação direta.
Alteração total de dias chuvosos (número)	- 62 dias	+ 48 dias	- 16 dias	Lagoa Grande e Fazenda Água Limpa tiveram queda e Itabirito Linígrafo, aumento da quantidade de dias chuvosos.
Alteração total de dias chuvosos com relação ao 1º segmento (%)	- 3,51%	+2,86%	- 1,04%	Lagoa Grande mostra a maior redução percentual; Itabirito teve um aumento.
Alteração total do volume precipitado (mm)	- 71 mm	+ 62 mm	- 559 mm	Lagoa Grande e Itabirito Linígrafo, praticamente estáveis; Fazenda Água Limpa apresentou queda de volumes precipitados. Em média, houve perda de 189 mm de chuva nas áreas representadas pelas três estações.
Alteração do volume precipitado (%) com relação ao 1º segmento (%)	- 0,24%	+ 0,24%	- 2,37%	Lagoa Grande e Itabirito Linígrafo, praticamente estáveis; Fazenda Água Limpa apresentou queda de volumes precipitados. Ao longo dos 40,4 anos das séries não ocorreu uma alteração significativa, de longo prazo (20,2) dos volumes precipitados nos períodos úmidos.
Aumento de dias em faixas específicas (número)	53 dias	106 dias	61 dias	Itabirito Linígrafo apresentou o maior aumento de distribuição de dias de chuva em faixas de intensidade de precipitação.
Aumento do volume em faixas específicas (mm)	1.512 mm	1.491 mm	1.137 mm	Lagoa Grande e Itabirito Linígrafo apresentaram aumentos semelhantes e superiores ao da Fazenda Água Limpa. O maior aumento – em valores absolutos – da distribuição de volumes de chuvas por faixas de intensidade de precipitação (mm/dia) ocorreu na Lagoa Grande.
Aumento percentual do volume (%) nas	5,05%	5,70%	4,82%	Percentualmente, os valores das alterações de distribuição por faixas são bem próximos,