

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Matheus da Silva Frauches

**Estimativas de evapo(transpi)ração no Reservatório de Chapéu d'Uvas
(MG)**

**Juiz de Fora
2023**

Matheus da Silva Frauches

**Estimativas de evapo(transpi)ração no Reservatório de Chapéu d'Uvas
(MG)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão do Ambiente Construído.

Orientador: Fabio de Oliveira Sanches

Juiz de Fora
2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de
geração automática da Biblioteca Universitária da
UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

da Silva Frauches, Matheus.

Estimativas de evapo(transpi)ração no Reservatório de
Chapéud'Uvas (MG) / Matheus da Silva Frauches. -- 2023.
152 p. : il.

Orientador: Fabio de Oliveira Sanches
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal
de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, 2023.

1. Chapéu d'Uvas. 2. Reservatório. 3. microclima de reservatórios.
4. testes estatísticos. I. de Oliveira Sanches, Fabio, orient. II. Título.

Matheus da Silva Frauches

**Estimativas de evapo(transpi)ração no Reservatório de Chapéu d'Uvas
(MG)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão do Ambiente Construído.

Aprovada em 18 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr . Fabio de Oliveira Sanches - Orientador e Presidente
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) . Cássia de Castro Martins Ferreira
- Membro Interno Titular Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr . Vinícius Machado Rocha

- Membro Externo Titular
Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia

Prof Dr . Cézar Barra Rocha -
Membro Interno Suplente
Universidade Federal de Juiz de
Fora

Prof Dr Charlei Aparecido da Silva
- Membro Externo Suplente
Universidade Federal da
Grande Dourados

Juiz de Fora, 04/12/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Fabio de Oliveira Sanches, Professor(a)**, em 18/12/2023, às 10:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cassia de Castro Martins Ferreira, Coordenador(a) em exercício**, em 18/12/2023, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinícius Machado Rocha, Usuário Externo**, em 26/02/2024, às 15:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uf (www2.uf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1607436** e o código CRC **B8E88680**.

Dedico este trabalho para todos da minha família que me apoiaram em minhas decisões e aos professores nas diversas etapas da vida acadêmica que me ajudaram a visualizar o caminho até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que sempre me apoiou nas decisões da vida, que me levaram a este momento, gostaria de fazer um agradecimento aos professores do departamento de Geociências da UFJF, especialmente o Prof. Dr. Roberto Marques Neto (UFJF), por me dar a oportunidade de iniciar minha vida na pesquisa, gostaria de agradecer ainda os Prof(a)s. Dr(a)s. César Henrique Barra Rocha (UFJF), Cássia de Castro Martins Ferreira (UFJF) e Fabio de Oliveira Sanches (UFJF) pela participação nas etapas de qualificação e defesa deste trabalho, sendo o último ainda responsável pela minha orientação. Agradeço ainda o Prof. Dr. Vinícios Machado Rocha (UFRB), pela participação nesta banca e por ceder dados do ECMWF que foram importantes nesta pesquisa, e finalmente, gostaria de agradecer à CAPES, pela bolsa de fomento que me auxiliou neste trabalho.

RESUMO

De acordo com Lei Federal 9.433/97, conhecida como “Lei das Águas”, os reservatórios artificiais podem possuir usos diversos, que compreendem desde a geração de energia hidroelétrica, controle de volume e vazão à jusante do barramento. Dessa forma é necessário gerar dados que possam ser utilizados para entender as condições de quantidade das águas do manancial. Os resultados do trabalho mostraram tendência de aumento na Evapotranspiração Potencial (ETP), estimada a partir do método de *Thornthwaite & Mather* (1955), sendo que esta tendência foi significativa nos meses de setembro, outubro e dezembro, redução nos índices pluviométricos e tendência de aumento das temperaturas médias mensais, as tendências mais significativas ocorrem nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, meses da estação chuvosa, o que pode vir a causar problemas referentes à quantidade de água disponível no reservatório no futuro, principalmente se a estação seca estiver de fato se prolongando. Soma-se a isso as ocupações desordenadas nas margens do reservatório de Chapéu d’Uvas (área de APP) que podem comprometer a quantidade e qualidade das águas represadas. O presente trabalho busca avançar na compreensão do microclima em reservatórios, através do uso de testes estatísticos, tais como o teste de avaliação de tendências de *Mann-Kendall* (MK).

Palavras-chave: Chapéu d’Uvas; Reservatório; microclima em reservatórios; testes estatísticos.

ABSTRACT

According to Federal Law 9,433/97, known as the “Water Law”, artificial reservoirs can have different uses, ranging from the generation of hydroelectric energy, volume control and flow downstream of the dam. Therefore, it is necessary to generate data that can be used to understand the quantity conditions of the water source. The results of the work showed an increasing trend in Potential Evapotranspiration (PET), estimated using the *Thornthwaite & Mather* (1955) method, with this trend being significant in the months of September, October and December, a reduction in rainfall and a tendency to increase in average monthly temperatures, the most significant trends occur in the months of September, October, November and December, months of the rainy season, which may cause problems regarding the amount of water available in the reservoir in the future, especially if the season is dry is actually prolonging. Added to this are the disorderly occupations on the banks of the Chapéu d’Uvas reservoir (PPA area) which can compromise the quantity and quality of the dammed waters. The present work seeks to advance the understanding of the microclimate in reservoirs, through the use of statistical tests, such as *the Mann-Kendall* (MK) trend assessment test.

Keywords: Chapéu d’Uvas; Reservoir; microclimate in reservoirs; statistical tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Pag.
Figura 1 - Exemplos de chamadas jornalísticas sobre a situação de seca prolongada em 2021.	22
Figura 2 - Relação entre Massas d'água naturais e artificiais no Brasil.	23
Figura 3 - Reservatórios mais representativos do Brasil por região.	24
Figura 4 - Conceitos relacionados aos Mananciais.	29
Figura 5 - Evapotranspiração média anual estimada através do produto MODIS MOD16A2GF. A figura (a) representa o resultado antes da correção de viés e (c) após a correção.	42
Figura 6 - Tanque Classe A.	47
Figura 7 - Representação gráfica dos modelos CRAE e CRLE.	50
Figura 8 - Mapa de Localização do Reservatório da represa de Chapéu d'Uvas.	57
Figura 9 - Esquema dos mananciais de abastecimento de Juiz de Fora.	58
Figura 10 - Climograma para o município de Juiz de Fora, de acordo com as Normais climatológicas de 1991-2020.	59
Figura 11 - Sistemas Atmosféricos atuantes no Brasil.	60
Figura 12 - Exemplos de relevo de morros mamelonizados, fazendo a transição para as cristas da Serra da Mantiqueira, nas proximidades dos reservatórios (1) Chapéu d'Uvas; (2) João Penido.	62
Figura 13 - Tendência de variação de Temperaturas médias mensais no Reservatório de Chapéu d'Uvas.	70
Figura 14 - Tendências das temperaturas médias para os meses de setembro e outubro.	72

Figura 15 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de janeiro.	74
Figura 16 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de fevereiro.	74
Figura 17 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de março.	75
Figura 18 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de abril.	76
Figura 19 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de maio.	76
Figura 20 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de junho.	77
Figura 21 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de julho.	78
Figura 22 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de agosto.	78
Figura 23 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de setembro.	79
Figura 24 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de outubro.	80
Figura 25 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de novembro.	81
Figura 26 - Anomalia das chuvas mensais para os meses de dezembro.	82
Figura 27 - Evapotranspiração Mensal e linhas de tendência para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	86
Figura 28 - Evapotranspiração mensal e linhas de tendência para setembro e outubro.	87
Figura 29 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para janeiro, com os respectivos desvios-padrões.	89
Figura 30 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para fevereiro, com os respectivos desvios-padrões.	90
Figura 31 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para março, com os respectivos desvios-padrões.	91
Figura 32 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para abril, com os respectivos desvios-padrões.	92

Figura 33 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para maio, com os respectivos desvios-padrões.	93
Figura 34 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para junho, com os respectivos desvios-padrões.	94
Figura 35 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para julho, com os respectivos desvios-padrões.	95
Figura 36 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para agosto, com os respectivos desvios-padrões.	96
Figura 37 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para setembro, com os respectivos desvios-padrões.	97
Figura 38 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para outubro, com os respectivos desvios-padrões.	98
Figura 39 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para novembro, com os respectivos desvios-padrões.	99
Figura 40 - Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial para dezembro, com os respectivos desvios-padrões.	100
Figura 41 – Balanço hídrico mensal para o ano de 1972	103
Figura 42 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1973	103
Figura 43 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1974	104
Figura 44 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1975	104
Figura 45 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1976	105
Figura 46 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1977	106
Figura 47 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1978	106
Figura 48 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1979	107
Figura 49 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1980	107
Figura 50 - Balanço Hídrico mensal para o ano de 1981	108
Figura 51 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1982	108
Figura 52 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1983	109
Figura 53 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1984	110
Figura 54 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1985	110
Figura 55 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1986	111

Figura 56 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1987	112
Figura 57 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1988	112
Figura 58 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1989	113
Figura 59 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1990	114
Figura 60 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1991	115
Figura 61 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1992	116
Figura 62 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1993	116
Figura 63 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1994	117
Figura 64 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1995	118
Figura 65 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1996 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	119
Figura 66 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1997 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	120
Figura 67 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1998 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	121
Figura 68 - Balanço hídrico mensal para o ano de 1999 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	122
Figura 69 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2000 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	123
Figura 70 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2001 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	123
Figura 71 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2002 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	124
Figura 72 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2003 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	125
Figura 73 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2004 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	126
Figura 74 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2005 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	127
Figura 75 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2006 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	128
Figura 76 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2007 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	128

Figura 77 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2008 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	129
Figura 78 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2009 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	130
Figura 79 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2010 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	130
Figura 80 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2011 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	131
Figura 81 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2012 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	132
Figura 82 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2013 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	132
Figura 83 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2014 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	133
Figura 84 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2015 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	134
Figura 85 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2016 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	135
Figura 86 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2017 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	136
Figura 87 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2018 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	137
Figura 88 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2019 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	137
Figura 89 - Balanço hídrico mensal para o ano de 2020 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.	138
Figura 90 - Situações Anômalas ocorridas em relação ao balanço hídrico mensal do reservatório de Chapéu d'Uvas para a série histórica analisada.	142

LISTA DE TABELAS E QUADROS

	Pag.
Tabela 1 - População residente na área da BCRCD (Bacia de Contribuição da Represa Chapéu d'Uvas), com base no censo demográfico do IBGE de 2010.	63
Tabela 2 - Tendências de Temperaturas mensais para a área do reservatório de Chapéu d'Uvas.	73
Tabela 3 - Resumo das análises de anomalias de chuva para a série histórica em questão.	83
Tabela 4 - Scores do teste MK para a ETP no reservatório da represa de Chapéu d'Uvas.	87
Tabela 5 - Resumo das ocorrências de excedentes e déficits hídricos provenientes do resíduo de chuvas e evapotranspiração potencial para a região do reservatório de Chapéu d'Uvas.	101
Quadro 1 - Resumo dos BHM para a série histórica analisada.	139

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas.

APP – Área de Preservação Permanente.

BCRCD – Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu d'Uvas.

BHM – Balanço Hídrico Mensal.

BHPS – Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul.

CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

CRAE – *Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*

CRLE – *Complementary Relationship Lake Evaporation*

EC – *Eddy Correlation*.

ECMWF - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias.

ENOS – *El Niño* Oscilação Sul.

ETP – Evapotranspiração Potencial.

FAO 56/PMF-56 – *Food and Agriculture Organization/Penman-Monteith*.

GCM – *Global Circulation Model*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

JBN – Jatos de Baixos Níveis.

MDE – Modelo Digital de Elevação.

METRIC – *Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration*.

MK – Teste de Tendências de *Mann-Kendall*.

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

ODP – Oscilação Decadal do Pacífico.

OMM – Organização Meteorológica Mundial.

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos.

SCS-CN – *Soil Conservation Services-Curve Number*.

SEBAL – *Surface Energy Balance Algorithm for Land*.

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

TSA – *Tropical South Atlantic*.

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora.

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá.

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul.

ZCOU – Zona de Convergência de Umidade.

SUMÁRIO

	Pag.
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Justificativa	26
1.2 Hipótese	27
1.3 Objetivo Geral	27
1.3.1 Objetivos Específicos	27
2 ARCABOUÇO TEÓRICO	29
2.1 Reservatórios Hídricos e a Climatologia	30
2.2 Legislações que afetam a gestão dos recursos hídricos no entorno de reservatórios hídricos	34
2.3 Técnicas de estimativa de Evaporação e Evapotranspiração em reservatórios hídricos	36
2.4 Uso e Ocupação da terra e Balanço Hídrico	53
3 METODOLOGIA	57
3.1 Caracterização da área de estudo	57
3.2 Apresentação do método de Thorntwaite & Mather (1955) e dos dados de temperatura e pluviosidade utilizados	63
3.3 Avaliação de Tendências	65
3.4 Análise de Anomalias de Chuvas	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 Tendência das temperaturas	69
4.2 Análise das anomalias de chuvas	73
4.3 Estimativa de Evapotranspiração e Análise de tendência	85
4.4 Análise de resíduo (Chuva-ETP)	88

4.5 Análise dos extratos de Balanço Hídrico Mensal	101
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
6 REFERÊNCIAS	145

1. INTRODUÇÃO

Os reservatórios artificiais são uma realidade em vários municípios do Brasil, além de serem utilizados em diversos países, possuindo várias finalidades, de acordo com as características dos locais onde estão instalados.

Como preconiza a Lei 9.433/97, conhecida como “Lei das Águas”, os reservatórios artificiais podem possuir usos diversos, que compreendem desde a geração de energia hidroelétrica, controle de volume e vazão à jusante do barramento (Frauches et al, 2020), atividades de piscicultura e de lazer (Migliorini et al, 2010).

Ressalta-se que estes múltiplos usos não são excludentes tal como demonstram Pertille e Lanzer (2006) ao apontarem um crescimento das atividades turísticas, principalmente nos reservatórios de hidroelétricas, sendo possível que um reservatório possa servir para geração de energia hidroelétrica, piscicultura e atividades de lazer, como é o caso do reservatório de Furnas, localizado na Bacia hidrográfica do rio Grande, região Sul de Minas Gerais e um dos maiores reservatórios do Sudeste do Brasil.

Sendo assim, considerando tal contexto, julga-se necessário direcionar investimentos técnicos e humanos na gestão destes recursos, para que estejam disponíveis para o uso pelo maior tempo possível. Para tal, é necessário conhecer os fluxos energéticos e o saldo hídrico que se coloca disponível no sistema (Wang et al., 2015), de forma a balizar as decisões e políticas públicas para facilitar o processo administrativo de recursos vitais para a sobrevivência da sociedade. De acordo com Mutti (2018, p.20).

A crescente demanda de água, motivada sobremaneira pelo acentuado crescimento populacional, implica na necessidade cada vez maior de se conhecer as variáveis que afetam o ciclo hidrológico no contexto de uma bacia hidrográfica. No âmbito regulatório, a Lei 9.433/97 – Política Nacional de Recursos Hídricos – delimitou a importância das bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos (BRASIL, 1977), principalmente no que diz respeito à distribuição e aos usos múltiplos da água em caráter local, regional e nacional.

Quando são utilizados como mananciais de abastecimento, esses reservatórios garantem a disponibilidade de água durante o ano inteiro (Pereira et al, 2019; Varas & Varas, 2021), com menos variação em relação ao sistema de captação direta do canal fluvial. Reservatórios podem ser ainda utilizados

para a geração de energia elétrica, quando o represamento é feito em um contexto de desnível de rios planálticos, ou podem ainda apresentar um uso de regulação de vazão e volume de um canal fluvial.

Estas estruturas são imprescindíveis em períodos de secas prolongadas ou outras catástrofes que dificultem o acesso à água (INEA, 2018; ANA, 2021), tais como os ocorridos entre os anos de 2014 e 2015. Um exemplo de utilização de reservatório artificial durante o referido período é o Sistema Cantareira (Porto, Porto e Palermo, 2014), fruto de uma transposição de águas da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul (BHPS) (rios Jaguari – Atibainha) e um dos maiores sistemas de abastecimento público do país, responsável por abastecer uma população de aproximadamente 9,4 milhões de pessoas. Durante este período de seca prolongada, o alto consumo levou a uma situação de utilização do volume morto do reservatório.

O termo Volume Morto é corrente no campo da Engenharia de Barragens e significa, em termos amplos, que se trata de um volume que não é utilizado para as finalidades normais do reservatório. Dependendo de fatores como as finalidades do reservatório, sua topografia e o arranjo de suas estruturas o Volume Morto pode ficar em cotas elevadas, até mesmo nas proximidades do topo da barragem. Não existe nenhuma relação entre este termo técnico e coisa “morta”, “podre” ou de “má qualidade”. Trata-se, portanto, de um volume inativo, para os objetivos do reservatório, em condições normais de operação. (Porto, Porto e Palermo, 2014).

Situação semelhante voltou a ocorrer no ano de 2021 (figura 1), sendo este último período de seca referido como um dos mais severos dos últimos 91 anos e atingindo os maiores reservatórios das regiões Sudeste e Centro-Oeste, o que causa incertezas quanto à capacidade de abastecimento hídrico e energético destes reservatórios.

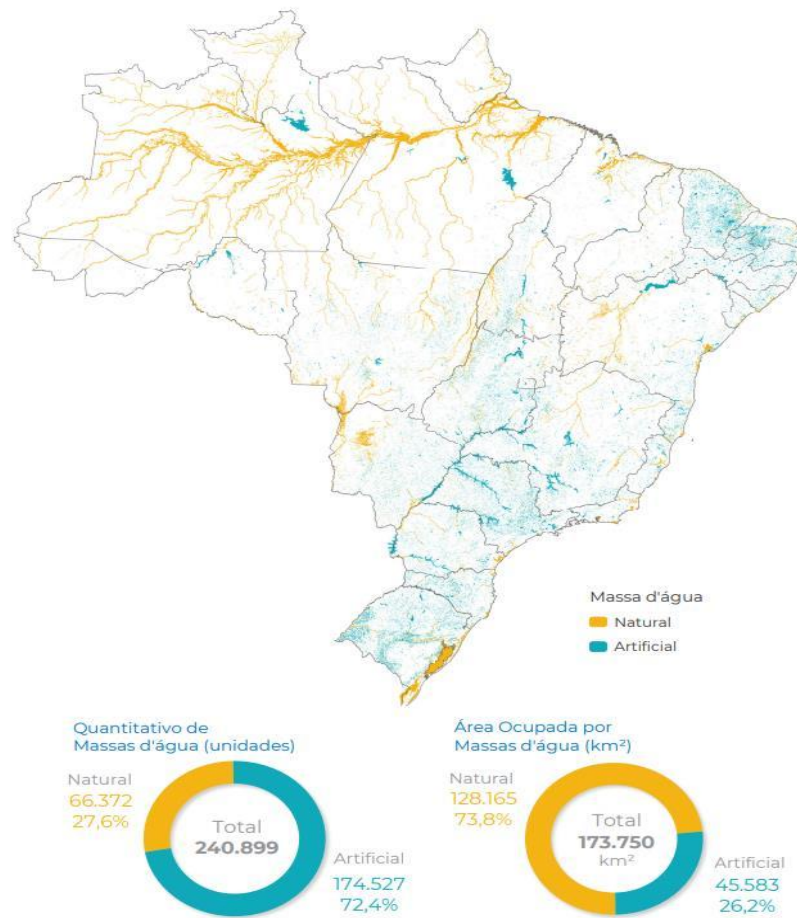
Figura 1: Exemplos de chamadas jornalísticas sobre a situação de seca prolongada em 2021.



Fontes: (1) <https://alpha.cnnbrasil.com.br/nacional/com-2o-fevereiro-mais-seco-desde-1995-em-sp-cantareira-tem-menor-volume-em-6-anos/>; (2) <https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2021/09/01/na-pior-crise-hidrica-no-pais-em-91-anos-reservatorios-que-abastecem-grande-sp-estao-abaixo-do-nivel-de-2013-pre-crise-hidrica.ghtml>.

No Brasil, há uma diversidade de reservatórios hídricos, partindo desde os maiores reservatórios de grandes hidrelétricas até os pequenos barramentos em propriedades rurais. De acordo com ANA (2021), das mais de 240 mil massas de água presentes no território brasileiro, 174.527, ou 72,4% deste total são massas de água artificiais e essas massas ocupam 45.583 Km², ou 26,2% do total de áreas cobertas por massas hídricas, como mostra a figura 2.

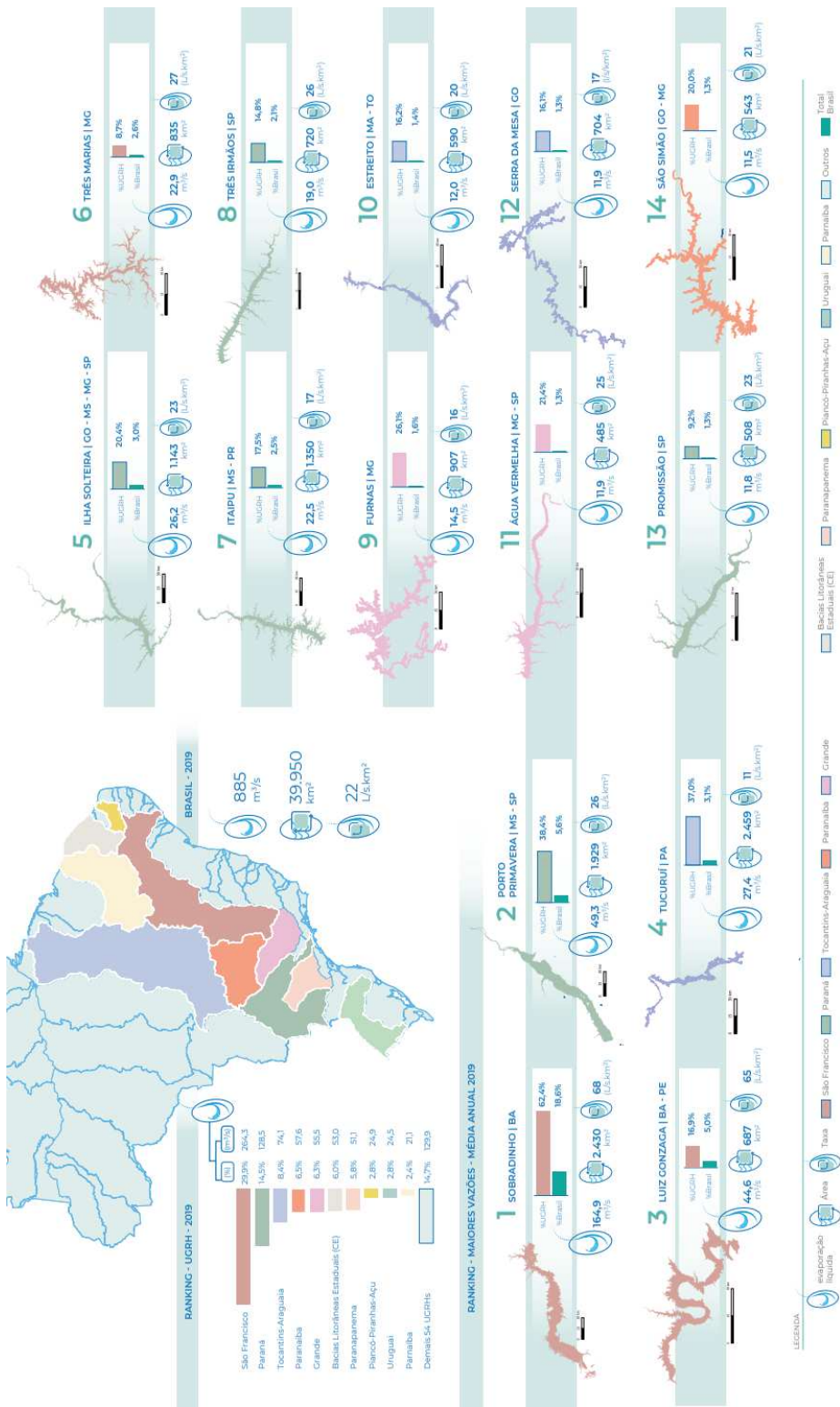
Figura 2: Relação entre Massas d'água naturais e artificiais no Brasil.



Fonte: ANA (2021).

Dos 13 mais representativos reservatórios hídricos do Brasil, dois estão localizados no Nordeste, dois na região Norte, os outros nove estão nas regiões Centro-Oeste e Sudeste e um na região Sul, de acordo com a figura 3.

Figura 3: Reservatórios mais representativos do Brasil por região.



Fonte: ANA (2021).

O reservatório de Chapéu d'Uvas, localizado entre os municípios de Antônio Carlos, Santos Dumont e Ewbank da Câmara, na Zona da Mata mineira é um dos maiores reservatórios da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (BHPS) sendo responsável por boa parte dos recursos hídricos para consumo humano e animal nos municípios abrangidos por sua bacia de contribuição, além do município de Juiz de Fora, um dos três maiores municípios da BHPS.

Porém, frente ao aumento das temperaturas médias globais – aquecimento global – e suas manifestações observadas em escalas regionais e locais (IPCC, 2021) intensificação de eventos anômalos decorrentes da variabilidade climática, como nos anos de 2014 e 2015 (COELHO et al., 2016), associados a processos de uso e ocupação no entorno desses mananciais por meio da supressão de cobertura vegetal, formação de condomínios, balneários etc., podem comprometer a disponibilidade hídrica (quantitativa e qualitativa) dos mesmos.

Uma das formas desse comprometimento é por meio da evaporação. Em um planeta mais quente, as condições atmosféricas/climáticas podem intensificar as perdas desse recurso por meio da evaporação.

Para Pereira et al. (2019), a evaporação é definida como a perda de água em uma área com água livre, ou a partir do solo e da vegetação, sendo que essa perda ocorre pela passagem da água do estado líquido para o gasoso. Considerando os reservatórios hídricos, tal processo coloca-se como de interesse direto da sociedade uma vez que podem, ao longo do tempo, comprometer sua disponibilidade, sobretudo, para o abastecimento (OLIVEIRA, 2017).

De acordo com ANA (2021), a evaporação líquida é definida pela “(...) diferença entre a evaporação real do reservatório (evaporação bruta do lago) e a evapotranspiração real esperada para a mesma área caso não existisse o reservatório”, sendo responsável por estimar o uso de água adicional em função da presença do reservatório, de acordo com o local onde está construído.

A incorporação mais explícita dessa componente na gestão de recursos hídricos é relevante na medida em que a água evaporada não estará disponível para outros usos e por permitir a análise na escala de bacias e sub-bacias, e não

apenas de empreendimentos individualmente, ampliando a capacidade de tomada de decisão no planejamento e na gestão. O conhecimento da evaporação líquida colabora, em última instância, para a segurança hídrica dos usuários de água e da população. ANA (2021, p.5).

Costa, Melo e Pereira (2006), Curtarelli (2013) apontam que diversos fatores podem afetar o processo de evaporação de água, sendo alguns destes a concentração de substância a ser evaporada, a pressão, temperatura, umidade do ar e do solo, forças intermoleculares, além de forçantes meteorológicas, tais como a intensidade da radiação solar incidente na superfície e velocidade do vento. Curtarelli (2013) ainda afirma que a evaporação da água em um corpo hídrico pode variar de acordo com a qualidade da água, características físicas do lago, além de sua profundidade.

No entanto, dada a dificuldade em se obter esse conjunto de variáveis, na forma de séries de dados observados, no entorno dos reservatórios, pesquisadores como Kan e Dias (1999), Roque e Sansigolo (2001), Vieira et al (2016), French, Hunsaker e Thorp (2015), Coelho et al (2018) entre outros, utilizam-se de um conjunto de técnicas/métodos para estimar a evaporação/evapotranspiração em superfícies hídricas livres (reservatórios, por exemplo).

1.1 Justificativa

O presente trabalho coloca-se como uma ampliação dos estudos sobre as condições climáticas no entorno do reservatório artificial de Chapéu d'Uvas, partindo de uma condição observada ao analisar as tendências das chuvas, em séries mensais e diárias em Frauches et al (2020).

Ao analisarem as tendências mensais das chuvas no entorno do reservatório, os autores observaram que as chuvas no mês de outubro apresentavam tendência de redução, no entanto, considerada como não significativa pelo teste de tendências de Mann-Kendall.

Porém, como para a climatologia tropical típica, o mês de outubro configura-se como um mês de transição entre as estações seca e chuvosa, a atuação de sistemas atmosféricos que retardassem o retorno das precipitações mensais, poderia comprometer a disponibilidade de água no reservatório, uma

vez que o mesmo possui função tanto de manancial de abastecimento como de controle de vazão.

Além disso, a tendência de elevação das temperaturas, decorrente do aquecimento global poderia contribuir para o aumento nas perdas de água do reservatório por evaporação.

Assim, a partir das tendências de estimativas de perdas do reservatório por evaporação, é possível fornecer subsídios informacionais, tais como os quantitativos de entradas e saídas hídricas no reservatório e as tendências das condições climáticas que afetam diretamente este sistema de abastecimento, essenciais ao processo de gestão destes recursos vitais ao funcionamento da sociedade, aos gestores para tomada de decisões que visem aprimorar o ferramental e as técnicas de manejo dos recursos hídricos locais.

1.2 Hipótese.

Estaria o reservatório Chapéu d'Uvas sujeito ao aumento nas perdas de seu volume por meio do processo de evaporação, em função da tendência de elevação da temperatura do ar?

1.3 Objetivo Geral.

O objetivo do trabalho consiste em avaliar as características de perda de água do reservatório Chapéu d'Uvas por evaporação à partir da aplicação de técnicas estatísticas.

1.3.1 Objetivo Específico.

- Analisar a tendência das temperaturas médias mensais para o entorno do reservatório Chapéu d'Uvas e suas relações com o aumento da temperatura média global para o período de 1972-2020;
- Identificar as anomalias mensais de precipitação para o período de análise;
- Estimar a capacidade de evapotranspiração para o entorno do reservatório Chapéu d'Uvas para o período de 1972-2020;
- Avaliar as tendências mensais de evapotranspiração para o entorno do

reservatório para o período de análise.

- Analisar os dados do Balanço Hídrico Climático para os anos da série.

2. ARCABOUÇO TEÓRICO

Nesta seção, serão apresentados conceitos básicos sobre o tema dos reservatórios artificiais, para que as noções tratadas neste trabalho tenham uma melhor compreensão para o leitor interessado. Estes conceitos serão apresentados na Figura 4 e estão baseados em um estudo realizado por INEA (2018), sobre os mananciais de abastecimento público do estado do Rio de Janeiro.

Figura 4: Conceitos relacionados aos Mananciais.

Manancial: qualquer fonte hídrica, superficial ou subterrânea, que possa ser utilizada para atender às diversas demandas consuntivas e finalidades (BRASIL, 2015; TUCCI; MENDES, 2006).

Manancial de abastecimento público: corpos hídricos subterrâneos ou superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público. Constituem parte integrante dos sistemas de abastecimento de água para consumo, fornecendo água bruta a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos e outros usos.

Sistema de abastecimento de água para consumo (SAA): instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do Poder Público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão (BRASIL, 2005). Os sistemas de abastecimento captam a água bruta em mananciais superficiais ou subterrâneos, e a água é aduzida até as estações de tratamento para tornar-se potável, bombeada para os reservatórios e então distribuída até os consumidores.

Área de mananciais (superficiais): constituem as áreas das bacias contribuintes situadas a montante dos pontos de captação, ou seja, as áreas drenantes para os pontos de captação de mananciais de abastecimento público.

Área de mananciais (subterrâneos): compreende a área total de captura de recarga, ou seja, é a área na qual toda a água de recarga do aquífero é captada pelo poço de abastecimento, provendo uma vazão de exploração do poço que é sustentável em longo prazo. A área de captura de recarga pode ser subdividida, criando perímetros de proteção com restrições de uso do solo diferenciados (WAHNFRIED; HIRATA, 2005).

Bacia hidrográfica: espaço geográfico delimitado pelo respectivo divisor de águas cujo escoamento superficial converge para seu interior sendo captado pela rede de drenagem que lhe concerne (BRASIL, 2015).

Fonte: INEA (2018).

É importante ressaltar a existência de diferenças entre os mananciais em seu uso geral e os mananciais de abastecimento público. Embora sejam estruturalmente parecidos, os mananciais de abastecimento demandam uma maior rigidez em sua gestão, já que o enquadramento de suas águas deve manter uma qualidade alta o suficiente para que o consumo das águas seja

assegurado.

Vale ainda lembrar que a quantidade e sanidade das águas de um manancial depende fortemente da sanidade ambiental das áreas próximas ao lago, assim como a sanidade da bacia de contribuição a que ele pertence.

2.1 Reservatórios Hídricos e a Climatologia.

Para iniciar esta seção, é preciso destacar a importância dos reservatórios artificiais frente às condições climáticas normais e anômalas, como em períodos de secas prolongadas, já que estes volumes de água estocada permitem o acesso ao recurso hídrico durante estes períodos em que há menor entrada de água no sistema.

Por fim, a discussão converge para a importância dos estudos sobre a capacidade de evaporação em reservatórios hídricos, sobretudo neste caso, frente ao aumento das temperaturas médias globais, e sua capacidade de sustentação como manancial de abastecimento, de geração elétrica etc.

Grimm (1988), em seu estudo sobre o reservatório de UHE de Itaipu verificou que o reservatório causava influências locais na circulação dos ventos, além de aumento na nebulosidade e elevação das temperaturas mínimas.

No contexto da Amazônia, trabalhos como o de Fisch, Januário e Senna (1990), Guidon (1991), Sanches e Fisch (2005), analisaram as possíveis contribuições do reservatório Tucuruí-PA ao clima local, chegando ao aumento do volume evapotranspirado e aumento de chuvas fracas durante o mês de Agosto, além do aumento das chuvas com maior intensidade em Setembro.

Na UHE de Itá (RS/SC), foram detectadas mudanças nas temperaturas mínimas e máximas, na direção e na velocidade dos ventos e modificação das precipitações no entorno do reservatório pelos trabalhos de Rodrigues e Canônica (2006), Czarnobai et al. (2006) e Sanches et al. (2015).

Já na UHE de Passo Fundo (RS), houve redução dos dias secos, de acordo com o trabalho de Sanches et al. (2017), que realizou uma avaliação sobre a dinâmica das chuvas após a instalação do reservatório, bem como sua participação das fases positiva (El Niño), neutra e negativa (La Niña) do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Na UHE de Porto Primavera, com reservatório localizado no limite dos estados de SP e MS, houve aumento da umidade relativa do ar no entorno do referido reservatório, de acordo com o trabalho de Souza e Galvani (2010).

No contexto do Açude do Castanhão, localizado no estado do Ceará, Silva Filho e Rabelo (2012) e Dantas e Sales (2010) detectaram mudanças significativas nas chuvas e nos ventos da região, sendo estas o aumento das chuvas e mudança nas direções e velocidades dos ventos após a instalação do reservatório.

No reservatório de Chapéu d'Uvas, Frauches et al. (2020) não encontraram influência significativa da formação do lago no microclima local, embora tenham encontrado uma tendência de diminuição nas concentrações e intensidades de chuvas, principalmente durante os meses de setembro e outubro.

Nóbrega et al (2011) realizaram um estudo sobre as incertezas dos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica na bacia do rio Grande, uma das maiores sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Paraná, e responsável pela existência de grandes reservatórios artificiais, tais como o lago da represa de Furnas. Os autores utilizaram para este estudo quatro cenários com estimativas de emissão de gases-estufa, seis GCM (*Global Circulation Model*) e estimativas de aumento de temperatura entre 1 e 6°C, concluindo que destes seis GCM utilizados, **metade apontou para um aumento de descarga hídrica e metade para uma diminuição**, o que, segundo os autores indicou a necessidade de extremo cuidado quando na consideração dessas projeções baseadas em apenas **um** GCM, sendo elevada a possibilidade de erros.

Os autores concluem que, a partir das simulações realizadas, há uma tendência na diminuição, ainda que pouco intensa na disponibilidade hídrica dos reservatórios analisados, destacando que a simulação foi realizada sem a emissão de gases estufa, no que os autores chamam de “cenário base”, para os cenários comparados de 1961-1990 e 1971-2000.

Ainda de acordo com os autores esta redução pode estar relacionada com o aumento, ainda que pouco significativo de temperatura nas regiões dos reservatórios. Os autores ainda destacam a necessidade de simulações com novos cenários, baseados no mais recente relatório do IPCC (CMIP6), de forma a melhor compreender o balanço hídrico nos reservatórios pesquisados.

Coelho et al. (2015) realizaram um estudo sobre as causas do evento prolongado de seca que atingiu principalmente as regiões do Centro-Sul do Brasil durante o verão de 2014, a partir de análises de dados de normal climatológica em conjunto com dados de pluviosidade do INMET para uma série de 1961-2013. Os autores observaram uma tendência de queda nas intensidades pluviométricas neste período e destacaram que na época, cerca de 70% da energia gerada no Brasil era proveniente de usinas hidrelétricas, com a concentração dos principais sistemas de geração na região Sudeste.

Estas diminuições sucessivas nos índices pluviométricos, somadas ao evento de seca do verão de 2014 causaram fortes impactos nos principais reservatórios do país, inclusive com a necessidade de recorrer aos volumes mortos destes reservatórios para garantir as necessidades crescentes de consumo hídrico e energético do país.

Novais (2016), em sua dissertação, realiza uma avaliação sobre os impactos das mudanças climáticas no sistema Cantareira de modo a compreender como estas mudanças podem influenciar na capacidade de abastecimento de um dos maiores mananciais do Brasil. O autor destaca a dificuldade em prever a situação futura de disponibilidade hídrica de um reservatório artificial, o que torna a análise criteriosa dos dados e a realização de simulações confiáveis ainda mais importante.

Para avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas no regime hidrológico do sistema Cantareira, o autor utilizou o modelo hidrológico SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), com entradas de dados de precipitação mensal e evapotranspiração com saídas de séries de vazões no exutório da bacia.

Para a estimativa da evapotranspiração o autor utilizou o método de Penman-Monteith. O SMAP é constituído de dois reservatórios virtuais sendo que um deles representa a camada superior do solo e o outro o reservatório subterrâneo, sendo descritos pelas seguintes equações:

$$RSolo_{(i+1)} = RSolo_{(i)} + P - (ER + ES + REC) \quad (1)$$

$$RSub_{(i+1)} = RSub_{(i)} + REC - EB \quad (2)$$

Onde:

RSolo é a camada superior do solo (mm)

RSub é o reservatório subterrâneo (mm)

I é o índice correspondente ao mês em análise (adimensional)

P é a precipitação média que incide na área drenada (mm)

ER é a evapotranspiração real na área drenada (mm)

ES é o escoamento superficial no exutório (mm)

EB é o escoamento básico no exutório (mm)

REC é a recarga do reservatório subterrâneo (mm)

O autor utiliza dados pluviométricos da rede de monitoramento hidrometeorológico da ANA, a partir de 15 estações. Os dados de vazões médias mensais foram obtidos de um documento de outorga do sistema Cantareira (ANA/DAEE, 2013) em uma série que se estende de 1930 a 2012.

Novais (*op.cit*) faz algumas ressalvas ao modelo utilizado, principalmente quanto às incertezas relacionadas à calibração dos parâmetros, que podem ser propagadas durante a utilização do modelo, e destaca que os resultados obtidos a partir dos GCMs devem ser encarados como tendências e não como certezas.

Além disso o autor faz algumas recomendações para futuros estudos tais como utilização de modelos hidrológicos mais complexos, que sejam capazes de retratar mais fielmente a realidade, a utilização de mais de um modelo climático no estudo e a realização de estudos de sensibilidade de resposta de vazão do modelo SMAP.

Schuster, Fan e Collischonn (2020), desenvolveram um estudo sobre os efeitos de futuras mudanças climáticas na capacidade hídrica da laguna dos patos, com uso de modelagem matemática para dois cenários com abrangência de 30 anos. Os autores concluíram, a partir da análise dos dados, que os modelos utilizados apontam para um aumento na descarga hídrica das bacias que drenam para o lago, apesar de haver alguns pontos onde os modelos apontaram uma diminuição na descarga hídrica.

Sousa, Meireles e Fé (2021) realizam um estudo sobre os impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas no estado do Ceará, levando em conta três reservatórios artificiais: Castanhão, Orós e Banabuiú, por meio do

emprego de simulações utilizando um Modelo de Circulação Global, com 12 projeções, além do emprego do método de Penman para a estimativa da evaporação futura dos reservatórios analisados. Os dados de vazão utilizados pelos autores foram obtidos a partir de trabalhos de outros autores anteriores.

A partir da análise dos dados os autores perceberam concordância entre os modelos com relação às perdas por evaporação, sendo que os reservatórios do Castanhão e Banabuiú mostram resultados mais harmoniosos com o esperado no período de maior evaporação. Já o açude Orós, de acordo com os autores indicou um comportamento anômalo, o que pode ter indicado uma irregularidade na demonstração do balanço hídrico nos modelos climáticos utilizados.

2.2 Legislações que afetam a gestão dos recursos hídricos no entorno de reservatórios hídricos.

Galvão e Bermann (2015), fizeram uma análise dos conflitos decorrentes dos múltiplos usos da água no Brasil. Os autores apresentaram as principais legislações vigentes à época, tais como a Lei das Águas (Lei nº9.433/1997), que define as regras para o uso da água em períodos de escassez hídrica, dando prioridade para a dessedentação humana.

De acordo com os autores, no ano 1934 já existia a previsão para o uso múltiplo das águas, preconizado no “Código das Águas” (Decreto nº26.643/1934). Esta legislação também determinava que a “propriedade dos rios” não era dos proprietários de terras onde os rios passavam, mas sim dos municípios, estados ou da União, incluindo ainda a “propriedade das quedas d'água”, como potencial hidrelétrico competente a União.

Este mesmo decreto também preconizava que o uso da energia hidráulica poderia ser explorado, desde que fossem atendidas exigências quanto aos interesses das populações próximas, seja em termos de abastecimento, como também em termos de segurança das estruturas utilizadas.

Ainda segundo Galvão e Bermann (2015), antes do Código das Águas, não havia intervenções Estatais em relação aos processos de geração e distribuição da energia elétrica e outros usos dos recursos hídricos, sendo estes processos e a responsabilidade sobre eles das empresas de energia da época.

Os autores ainda fizeram um estudo sobre a evolução do volume útil dos principais lagos utilizados para geração de energia elétrica no país, em que os dados mostraram uma tendência de redução geral nos volumes úteis destes lagos, o que fez com que fosse necessário recorrer à geração de energia por usinas térmicas, tornando as tarifas energéticas mais custosas para a população dependente deste sistema energético.

Os mesmos autores verificaram que a crise energética (2014 e 2015) desencadeou problemas para as empresas energéticas, devido a uma “série de erros na condução da política energética”. Como considerações finais, os autores destacaram a falta de normatização do uso das águas, a necessidade de dinamismo da participação popular nos comitês de bacia, além das insuficiências do setor energético brasileiro durante o período de estiagem prolongada nos anos de 2014 e 2015 e a necessidade de equilíbrio entre os usos das águas, para mitigar a judicialização dos conflitos decorrentes de seus múltiplos usos.

Áreas de Preservação Permanente – APP (Lei nº 12.651/2012): Dispõe sobre os parâmetros de definição de Áreas de Preservação Permanente (APP), ou seja, áreas em que a exploração de atividades humanas deve ser restrita, para manter as condições de sanidade ambiental.

No caso dos reservatórios artificiais, as APPs de curso d'água e de reservatórios artificiais, de acordo com o artigo 61, a faixa ao longo do curso d'água a ser preservada depende da quantidade de módulos fiscais de cada propriedade rural variando de 5m (em propriedades de um **módulo fiscal**¹¹) em cada margem até 15m (para mais de 4 módulos fiscais), para demais propriedades, a faixa a ser preservada deve ser de no mínimo 20m até 100m contados a partir da calha de leito regular.

Já o artigo 62 da referida Lei preconiza que, em áreas de reservatórios artificiais, a faixa que deve ser preservada está entre a **cota máxima operacional e a lâmina d'água** (no caso de Chapéu d'Uvas a cota máxima é de 746 m).

A Lei 9.433/1997: PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos), conhecida como “Lei das Águas” dispõe sobre as diretrizes de uso dos recursos

¹ Módulo Fiscal, de acordo com EMBRPA, é uma unidade de medida em Hectares, fixada pelo INCRA para cada município, de acordo com as formas de exploração dos terrenos daquele território.

hídricos no território nacional e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Dois artigos dignos de nota na Lei são o Artigo 1º PNRH Incisos III e IV o qual trata do uso prioritário da água para dessedentação humana e animal em tempos de escassez. Gestão dos recursos hídricos voltada aos usos múltiplos e o Artigo 2º PNRH Inciso I o qual busca “assegurar a disponibilidade de água para a atual e futuras gerações em padrão de qualidade aceitável para as necessidades.”

Já a resolução CONAMA 302/2002, que dispunha sobre os parâmetros de definição de APPs em reservatórios artificiais, foi revogada no ano de 2020, a partir da aprovação da Resolução 500.

A Lei Estadual-MG 10.793/1992, dispõe sobre as diretrizes gerais de proteção dos mananciais de abastecimento do estado de Minas, mas não define as diretrizes de parcelamento do solo no seu entorno, já que esta função é do município.

É importante diferenciar os usos do solo quando se trata de desmembramento para granjeamento e loteamentos para habitação, uma vez que os granjeamentos são permitidos de acordo com a Lei 10.793/92 enquanto os loteamentos habitacionais não são permitidos. Este inclusive é um subterfúgio utilizado por algumas incorporadoras de loteamentos para burlar esta lei, denominando os lotes como “conjunto de sítios” ou algo que o valha.

2.3 Técnicas de estimativa de Evaporação e Evapotranspiração em reservatórios hídricos

Nesta seção são descritas as principais técnicas para cálculo dos valores de evaporação/evapotranspiração em reservatórios líquidos, de acordo com as condições locais e a disponibilidade de dados para a realização dos estudos.

É preciso destacar que ambos os processos, de Evaporação e Evapotranspiração, fazem parte do balanço energético da superfície e, portanto, causam impacto no balanço hídrico dos lagos artificiais.

a). Algoritmo SEBAL.

Carvalho (2020), em sua tese, realiza uma estimativa dos componentes

do balanço energético para os diferentes tipos de uso do terreno na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu d'Uvas, através da utilização de um algoritmo conhecido como SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*). Este algoritmo se baseia nas trocas energéticas entre as superfícies, que compõem o saldo de radiação, que é definido pela seguinte expressão matemática:

$$R_n = H + \lambda E + G \quad (3)$$

Onde:

R_n é o saldo de radiação

H é o fluxo de calor sensível, que tem relação com o aquecimento do ar.

G é o fluxo de calor no solo.

λE é o calor latente, convertido nos processos de evaporação e evapotranspiração.

A autora utiliza imagens de satélite dos sensores LANDSAT 5 e 8 (já que estas bandas facilitam a visualização dos fluxos energéticos entre a atmosfera e a vegetação no entorno do reservatório) para realizar a estimativa do balanço energético com o emprego do algoritmo SEBAL. A autora cita ainda outras técnicas, tais como o *Eddy Correlation* (EC) e o método da razão de Bowen, mas ressalta que tais técnicas necessitam de um alto custo para sua execução, além de serem pouco efetivos para áreas extensas.

Além das imagens de satélite, a autora ainda utiliza dados meteorológicos provenientes do INMET, em uma série que se estende de 1985 a 2016. A autora ainda destaca a escassez de dados horários, que seriam mais precisos na análise, o que forçou a utilização de médias diárias.

b). Método do Balanço-Razão de Bowen.

Esse método leva em conta a evaporação do lago em mm/dia, a radiação líquida em M_jm^2/dia e o calor latente de evaporação em MJ/Kg. O coeficiente de Bowen depende das diferenças de temperatura entre os bulbos seco e úmido do **psicrômetro**, o que significa que preciso ter ambos os valores para utilizar este

método. Os valores de W só dependem do intervalo de temperatura do bulbo úmido.

$$EI = \left(\frac{Rn}{(1+B)}\right).L \quad (4)$$

El: Evaporação do lago

Rn: Radiação líquida

L: Calor latente de evaporação

$$B = \left(\left(\frac{DTu}{(1-W)}\right).Dts\right)^{-1} \quad (5)$$

B: Razão de Bowen

DTu: Diferença de temperatura do bulbo úmido.

Dts: Diferença de temperatura do bulbo seco.

$$W = 0,407 + 0,0145.Tu \quad \text{Se } 0 < Tu < 16 \quad (6)$$

$$W = 0,483 + 0,01.Tu \quad \text{Se } 16,1 < Tu < 32 \quad (7)$$

Oliveira (2009) utilizou este método, em comparação com outras metodologias de estimativa de evaporação para duas áreas no estado de São Paulo. De acordo com a autora, os valores de diferença de temperatura foram obtidos por medições realizadas à 0,1 m de profundidade e 0,4 e 1m acima da superfície, com cálculos realizados a cada 15 minutos.

Este método é considerado robusto pela autora e utilizado como padrão quando se deseja compara métodos de estimativa de evaporação, no entanto é de difícil aplicação em situações em que não há condições para medidas diretas.

c). Método de Penman.

De acordo com Oliveira (2009) e Soares et al (2015), este método leva em conta a evaporação de uma superfície de água livre mm/dia (EI), o saldo diário de radiação medido sobre esta superfície M_{jm}^2 /dia (Rn), coeficiente

angular da curva de saturação de vapor (s), coeficiente psicrométrico em $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ (γ) e o poder evaporante da superfície (Ea), em mm/dia , de acordo com a equação:

$$E_l = (0,408 \cdot (s/\gamma) \cdot \frac{Rn + Ea}{(\frac{s}{\gamma}) + 1}) \quad (8)$$

S é definido por:

$$s = (4098 \cdot (\frac{e_s}{(T_{ar} + 237,3)^2})) \quad (9)$$

e_s : pressão saturante de vapor na temperatura média dos bulbos seco e úmido, em kPa .

T_{ar} : temperatura média do ar.

O termo Ea , chamado de termo aerodinâmico, de acordo com a autora é dado por:

$$Ea = f(U) \cdot (e_s - e_a) \quad (10)$$

Onde:

U : velocidade do vento à 2m de altura

e_s : pressão de saturação do ar.

e_a : pressão atual de vapor.

$f(U)$: função de vento, proposta por (DOORENBOS; PRUITT, 1977)

dada por:

$$f(U) = 0,35 \cdot (0,5 + (\frac{U}{160})) \quad (11)$$

É preciso ter a velocidade do vento à 2m de altura, mas de acordo com a autora, é possível usar os dados de velocidade à 1m de altura.

Coelho (2016) utiliza o método de Penman em comparação com outros métodos para estimar a evaporação nos reservatórios de Tucuruí-PA e Lageado-TO, a partir de dados meteorológicos obtidos das estações de Tucuruí e Palmas, acessadas no INMET. Nessa pesquisa, a autora destaca que por falta de estações meteorológicas não foi possível utilizar mais dados.

A partir dos resultados obtidos, a autora concluiu que o método de Penman se mostrou eficaz para as áreas de estudo sendo inclusive a alternativa principal em relação aos outros métodos elencados para calcular a evaporação nos reservatórios estudados.

Em seu trabalho, Feitosa (2020) utilizou o método de Penman para estimar a evaporação no reservatório hídrico do Gavião, localizado nos municípios de Pacatuba e Itatinga, no estado do Ceará, a partir de dados de duas estações meteorológicas localizadas, uma no reservatório e outra mais distante, em Fortaleza.

A partir dos resultados obtidos, a autora verificou que existem variações entre os métodos de estimativa de evaporação (Penman e Balanço hídrico) e concluiu que destes dois métodos, muito utilizados no semiárido brasileiro que o Balanço hídrico não considera o parâmetro de infiltração e o método de Penman, quando baseado em dados de estações em terra firme ou distantes do reservatório não é considerado confiável. Sendo assim, a autora recomenda que, em caso de uso do método de Penman, as estações utilizadas devem estar o mais próximas possível do reservatório estudado.

d). Método Penman-Monteith FAO 56

Shadmani, Marofi e Roknian (2012), utilizaram em sua pesquisa o método de estimativa de evapotranspiração de Penman-Monteith FAO 56, ou PMF-56, que leva em consideração a radiação incidente sobre a superfície vegetada, a temperatura e velocidade do ar a 2m de altura, o coeficiente angular da curva de pressão de vapor da água, a densidade de fluxo de calor no solo, a constante psicrométrica e a saturação da pressão de vapor, determinada pela seguinte equação.

$$ET_0 = 0,480.\Delta(R_n - G) + \gamma \cdot \left[\frac{900}{(T+273)} \right] \cdot \left(\frac{U_2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \right) \quad (12)$$

Onde:

R_n: Radiação Incidente sobre a superfície vegetada. (MJ/m².dia)

T: Temperatura do ar a 2m de altura. (°C)

U₂: Velocidade do vento a 2m de altura. (m/s)

Δ : Coeficiente angular da curva de pressão de vapor da água. (kPa/°C)

G: Densidade de fluxo de calor no solo. (MJ/m².dia)

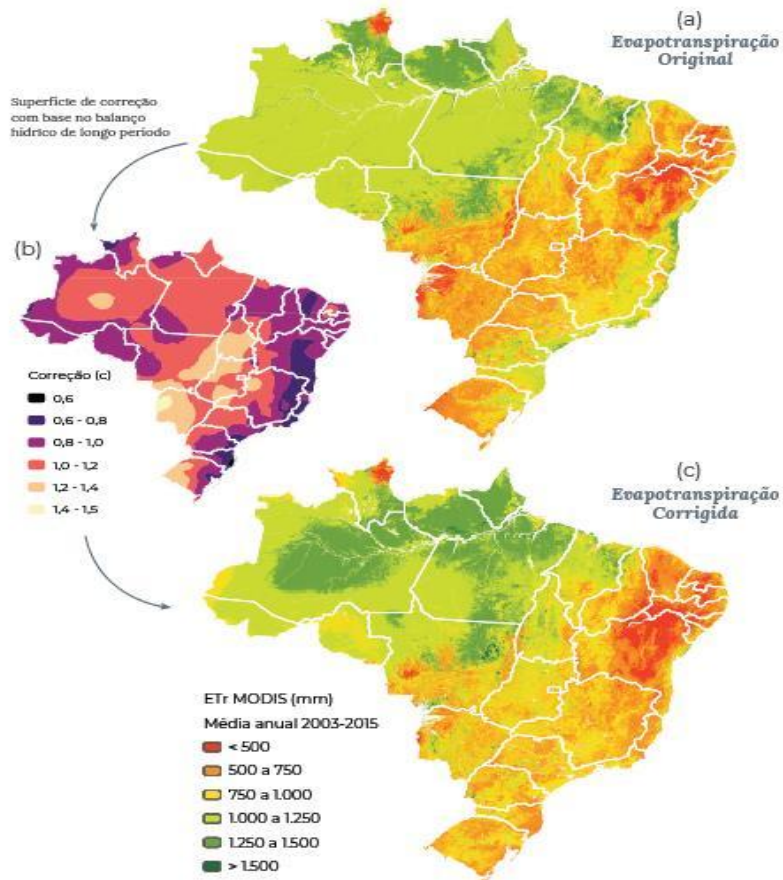
γ : Constante Psicrométrica. (kPa/°C)

ea, ed: saturações de pressão de vapor de água. (kPa)

Uma aplicação do método PMF-56 é o produto MOD16A, que é gerado a partir da evaporação das águas das chuvas que são interceptadas pela vegetação, em que, segundo ANA (2021) é o principal componente da evapotranspiração.

A ANA (2021) realizou uma estimativa da evapotranspiração no território brasileiro, a partir de imagens de satélite do sensor MODIS e dados meteorológicos de 1088 estações distribuídas pelo país, sendo estes dados corrigidos para eliminação de viés e os resultados obtidos podem ser visualizados na figura (5).

Figura 5: Evapotranspiração média anual estimada através do produto MODIS MOD16A2GF. A figura (a) representa o resultado antes da correção de viés e (c) após a correção.



Fonte: ANA (2021).

e). Método de Penman adaptado.

$$E_l = ((s.R_n) + \frac{(\gamma L.E_a)}{(s + \gamma L)}) \quad (13)$$

O γL é calculado por :

$$\gamma L = \gamma + ((4 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T_a^3) / f(U)) \quad (14)$$

Sendo ϵ a emissividade 0,92 e σ a constante de Stefan-Boltzmann $4,903 \cdot 10^{-9}$ MJK^{-4m-2dia-1} (3), γ é a constante psicrométrica e $f(U)$ é a função de vento dada por:

$$f(U) = 0,136 + (0,095 \cdot U^4) \quad (15)$$

Sendo U_4 a velocidade média do vento a 4m da superfície do solo. Pereira (2004), Leitão, Oliveira e Leitão (2007) calcularam o γL a partir da expressão:

$$\gamma L = 0,000661 \cdot P \quad (16)$$

Sendo P a pressão atmosférica média do local.

O poder evaporante E_a é dado por:

$$E_a = f(U) \cdot (e_s - e_2) \quad (17)$$

Sendo e_s a pressão saturante, e_2 a pressão parcial de vapor, ambas as pressões determinadas a 2m do solo. Se for utilizada a pressão a 4m do solo, é preciso aplicar um fator de conversão, em que $z = 4m$.

$$f_c = 4,87 / \ln[(67,8 \cdot z) - 5,42] \quad (18)$$

Leitão, Oliveira e Leitão (2007) utilizaram este método, em comparação com outras metodologias de estimativa de evaporação para duas regiões localizadas no estado da Paraíba (Boqueirão e Eptácio Pessoa), a partir de dados de uma série temporal de abril de 2002 a fevereiro de 2003. Em cada área foi construído um tanque de 20 m² e 2 m de profundidade de acordo com recomendações da OMM.

Os autores apontaram que o método de Penman Adaptado apresentou resultados subestimados no mês de abril e para os meses a partir de setembro, quando comparado aos outros métodos utilizados. Quando o método de Penman foi comparado com a curva de evaporação proveniente do tanque de 20m², os resultados para o início e fim do período analisado são muito próximos, mas foram bem diferentes nos meses intermediários, mostrando resultados subestimados.

f). Método de Penman simplificado.

Segundo Villa Nova et al. (2006), o método de Penman pode ser simplificado para estimar a evapotranspiração potencial, de acordo com a

expressão:

$$ETP = \left(\frac{Rn-G}{2,45.(2-W)} \right) \quad (19)$$

sendo assim, a evaporação de uma superfície exposta pode ser dada por:

$$El = \frac{Rn}{2,45.(2-W)} \quad (20)$$

sendo este método denominado Penman-Villa Nova.

g). Método de Priestley-Taylor/De Bruin & Keijman

Leva em conta a evaporação de uma superfície livremente exposta (El) e a radiação incidente sobre esta superfície (Rn). Dada pela equação:

$$El = 1,26.W.\left(\frac{Rn}{2,45}\right) \quad (21)$$

O valor de W é dado pela expressão:

$$W = \frac{s}{(s+\gamma)} \quad (22)$$

onde γ é o coeficiente psicrométrico em $\text{kPa}/^\circ\text{C}$, declividade da curva de variação da pressão de vapor s ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$). Segundo Vieira (2015), Morton (1983a) desenvolveu uma equação, baseada no modelo de Priestley-Taylor.

Método derivado da combinação entre as equações de Priestley-Taylor e de Penman, por De Bruin e Keijman (1979), sendo este um método mais simples para estimar a evaporação em **reservatórios rasos**, sendo que a evaporação é determinada em função da umidade do ar acima da massa de água, do calor disponível no lago, da constante psicrométrica.

Este método foi aplicado pelos próprios autores no lago Flevo, bastante raso (3m de profundidade), localizado nos Países Baixos, obtendo bons

resultados quando comparado aos métodos existentes de balanço energético e hídrico, durante as estações de verão e outono.

De acordo com Leão (2013), os métodos de Priestley-Taylor e De Bruin e Keijman, quando aplicados no cálculo de evaporação no lago de Banabuiú-CE, mostraram-se os mais adequados, pois apresentaram os melhores coeficientes de confiança e desempenho, seguindo a metodologia de Camargo & Sentelhas (1997).

Oliveira (2009), ao utilizar este método, em comparação com um amplo elenco de metodologias de cálculo de evaporação para duas áreas em SP, chegou à conclusão que este método, ao lado do método de Penman simplificado, proposto por Villa Nova et al. (2006) é altamente recomendado para estes cálculos pois apresentou os melhores índices quando comparado ao tanque de 20m².

h). Método de Transferência de massa, baseado na equação de Dalton.

$$E_l = K \cdot ([1 + (1,07 \cdot U_2)] \cdot (e_0 - e_a)) \quad (23)$$

Em que U_2 é a velocidade média do vento à 2m de altura, e_0 é a pressão de vapor na temperatura da superfície e e_a é a pressão de vapor a 2m da superfície. K é um coeficiente empírico.

Oliveira (2009) utilizou este método para calcular a evaporação em um lago de pequenas dimensões localizado à 40m do Pavilhão de Engenharia no Campus da ESALQ (SP). Este método, segundo a autora apresentou uma grande dispersão nos valores em todos os períodos analisados, não sendo portanto um método confiável.

i). Método de Linacre.

$$E_l = 0,015 + (0,00042 \cdot T) + (10^{-6} \cdot Z) \cdot [(0,8 \cdot R_s) - 40] + [2,5 \cdot F \cdot U \cdot (T - T_d)] \quad (24)$$

Em que T é a temperatura média do ar, obtida através dos valores extremos diários, Z é a altitude do local, R_s é a irradiância média diária, dada por:

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047 \cdot C_m) \quad (25)$$

U é a velocidade média do vento a 2m de altura, sendo T_d a temperatura do ponto de orvalho e F um fator de correção da altitude, dado por:

$$F = 1,0 - (8,7 \cdot 10^{-5} \cdot Z) \quad (26)$$

Coelho (2016), utiliza o método de Linacre para estimar a evaporação nos reservatórios de Tucuruí-PA e Lageado-TO, argumentando que este método originalmente proposto em 1977 apresenta pouca sensibilidade em termos do saldo de radiação, tendendo a subestimar a evaporação nos reservatórios, o que levou ao aprimoramento da formulação matemática em 1993.

Pereira et al. (2009), ao utilizar o método de Linacre para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho-BA, chegou à conclusão de que este método (Linacre, 1993) superestima a evaporação.

Já Leitão (2007), ao utilizar o método de Linacre com a formulação de 1993 para calcular a evaporação em dois reservatórios na região da Paraíba, concluiu que o método apresentou resultados satisfatórios.

Oliveira (2009), ao utilizar o método de Linacre em seu estudo, encontrou desvio médios baixos em ambas as áreas de estudo, de forma diferente ao método de Kholer et al (1955) onde houve desvios maiores, dessa forma o método pode ser utilizado na falta de alternativas melhores.

j). Método do Tanque Classe A.

Aplicado originalmente por Oliveira et al (2005); Leitão, Oliveira e Leitão (2007) e utilizado por (Oliveira, 2009; Rodrigues et al., 2020; Soares, Buriol e Estefanel, 2015; Oliveira et al., 2017), para estimativa de evapotranspiração, é definido por:

$$E_l = K_p \cdot E_p \quad (27)$$

Sendo E_p a evaporação diária do tanque. O valor de K_p é dado pela expressão, proposta por Snyder (1992):

$$K_p = 0,482 + [0,024 \cdot \ln(F)] - (0,000376 \cdot U) + (0,0045 \cdot UR) \quad (28)$$

sendo F a área da borda vegetada do tanque, U a velocidade do vento e UR a umidade relativa média. A Figura 6 mostra um exemplo de Tanque Classe A.

Figura 6: Tanque Classe A.



Fonte: Oliveira et al (2005).

Oliveira (2009) utilizou uma regressão linear para verificação dos valores e a significância dos coeficientes de determinação, além do índice de exatidão, determinado por:

$$d = 1 - (\sum(P_i - O_i)^2 / \sum[(P_i - O) + (O_i - O)]^2) \quad (29)$$

em que P_i é o valor estimado, O_i o valor observado e O a média dos valores observados. Este índice varia de 0 a 1.

k). Modelo METRIC.

Modelo utilizado para o Mapeamento de Evapotranspiração com Calibração Interna (METRIC), de acordo com (Allen, Tasumi e Trezza, 2007; French, Hunsaker e Thorp, 2015), neste modelo, o valor de Rn é definido através de medições de reflectância e temperatura na superfície, de produtos de satélite de banda estreita, G é obtido por estimativa de Rn , temperatura na superfície e

índices de vegetação e H é obtido com base nas amplitudes térmicas, rugosidade do terreno e velocidade dos ventos, através da aplicação de correções matemáticas. De acordo com os autores, os algoritmos do METRIC são baseados nos algoritmos do SEBAL (*Surface Energy Balance*), de acordo com a equação:

$$LE=Rn-G-H \quad (30)$$

Em que LE é o calor latente, consumido pela evapotranspiração; Rn é a “Radiação líquida” (*net radiation*); G é o calor sensível que chega ao solo e H é o calor sensível que passa ao ar por convecção, em que os valores são expressos em W/m^2 .

Rn é obtido através da seguinte equação:

$$Rn=Rs\downarrow-\alpha Rs\downarrow+Rl\downarrow-Rl\uparrow-(1-\epsilon_0).Rl\downarrow \quad (31)$$

Onde:

$Rs\downarrow$: Radiação de ondas curtas incidente.(W/m^2)

α : Albedo de Superfície.(adimensional)

$Rl\downarrow$: Radiação de ondas longas incidente.(W/m^2)

$Rl\uparrow$: Radiação de ondas longas emitida.(W/m^2)

ϵ : Emissividade termal de superfície de banda larga.(adimensional)

$(1-\epsilon_0).Rl\downarrow$: Radiação de ondas longas incidente que é refletida pela superfície.(W/m^2)

l). Método Kholer et al. (1955)

Segundo Vieira (2015), a evaporação mensal de um reservatório pode ser determinada através da seguinte equação:

$$EL=0,7.\left(\frac{\Delta.Rn}{\Delta+\gamma L}\right)+\left(\frac{\gamma L.Ea}{\Delta+\gamma L}\right) \quad (32)$$

Onde:

γL : Coeficiente Psicrométrico corrigido. ($KPa/^\circ C$)

Δ : Declive da curva de saturação do vapor. ($KPa/^\circ C$)

Ea : Poder do ar em evaporar. (mm/dia)

Rn : Saldo de radiação, em lâmina de água evaporada equivalente. (mm/dia)

γ_L é dado por:

$$\gamma_L = 0,000661.P \quad (33)$$

Onde P é a pressão da atmosfera, em KPa.

E_a é dado por:

$$E_a = 7,518.(0,37 + 0,00255.U).(e_s - e_a)^{0,88} \quad (34)$$

R_n é calculado da seguinte forma:

$$\Delta r_n = 154,4 \exp[(1,8.T - 180).(0,1024 - 0,0106.\ln(0,239.R_s)) - 0,01554] \quad (35)$$

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047.C_m) \quad (36)$$

$$C_m = 1 + 0,51.\log(P_m) + [\log(P_m)]^2 \quad (37)$$

Coelho (2016) utiliza este método para calcular a evaporação nos reservatórios de Tucuruí e Lageado, concluindo que este não é a melhor alternativa, quando se tem os dados disponíveis para a utilização do modelo de Penman.

De acordo com Pereira (2009), o método Kholer et al. (1955) é utilizável como alternativa confiável na estimativa de evaporação no reservatório de Sobradinho-BA, sendo sua formulação matemática baseada no método de Penman.

Leão et al. (2013), ao utilizar o método Kholer et al. (1955) no reservatório de Banabuiú-CE, mostrou que o método teve resultados muito bons, quando utilizado para o Balanço hídrico durante a estação seca.

m). Método CRAE (*Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*)/CRLE (*Complementary Relationship Lake Evaporation*)

De acordo com Morton (1983a, 1983b), ANA (2021) a estimativa da

evaporação de um reservatório artificial pode ser executada através da utilização de dois modelos, que funcionam de forma complementar. Estes modelos são executados a partir de um programa de computador, chamado WREVAP (Morton et al., 1985), tendo como dados de entrada necessários a altitude (m) da estação meteorológica e sua latitude, precipitação mensal (mm), umidade relativa do ar (%), temperatura média do ar (°C) e insolação (h). Este modelo é expresso pela seguinte operação matemática:

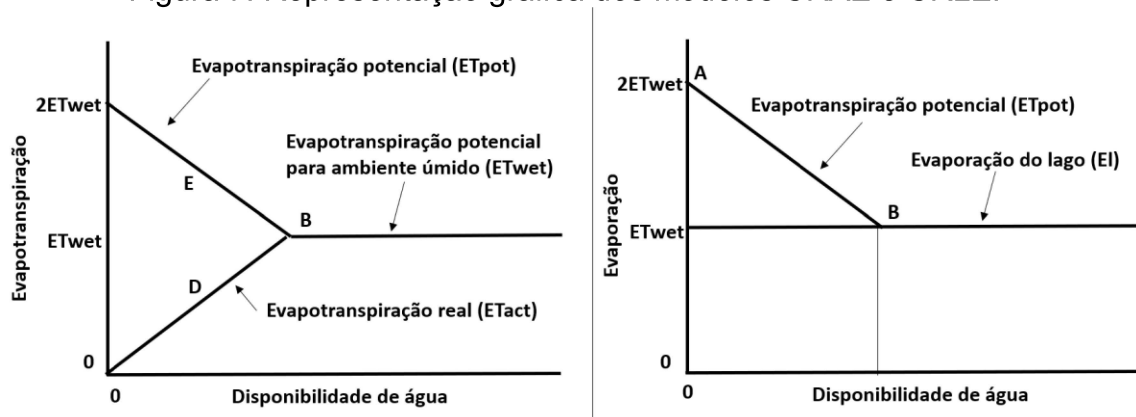
$$ER = 2.ETwet - ETpot \quad (38)$$

Onde:

ETwet é a evapotranspiração em uma situação de ampla disponibilidade de água no solo. ETpot é a evapotranspiração potencial aparente, que ocorre quando há ampla disponibilidade de água no solo e as condições de tempo são efetivamente verificadas.

A figura 7 mostra a representação Gráfica do modelo, acordo com McMahon et al. (2013), ANA (2021):

Figura 7: Representação gráfica dos modelos CRAE e CRLE.



Fonte: ANA (2021), adaptado de McMahon et al. (2013).

n). Método de Thornthwaite/Thornthwaite & Mather.

O método de Thornthwaite permite realizar uma estimativa da Evapotranspiração através da utilização de dados de pluviosidade mensal,

temperatura e a inserção da latitude do local e da capacidade de água disponível no solo, sem a necessidade de tomada de dados em campo. Este método é definido pela seguinte expressão matemática:

$$ETP = Fc.16.(10.T/I)^a \quad (39)$$

T: Temperatura média do ar mensal. (°C)

Fc: Fator de Correção em função da latitude para o mês do ano.

I: Índice de Calor anual.

Este método, embora não seja recente, é amplamente difundido e utilizado em trabalhos atuais, tais como (Vieira, 2015; Al-Sudani, 2019; Alves, Martins e Reboita, 2020; Aragaw & Mishra, 2021), devido principalmente à baixa exigência de dados para a execução da referida técnica. Este método, a partir de sua adaptação como método de Thornthwaite e Mather, pode também estimar o balanço hídrico da área analisada, ampliando o escopo da análise, através da geração de gráficos de extrato de balanço hídrico mensal.

Vieira (2015), em sua tese, realizou uma estimativa de evaporação nos reservatórios de Três Marias (MG) e Sobradinho (BA), através da aquisição de dados meteorológicos referentes às áreas de estudo e posterior aplicação de diferentes métodos de estimativa, dentre eles o de Thornthwaite. A autora realizou uma comparação entre as técnicas empregadas a partir de uma análise de regressão, concluindo que o método de Thornthwaite subestima a lâmina d'água evaporada nos reservatórios analisados, quando comparado com o método de Penman, mas é o mais sensível com relação às temperaturas médias do ar.

Al-Sudani (2019) realiza uma relação entre a temperatura e a evapotranspiração potencial no Iraque, a partir da aplicação do método de Thornthwaite, com a utilização de dados meteorológicos de 32 estações localizadas por todo o território daquele país, concluindo que a relação matemática entre a temperatura média e a evapotranspiração potencial é muito forte, variando de 97,45 à 99,84 em sete setores analisados. Além disso o Mar Mediterrâneo parece influenciar no comportamento dos padrões de temperatura e evapotranspiração potencial, no sudeste ao noroeste do país, causando um

comportamento de diminuição das temperaturas médias e aumento da evapotranspiração potencial.

Alves, Martins e Reboita (2020) realizaram um estudo sobre o balanço hídrico climatológico para o município de Itajubá -MG, de modo a compreender a situação hídrica atual e projetar situações futuras a partir de dados do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), Organização Meteorológica Mundial e de uma estação meteorológica na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Para o cálculo da evapotranspiração potencial, os autores utilizaram o método de Thornthwaite, que também foi utilizado para gerar os balanços hídricos climatológicos.

Os autores concluíram que a irregularidade dos padrões de chuvas durante o período chuvoso e o aumento de temperatura podem ser responsáveis por impactar os principais cultivos realizados no município. Podem ocorrer intensificações de eventos extremos, que causarão prejuízos econômicos e ambientais para o município.

Aragaw & Mishra (2021) realizam uma relação entre a curva de escoamento superficial e a duração da evapotranspiração potencial em quatro bacias na Etiópia, a partir da estimativa de curva pelo método SCS-CN e da evapotranspiração potencial a partir do método de Thornthwaite, pois são métodos que, de acordo com os autores são de mais fácil execução por requererem menor diversidade de dados, em comparação com outros métodos de balanço hídrico e balanço energético. Eles utilizaram dados meteorológicos provenientes da Agência Nacional de Serviços Meteorológicos da Etiópia, sendo que as séries temporais variaram de uma bacia para outra.

Os autores analisaram a relação entre a curva de escoamento e a evapotranspiração potencial a partir de preenchimento do MDE e derivações das equações apresentadas em sua metodologia. Concluíram que há uma forte relação entre os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Thornthwaite e a duração deste fenômeno, a partir da proposta de uma fórmula que relaciona a curva de escoamento na bacia, a evapotranspiração e sua duração.

Os autores ainda afirmam a importância do conhecimento desta relação para os gestores de recursos hídricos e destacam a aplicabilidade do método onde há escassez de dados para aplicação de métodos mais robustos.

Pereira (2004), utilizou este método para calcular as evaporações médias mensais para o reservatório de Sobradinho-BA, localizado na Bacia hidrográfica do rio São Francisco. O autor ainda utilizou o método para estimar a evapotranspiração real da área que viria a abrigar o reservatório em questão. Foram utilizados dados de precipitações médias anuais nos períodos de 1950-1976 e 1979-1999, sendo que os maiores volumes de chuvas estavam concentrados nas porções mais elevadas da bacia.

A partir da aplicação do método de Thornthwaite e Mather, o autor encontrou resultados que mostravam um comportamento deficitário para o período analisado, pois a evapotranspiração potencial se apresentava superior às precipitações anuais, com as maiores diferenças entre os meses de agosto e outubro.

2.4 Uso e Ocupação da terra e Balanço Hídrico

As bacias hidrográficas não são unidades estanques da paisagem, e reagem às alterações em seus domínios e no seu entorno, sejam estas alterações de ordem natural ou antrópica. Desta forma, é importante verificar se as mudanças na utilização da terra nos domínios de uma bacia hidrográfica podem afetar o seu balanço hídrico.

Brito et al, (2020), realizaram um estudo sobre os efeitos que as mudanças no uso da terra podem causar no balanço hídrico na região do Agreste pernambucano, na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, em área de Caatinga e de cultivo de capim braquiária.

Os autores utilizaram uma série de sensores automáticos para coleta de dados de infiltração de água nas áreas estudadas, calculando o balanço hídrico e realizando uma análise estatística, a partir do teste de análise de variância, para cada profundidade de solo.

A partir das análises realizadas, os autores concluíram que nos dois tipos de cobertura analisados, o balanço hídrico acompanhou a variação sazonal das chuvas e que a mudança no uso do solo, com a retirada da vegetação original para implantação de pastagem causou um aumento nas perdas de água por drenagem e houve redução na evapotranspiração.

Carvalho (2016), realizou um estudo sobre a relação entre os elementos antrópicos inseridos nas bacias hidrográficas e alterações em seu balanço hídrico, no contexto da bacia hidrográfica do rio Belém, localizada em Curitiba/PR.

A autora realizou uma delimitação das unidades de resposta hidrológica, utilizando com base os setores censitários do IBGE, que foram recortados de acordo com o contorno da bacia, que foi posteriormente sobreposto ao mapa de uso do solo.

Para os componentes do balanço hídrico, a autora utilizou o modelo “Aquacycle”, desenvolvido pela Universidade de Melbourne, tendo sido utilizada como base para o modelo uma imagem do Google Earth Pro, onde ela realizou a vetorização das categorias aceitas pelo modelo.

Com base nas simulações de balanço hídrico realizadas, a autora concluiu que foi possível delimitar 14 unidades de resposta hidrológica, sendo que as unidades de uso do solo aceitas pelo modelo Aquacycle, embora mostrem particularidades, possuem um comportamento similar, em termos do desvio-padrão.

Ainda de acordo com a autora, a maior parte da área da bacia (72%) é impermeabilizada, o que intensifica os problemas gerados pela dinâmica hídrica na bacia.

Em relação às simulações de balanço hídrico, a autora ainda encontrou um baixo valor de recarga do aquífero por infiltração, ao que é atribuído ao alto grau de impermeabilização da bacia e um elevado valor de escoamento superficial.

A autora também destaca que houve inconsistências em alguns dados de entrada para o modelo, tais como dados do sistema de drenagem e de resíduos domiciliares (uso da água), tendo sido feitos ajustes na calibração do modelo para simular o balanço hídrico na bacia.

Carvalho (2020), em seu estudo sobre o balanço energético no reservatório de Chapéu d’Uvas, a partir de sensoriamento remoto, fez uma análise da evolução da distribuição dos padrões de ocupação do solo na BCRCO, entre os anos de 1985 e 2016.

De acordo com a autora, a classe de Pastagem se apresenta como predominante, sendo seguida das classes Formação florestal e Mosaico de

agricultura e pastagem, sendo que a pastagem apresenta aumento na área utilizada de acordo com os mapas de uso da terra, passando de 45% da área da bacia em 1985 para 51% em 2016. A autora ainda destaca que a classe de formação florestal, embora tenha sofrido alterações ao longo do tempo mantém-se estável em 35%.

Em relação ao uso da terra, a autora conclui que as características de uso da terra na bacia devem ser levadas em consideração para a melhoria da gestão dos recursos hídricos.

Os estudos apresentados trazem conclusões similares, muito embora tenham sido realizados em contextos diferentes e com ferramental diferente. Os padrões de ocupação da terra nas bacias hidrográficas parecem afetar sobremaneira a forma que a dinâmica hídrica ocorre, seja pela diminuição da recarga dos aquíferos, ou pelo aumento dos escoamentos superficiais, ou ainda pela redução da evapotranspiração.

Desta forma é importante pensar em maneiras de aprimora a gestão das formas de ocupação nas bacias hidrográficas e mais especificamente nos entornos de reservatórios artificiais.

Para tanto, Calado et al, (2020) realizaram uma análise de documentos referentes aos planos diretores de modo a articular a gestão dos recursos hídricos e o uso e ocupação dos solos no entorno dos reservatórios artificiais, no contexto do Açude Epitácio Pessoa/PB.

O referido açude faz parte da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, que abrange cerca de 38% do território do estado, sendo, portanto, uma importante fonte de recursos hídricos para os municípios cobertos por este reservatório.

Neste trabalho, as autoras realizaram uma análise dos documentos referentes à gestão das águas do açude, provenientes da ANA e da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba – AESA.

A partir das análises dos documentos concluíram que nos casos dos municípios de Boqueirão e Barra do São Miguel existe a preocupação em assegurar a disponibilidade dos recursos hídricos através do regramento das ocupações, enquanto o município de Cabeceiras necessita de adequações em sua legislação e pode representar risco para a segurança hídrica dos municípios da porção jusante do reservatório.

Por fim, as autoras ainda ressaltam a importância no reestabelecimento

das APPs e a adoção de práticas mais sustentáveis, tais como os cultivos agroecológicos e fazem proposições para um novo documento que venha a ser elaborado, tais como a inclusão do estudo em seus documentos e a adoção de prazos e metas bem definidos, com a ampliação, por parte dos planos municipais da percepção da gestão dos recursos hídricos, levando em conta as áreas próximas e não somente o próprio território.

3. METODOLOGIA

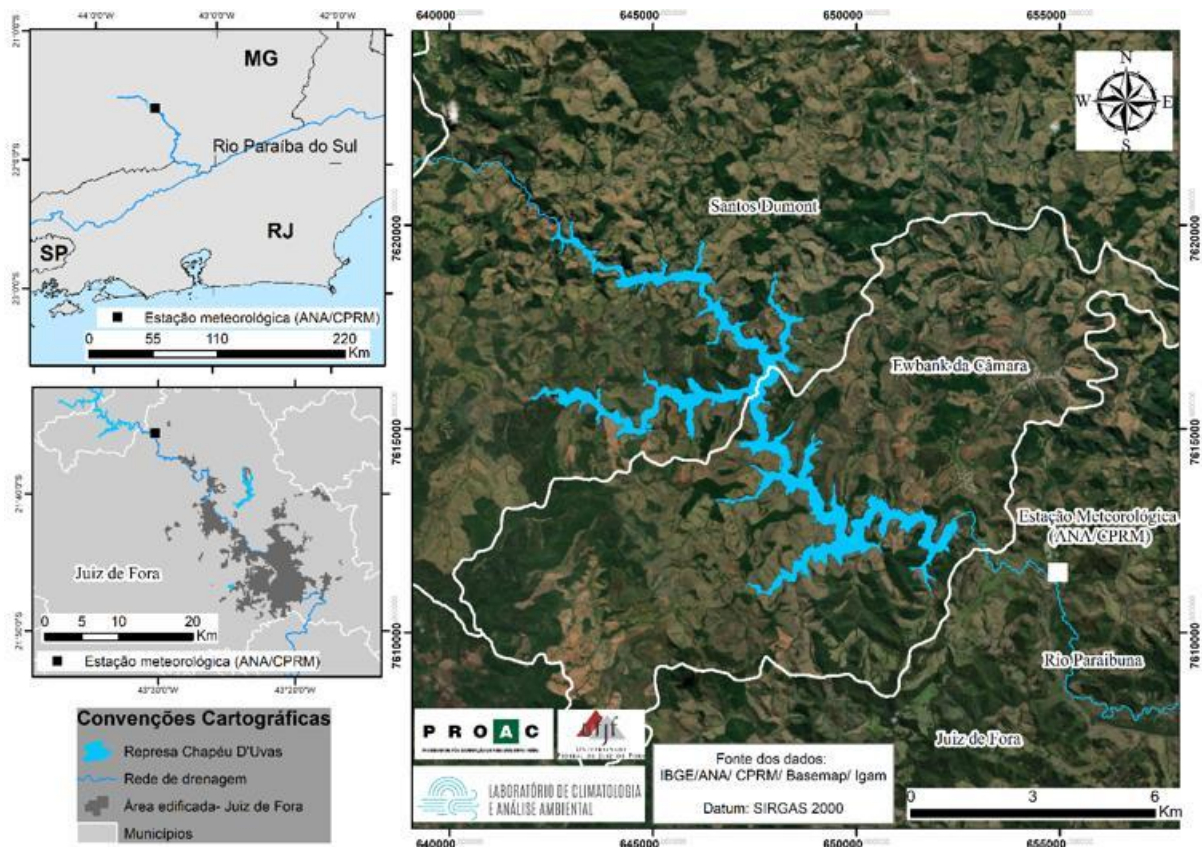
3.1 Caracterização da área de estudo.

a). Localização:

O reservatório de Chapéu d'Uvas está localizado nas coordenadas UTM (641400, 652600E; 7622000, 7610000S), na porção de alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraibuna (Figura 8), sendo que esta é uma das sub-bacias da seção jusante da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, sendo que a bacia de contribuição do reservatório abrange parte dos municípios de Antônio Carlos, Santos Dumont, Ewbank da Câmara, sendo inclusive neste último município em que se localiza o barramento do lago.

De acordo com Alcântara Júnior et al. (2009), o reservatório, que foi inaugurado em 1995, possui uma área de 12Km² e uma extensão de 23Km.

Figura 8: Mapa de Localização do Reservatório da Represa de chapéu d'Uvas.

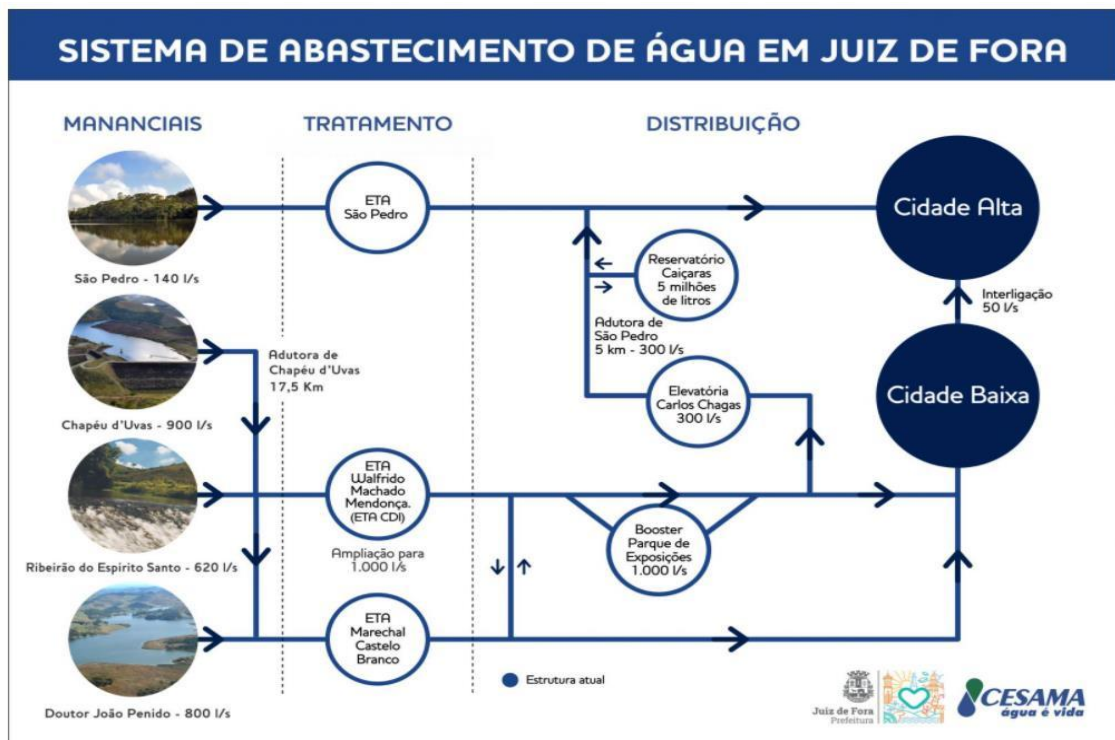


Fonte: Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA).

Seu uso primário, de acordo com Oliveira & Lacerda (2004), é o controle do volume e da vazão da porção montante do rio Paraibuna, de forma a evitar eventos de inundações à jusante, na área mais densamente urbanizada do município de Juiz de Fora.

No entanto, segundo CESAMA (2020), a represa passou a possuir recentemente o uso de manancial de abastecimento urbano, contando com uma capacidade de 900 l/s, podendo ser aumentada para até 5000 l/s, sendo este o manancial com maior capacidade de vazão hídrica, seguido de perto pelo manancial da Represa Doutor João Penido, com 800 l/s, Figura 9.

Figura 9: Esquema dos mananciais de abastecimento de Juiz de Fora.

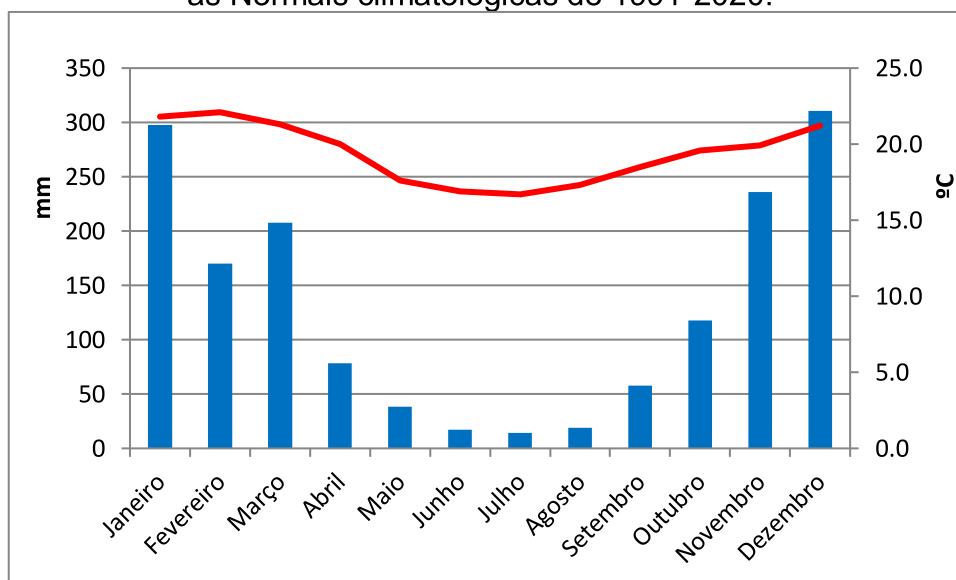


Fonte: <http://www.cesama.com.br/mananciais/barragem-de-chapeu-d-uvras-2>.

b). Climatologia

O regime de chuvas na área de estudo, segundo Ferreira (2012), Frauches et al. (2020) e Oliveira et al. (2020) é composto por duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa, que se estende durante os meses de outubro à março, e outra seca, entre os meses de abril e setembro, com volumes anuais de chuva aproximados de cerca de 1494,87 mm, sendo este um volume típico de um clima tropical, como mostra a figura 10.

Figura 10: Climograma para o município de Juiz de Fora, de acordo com as Normais climatológicas de 1991-2020.



Fonte: Adaptado de INMET.

De acordo com Cavalcanti et al. (2009), ocorre na região a influência de uma série de sistemas atmosféricos (figura 11) tais como a Massa Tropical Atlântica, Massa Polar Atlântica, ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), ZCOU (Zona de Convergência de Umidade), JBN (Jatos de Baixos Níveis), além

de modos de variabilidade climática, tais como ENOS (El Niño Oscilação Sul), TSA (*Tropical South Atlantic*) e ODP (Oscilação Decenal do Pacífico), sendo que estes modos e sistemas possuem características distintas e atuam em intervalos de tempo diferentes, podendo influenciar as chuvas e o clima regional.

Figura 11: Sistemas Atmosféricos atuantes no Brasil.



Fonte: Monção da América do Sul e a ZCAS - Tempo Online (temponline.com.br)

Sobre a possível influência da formação do reservatório nas chuvas locais, Frauches et al. (2020), submetem os dados de pluviosidade anteriores e posteriores a formação do lago a um teste estatístico de homogeneidade. Os resultados não identificaram correlação relevante entre a instalação do lago da represa de Chapéu d'Uvas e os índices pluviométricos locais, de maneira que o lago pudesse influenciar no número de dias chuvosos na área.

Mesmo não tendo sido indicado como significativo pelo teste de avaliação de tendência de *Mann-Kendall* (MK), que houve tendência de diminuição de dias de chuva na maior parte dos meses, com exceção ao mês de março. Este comportamento de tendências negativas pode estar relacionado à participação e atuação de sistemas atmosféricos ou módulos de variabilidade.

c). Geomorfologia e Pedologia.

Segundo Gatto et al. (1983) e Marques Neto et al. (2017), a área em que a bacia do Paraibuna está localizada se caracteriza por um “relevo mamelonizado com baixas cristas que tipificam as Serras da Zona da Mata mineira” (Figura 12), sendo uma área representativa desta tipologia.

Ainda segundo Marques Neto (2017) os solos da região, provenientes do desgaste erosivo dos morros, são compostos de uma presença preponderante de associações entre Latossolos e Cambissolos, com ocorrências esporádicas de Neossolos Litólicos nas vertentes mais acidentadas. Além disso, nas áreas de planície da bacia, ocorrem Gleissolos e Neossolos Flúvicos.

Figura 12: Exemplos de relevo de morros mamelonizados, fazendo a transição para as cristas da Serra da Mantiqueira, nas proximidades dos reservatórios (1) Chapéu d'Uvas; (2) João Penido.



Fontes: (1) <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/07-03-2019/municipios-concordam-em-gestao-compartilhada-de-chapeu-duvas.html>; (2) <https://www.cesama.com.br/mananciais/represa-dr-joao-penido-2>.

d). Ocupação da Bacia.

De acordo com Machado (2012), a partir de dados do censo do IBGE de 2010, a população residente na área da bacia de contribuição do lago da represa de Chapéu d'Uvas é de 1732 habitantes, distribuídos nos três municípios abarcados pela bacia. Ainda de acordo com o censo do IBGE, houve um aumento de populações residentes na porção urbana da bacia.

A partir da consulta de dados mais recentes do IBGE, para o ano de 2020, houve um aumento significativo nas populações dos municípios da bacia, mas devido à falta do censo demográfico de 2020, em função do contexto de pandemia, as informações constantes na página do IBGE se referem ao ano de 2010 (Último censo demográfico realizado), Tabela 1, sendo que as populações para o ano de 2020 são baseadas em estimativas. Dessa forma, a Tabela 3 apresenta dados de população, separados entre as porções urbanas e rurais dos municípios abrangidos pela BCRC, para o ano de 2010, de acordo com Machado, (2012).

Tabela 1: População residente na área da BCRCO (Bacia de Contribuição da Represa Chapéu d'Uvas), com base no censo demográfico do IBGE de 2010.

Município	População Urbana	População Rural	Total
Antônio Carlos	-----	399	399
Ewbank da Câmara	-----	126	126
Santos Dumont	607	600	1.207
BCRCO*(Total)	607	1.125	1.732

Fonte: Adaptado de (Machado, 2012).

Nas proximidades do lago, há ainda um conjunto de habitações de maior poder aquisitivo, em que os moradores utilizam o lago para suas atividades de lazer, como natação, passeios de barcos particulares, moto-aquáticas (jet-ski) e pesca.

Há um novo empreendimento em fase de projeto/implantação, contando com 81 unidades com 20 a 30 mil m², o que deve trazer mais habitações de alto padrão para a região. Estas habitações, que terão acesso direto ao reservatório, através de *píers*, os quais poderão causar impactos negativos devido à ampliação dos aportes sedimentares provenientes das áreas desmatadas e emissão de poluentes provenientes das atividades dos moradores.

Quando a utilização do reservatório como manancial de abastecimento público é levada em conta, tais impactos se tornam preocupantes, pois podem afetar ainda mais a qualidade da água consumida pela população.

A seguir serão apresentadas as técnicas de análise e os dados utilizados e os procedimentos adotados na presente pesquisa.

3.2 Apresentação do método de Thornthwaite & Mather (1955) e dos dados de temperatura e pluviosidade utilizados

De acordo com (Vieira, 2015; Palmer & Havens, 1958; Hamon, 1960; Al-Sudani, 2019; Aragaw & Mishra, 2021; Sentelhas, Santos e Machado, 2008; Alves, Martins e Reboita, 2020; Pereira e Pruitt, 2004), o Método de Estimativa de Evapotranspiração proposto por Thornthwaite (1948) pode ser expresso pela seguinte equação:

$$ETP = Fc.16.(10.T/I)^a \quad (40)$$

Onde:

T: Temperatura média do ar mensal. (°C)

Fc: Fator de Correção em função da latitude para o mês do ano.

I: Índice de Calor anual.

O valor a é calculado por:

$$a = 6,75.10^{-7}. I^3 - 7,71.10^{-5}. I^2 + 1,79.10^{-2} + 0,49 \quad (41)$$

O índice de calor anual I é calculado por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (42)$$

Onde i varia de 1 a 12 de acordo com o mês do ano.

Os dados de Pluviosidade e Temperatura mensais, obtidos a partir da Estação climatológica (Cod. 2143020), localizada à cerca de 2 km da barragem, e da Estação Climatológica do INMET/UFJF, localizada no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, referentes a uma série histórica que se estende de 1972 à 2020, e a latitude do local foram submetidos ao método de Thornthwaite & Mather (1955), em uma planilha no *software Microsoft Excel*, que devolveu como saídas os valores de Evapotranspiração mensal para cada ano, além de gráficos de balanço hídrico, ajustados de acordo com os resultados obtidos (ROLIM et al., 1998).

Dada a existência de eventuais falhas nos dados de temperatura do ar da Estação Climatológica da UFJF, foi adotado seu preenchimento por meio de dados de reanálise climática ERA5, provenientes do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), disponíveis por meio de seu website (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>), para a correta aplicação da técnica de evapotranspiração desenvolvida por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955).

Para Seifert et al. (2021), a melhoria nas condições técnicas de

processamento dos dados de reanálise climática gera dados cada vez mais sensíveis à representação das variáveis meteorológicas. Dessa forma, garantem a confiabilidade no uso de tais recursos em estudos em climatologia.

Segundo Sanches et al. (2022), o processamento de tais dados ocorre a partir de um conjunto de fontes e recursos técnicos que abrangem desde informações oriundas de estações meteorológicas de superfície, de atividades de radiossondagens, de imagens de satélites de alta resolução, de radares meteorológicos e de modelos numéricos. Dessa forma, são fornecidos dados com resoluções espaciais cada vez maiores e, conseqüentemente, com melhor acurácia de seus dados.

Os dados de evapotranspiração obtidos foram posteriormente submetidos ao teste de avaliação de tendências de Mann-Kendall, através do *software PAST*, para que fosse possível verificar possíveis tendências dos valores de ETP, de forma a oferecer indícios sobre o impacto das perdas hídricas por evapotranspiração no balanço hídrico do reservatório.

De acordo com Pereira (2005); Mendonça (1958), o método de Thornthwaite & Mather permite calcular o Balanço Hídrico Climatológico, a partir dos dados de pluviosidade e da Evapotranspiração potencial de cada período, podendo estimar a evapotranspiração real sem que haja medições diretas das condições de armazenamento hídrico do solo.

Este balanço hídrico, juntamente com as informações de tendências de temperaturas e pluviosidades do local permitiram a construção de um quadro mais completo de conhecimento do comportamento hídrico do reservatório de Chapéu d'Uvas.

3.3 Avaliação de Tendências

O teste de avaliação de tendências de Mann-Kendall, de acordo com Alhaji et al. (2018); Shadmani, Marofi e Roknian (2012) é um teste não-paramétrico que auxilia na identificação de tendências em uma série de dados, através da comparação de magnitudes relativas de uma amostra dos dados, não sendo necessário que haja conformidade com alguma distribuição específica dos dados.

Pode ser utilizado em qualquer temática de estudo que necessite de uma

série temporal de dados. O teste MK pode ser expresso através da expressão matemática:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (43)$$

Onde:

X_i, X_j : valores sequenciais dos dados de uma série temporal, sendo i e j anos da série.

n : extensão desta série de dados.

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (44)$$

O seguinte termo da equação varia entre -1 e 1, conforme a condição que for satisfeita para as soluções de $(X_j - X_i)$.

Se H_0 for verdadeira, os valores da estatística S irão apresentar uma distribuição normal, possuindo uma média nula e uma variância que é determinada pela seguinte expressão:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1).(2n+5)}{18} \quad (45)$$

De posse dos valores da estatística S e de sua variância, o valor da estatística MK pode ser definido pela seguinte expressão:

$$MK = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (46)$$

A partir do Cálculo da estatística MK, é preciso determinar se H_0 (não há tendência no conjunto de dados) deve ser aceita ou rejeitada. Considerando um nível de significância estatística de 95%, se o valor de MK for inferior à -1,96 ou superior à 1,96, H_0 deverá ser rejeitada. O valor de MK também determina se ocorre tendência de crescimento ($MK > 0$) ou de redução dos valores ($MK < 0$) conforme recomendam Folhes e Fisch (2006) e Blain (2010).

3.4 Análise de Anomalias de Chuvas

Além de identificar as tendências de variação de temperaturas e da evapotranspiração potencial, uma análise que pode ser relevante para este estudo é a análise de resíduos (das anomalias na pluviosidade). Os resíduos são determinados a partir da diferença entre as chuvas mensais de um determinado mês e as chuvas da normal climatológica para aquele mês.

$$R = \text{chuva média mensal} - \text{chuva normal para o mês} \quad (47)$$

Uma análise semelhante foi realizada por Coelho et al (2015) com o intuito de entender os mecanismos de geração de um intenso período de seca que ocorreu no Brasil no verão de 2014. Os autores realizaram uma comparação entre os dados de precipitações do verão naquele ano, com os valores de precipitação da normal climatológica para os meses de verão em uma série de 1981-2010.

Bertotti, Gregio e Sanches (2012) aplicaram análise de resíduo de chuvas mensais em Erechim, para uma série de dados de 1999-2011, em comparação com a Normal Climatológica de 1961-1990, além de submeterem os resultados ao teste de tendências MK. Os autores constataram que as precipitações na região analisada sofriam grande variação.

Outra análise que foi realizada é a do resíduo entre a pluviosidade e a evapotranspiração potencial, de maneira a entender como se comporta o balanço entre o *input* hídrico pelas chuvas e o *output* através do processo de evapotranspiração.

Resíduo = chuvas mensais - ETP

(48)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados preliminares referentes a tendência das temperaturas mensais, da evapotranspiração mensal e da análise de resíduo entre as chuvas mensais e a Normal Climatológica (1991-2020), a evapotranspiração e os resíduos entre as chuvas mensais e a ETP.

4.1 Tendência das temperaturas

Os dados de temperaturas mensais denotam uma tendência de aumento, tal como mostra a figura (13). Nos gráficos, é possível identificar este aumento por meio da reta de tendência, por meio de seu coeficiente angular, que mostra uma inclinação positiva.

Esta tendência de aumento de temperatura corresponde à tendência de aumento de temperaturas médias globais divulgadas pelos relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* e para suas projeções de aumento de 1,5°C (IPCC, 2021).

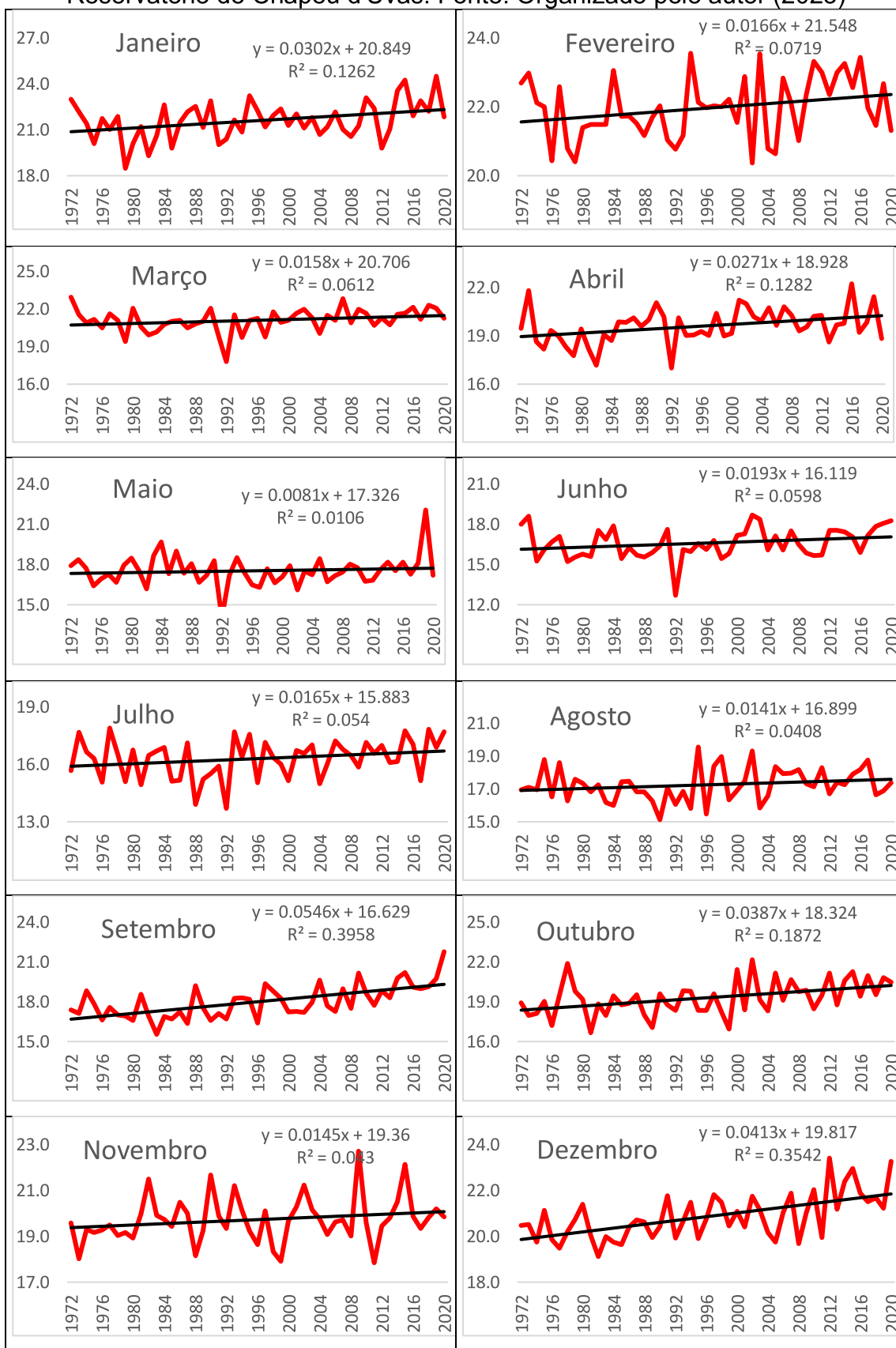
Em seu sexto relatório, no sumário executivo para gestores públicos (AR6), o IPCC recomenda que deve haver um fortalecimento das ações dos governos em direção à diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

Ainda de acordo com o relatório, as emissões de gases-estufa têm aumentado devido à evolução das atividades humanas desde 1750, com sensível aumento a partir de 2011, de concentrações de diversos poluentes tais como CO₂, CH₄ e N₂O.

Cabe, no entanto realizar uma análise nos valores de temperaturas mensais de forma individual, para que seja possível visualizar quais meses apresentam as tendências de aumento de temperatura mais relevantes.

A Figura 13 demonstra gráficos de tendências das temperaturas mensais para o entorno do reservatório de Chapéu d'Uvas no período de 1972 a 2020.

Figura 13: Tendência de variação de Temperaturas médias mensais no Reservatório de Chapéu d'Uvas. Fonte: Organizado pelo autor (2023)



No mês de janeiro, a série de dados mostra 16 picos de temperaturas. A linha de tendência para o mês de janeiro aponta para um aumento de temperatura na série e seu r^2 se ajusta a 12,62% em relação aos valores de entrada.

No mês de fevereiro, a série mostra 14 picos de temperaturas. Assim como em janeiro, a linha de tendência aponta para um aumento de temperaturas médias, sendo que seu r^2 se ajusta a 7,19% dos valores.

Em março, ocorrem de 15 picos de temperatura. De forma semelhante aos meses anteriores a linha de tendência aponta para aumento de temperaturas médias, com r^2 se ajustando a 6,12% dos valores. Neste mês a tendência de aumento de temperatura é significativa de acordo com o teste MK, com um *score* de 2,23.

Em abril, a série mostra a ocorrência de 16 picos de temperatura. A linha de tendência para o mês de abril aponta para um aumento de temperatura, com r^2 se ajustando a 12,82% dos valores. Tal como março, este também é um mês com tendência significativa de variação de temperatura média de acordo com o teste MK, com *score* de 2,53.

No mês de maio ocorrem 16 picos de temperatura e a linha de tendência aponta para um aumento de temperatura média, com r^2 se ajustando a 1,06% dos valores de entrada.

Em junho ocorrem 15 picos de temperatura. A linha de tendência aponta para um aumento de temperatura média, com r^2 se ajustando a 5,98% dos valores. Neste mês, o teste MK mostra significância estatística para a variação de temperatura, com *score* de 2,14.

No mês de julho a série mostra a ocorrência de 16 picos de temperatura. A linha de tendência aponta para um aumento de temperatura, com r^2 se ajustando a 5,4% dos valores.

Em agosto, ocorrem 15 picos de temperatura. A linha de tendência para o mês indica um aumento de temperatura, com r^2 se ajustando a 4,08% dos valores.

Em setembro, ocorrem 14 picos de temperatura. A linha de tendência aponta para aumento de temperatura, com r^2 se ajustando a 39,58% dos valores. O teste MK mostra significância estatística para a variação de temperatura média no mês, com *score* de 4,39, sendo o mais alto da série.

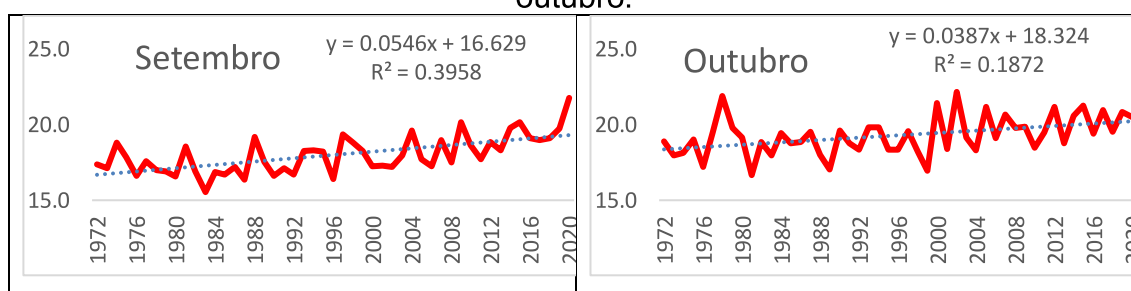
Em outubro, ocorrem 16 picos de temperatura. A linha de tendência para o mês aponta para aumento de temperatura média, com r^2 se ajustando a 18,72% dos valores. Este mês também apresenta significância estatística para variação de temperatura média de acordo com o teste MK, com *score* de 3,00.

No mês de novembro, ocorrem 12 picos de. A linha de tendência aponta para aumento de temperatura média, com r^2 se ajustando a 4,3% dos valores.

Em dezembro, ocorrem 14 picos de temperatura. A linha de tendência aponta para aumento de temperatura média, com r^2 se ajustando a 35,42% dos valores. De acordo com o teste MK, este mês apresenta significância estatística para a variação de temperatura média, com *score* de 4,07, sendo o segundo conjunto de dados mais significativo, inferior apenas em relação a setembro.

Faz-se necessário destacar a tendência dos dados para os meses de setembro e outubro. Considerados por INMET (2017) como meses de fim do período seco (com algumas precipitações ocorrendo a partir da segunda quinzena do mês) e retorno do período chuvoso, respectivamente, sendo que Santos e Garcia (2016), com o uso do método de Liebmann determinam a estação chuvosa e mais quente entre outubro e março na região. Estes meses apresentam tendência significativa de aumento de temperatura média na série de dados, tal como mostrado pelo teste de tendências de Mann-Kendall, com resultados apresentados na tabela 2.

Figura 14: Tendências das temperaturas médias para os meses de setembro e outubro.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

O gráfico de temperaturas para a região do reservatório, Figura 14 mostra uma tendência de aumento médio de aproximadamente $1,15^{\circ}\text{C}$. A aplicação do teste de tendências de Mann-Kendall (MK) para as temperaturas mensais ao longo da série mostra alguns valores discrepantes para a variação de temperaturas, sendo os mais notáveis durante os meses de setembro, outubro

e dezembro, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Tendências de Temperaturas mensais para a área do reservatório de Chapéu d'Uvas e resultados do teste de *Mann-Kendall*.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MK	1,90	1,89	2,23	2,53	0,17	2,14	1,68	1,19	4,39	3,00	1,52	4,07
	Meses com tendência significativa de variação de temperatura média.											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1º ano	20,8	21,5	20,7	18,9	17,3	16,1	15,8	16,9	16,6	18,3	19,3	19,8
49º ano	21,9	22,3	21,4	20,2	17,7	17,0	16,6	17,5	19,3	20,2	20,0	21,8
Dif.	1,1	0,8	0,7	1,3	0,3	0,9	0,8	0,6	2,6	1,8	0,7	1,9

Fonte: Organizado pelo autor (2022)

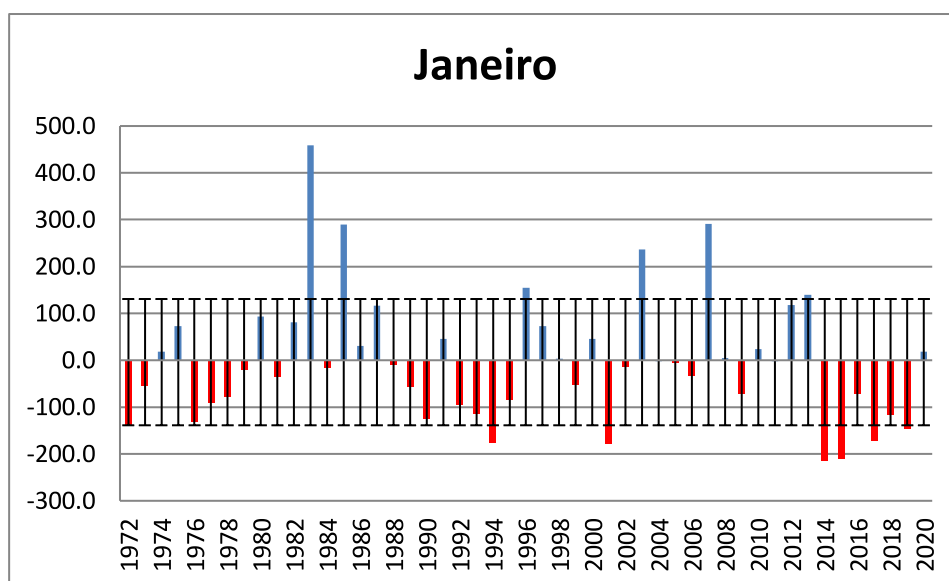
4.2 Análise das anomalias de chuvas.

A análise dos gráficos obtidos a partir do cálculo das anomalias (Figuras 15-26) demonstra que a maior parte dos meses apresenta um padrão pluviométrico com comportamento abaixo do valor da Normal Climatológica de 1991-2020, exceto os meses de fevereiro, junho, julho e agosto. Observa-se, também, um padrão de redução em todos os meses, demonstrando que este comportamento das anomalias é sustentado.

No mês de janeiro (Figura 15), ocorreram 18 eventos de desvios pluviométricos positivos em relação à normal, com 29 eventos de desvios pluviométricos negativos, sendo este um mês com predomínio de chuvas abaixo da normal.

As barras de desvio-padrão se apresentam centradas em torno do valor nulo, com seis ocorrências de eventos acima do desvio-padrão e seis ocorrências abaixo do desvio-padrão.

Figura 15: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de janeiro.

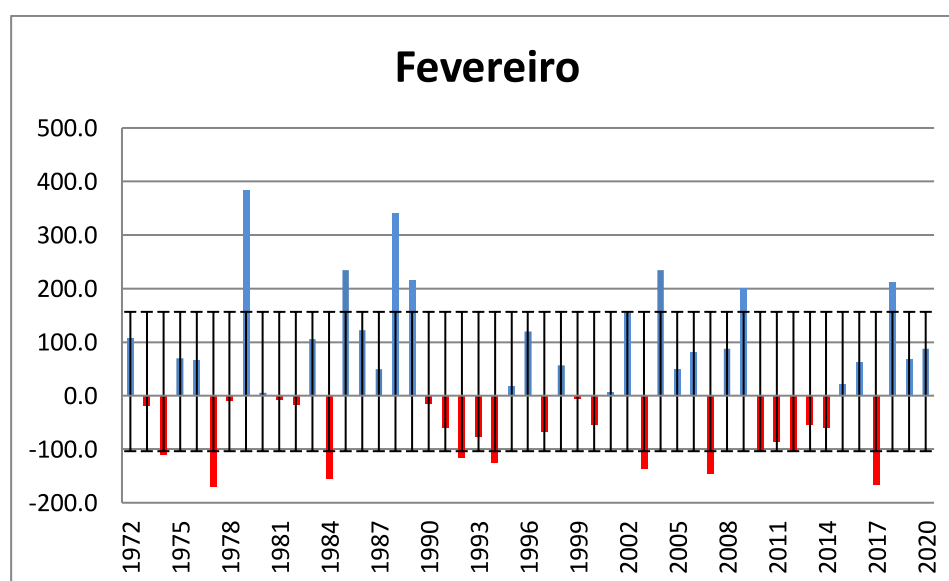


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em fevereiro (Figura 16), ocorrem 26 eventos de anomalias positivas e 23 eventos de anomalias negativas, sendo este um mês de chuvas acima da normal. Esta predominância de volumes excedentes de chuva causa um leve deslocamento das barras de desvio-padrão em direção aos valores positivos.

Ocorrem 15 eventos destoantes do desvio-padrão, sendo sete eventos acima do seu limite superior e 8 abaixo do limite inferior.

Figura 16: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de fevereiro.

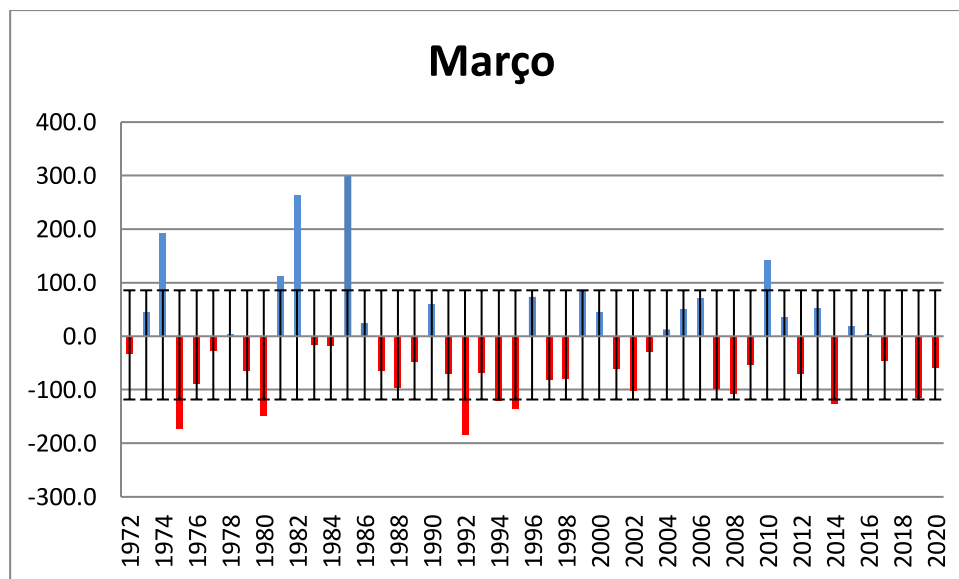


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em março (Figura 17), último mês do período chuvoso do calendário hidrológico na região, ocorrem 18 eventos de anomalias positivas e 30 eventos de anomalias negativas, sendo mais um mês de chuvas predominantemente abaixo da normal. A série demonstra o predomínio das chuvas abaixo do valor da Normal Climatológica.

A predominância de valores negativos de chuvas causa um deslocamento das barras de desvio-padrão em direção aos valores negativos. Ocorrem cinco eventos excedendo o limite superior do desvio-padrão e cinco eventos com valores abaixo do limite inferior do desvio-padrão, totalizando 10 eventos destoantes.

Figura 17: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de março.

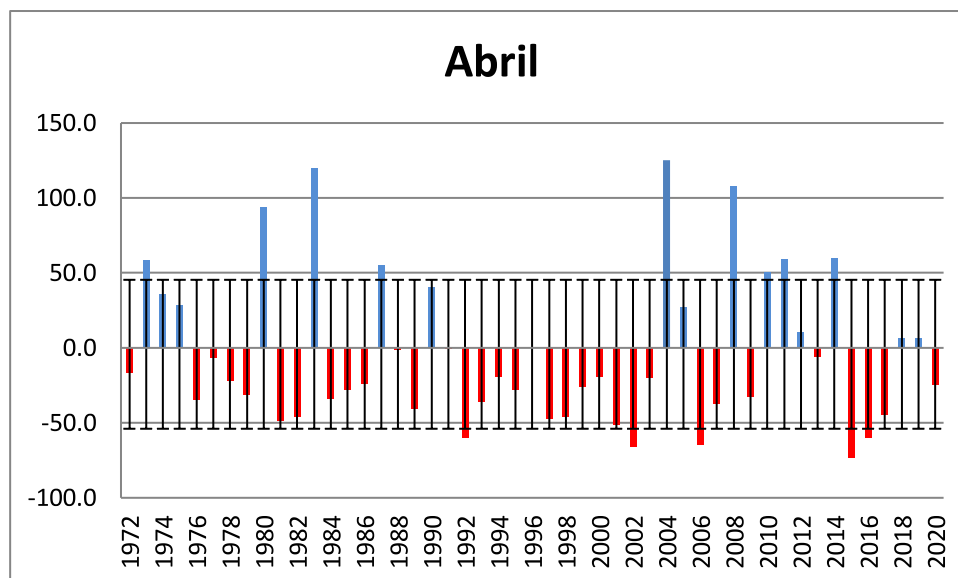


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de abril (Figura 18), ocorrem 17 eventos de anomalias positivas e 30 eventos de anomalias negativas, sendo um mês de chuvas predominantemente abaixo da Normal ao longo da série.

Os valores negativos são responsáveis por um deslocamento das barras de desvio-padrão para os valores negativos, com a ocorrência de nove eventos com valores acima do limite superior do desvio-padrão e cinco eventos abaixo do limite inferior, totalizando 14 eventos destoantes.

Figura 18: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de abril.

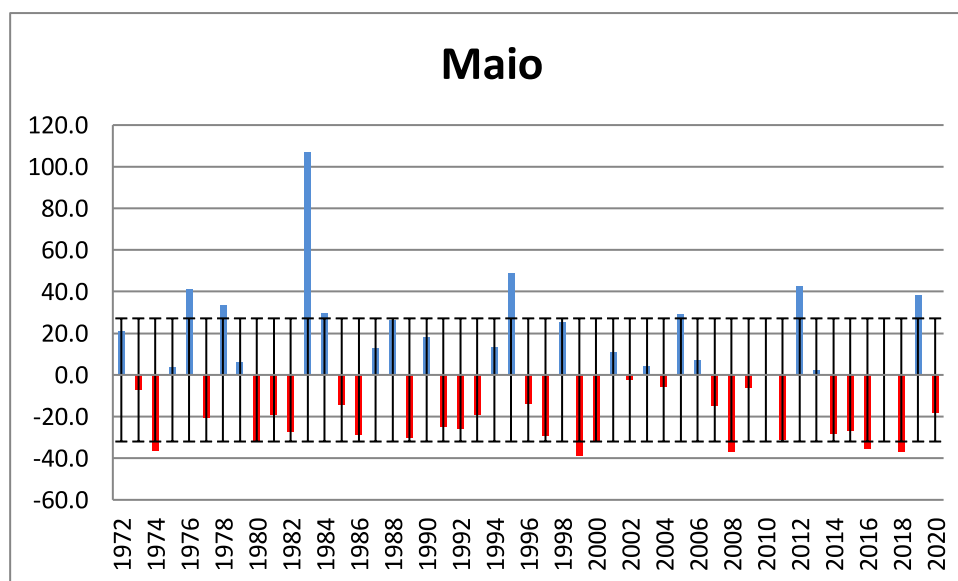


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em maio (Figura 19), ocorreram 22 eventos de anomalias positivas e 27 eventos de anomalias negativas, caracterizando este como um mês com chuvas predominantemente abaixo da Normal durante a série.

Observa-se um deslocamento das barras de desvio-padrão em direção aos valores negativos, com a ocorrência de oito eventos de valores acima do limite superior e cinco eventos com valores abaixo do limite inferior do desvio-padrão, totalizando 13 eventos destoantes.

Figura 19: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de maio.

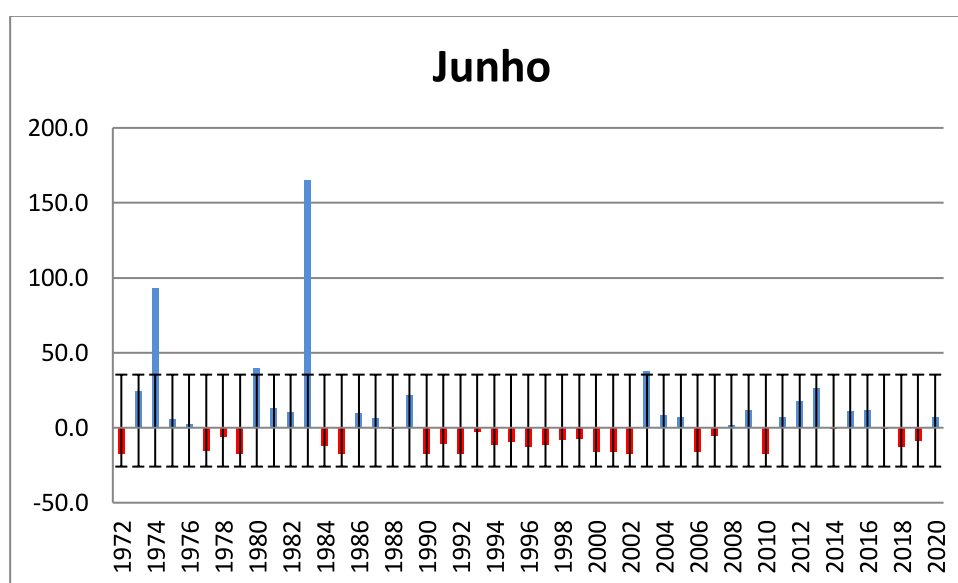


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de junho (Figura 20), ocorrem 22 eventos de anomalias positivas e 24 eventos de anomalias negativas. Neste mês as barras de desvio-padrão sofrem um leve desvio para os valores positivos, com a ocorrência de quatro eventos destoantes sendo todos de valores acima do limite superior do desvio-padrão.

Esses quatro eventos (anos de 1974, 1980, 1983 e 2003) apresentaram valores acima do limite superior do desvio padrão.

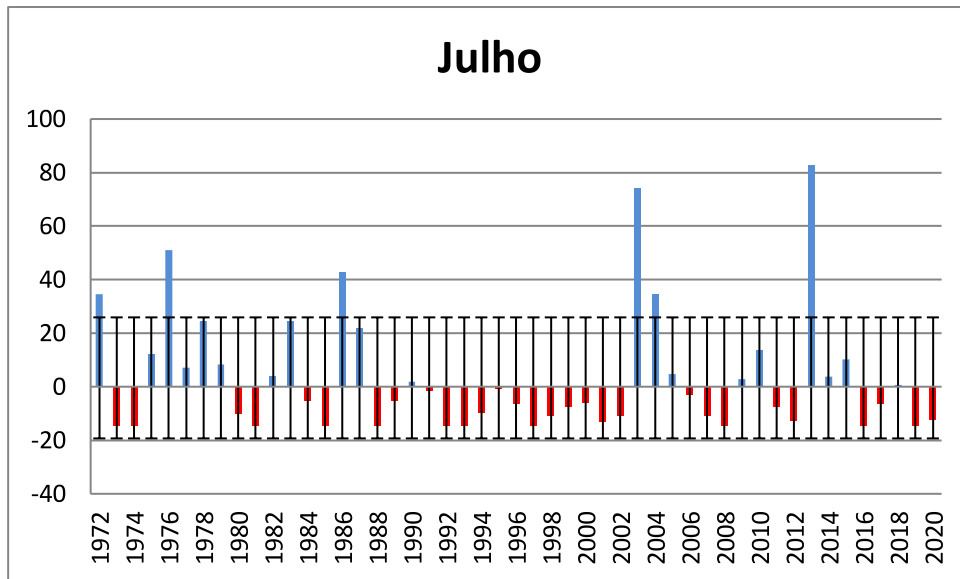
Figura 20: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de junho.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de julho (Figura 21), ocorrem 20 eventos de anomalias positivas e 29 eventos de anomalias negativas, o que torna o mês com chuvas predominantemente abaixo da Normal. Os altos valores das anomalias positivas que ocorrem de forma isolada na série deslocam as barras de desvio-padrão para os valores positivos, com a ocorrência de seis eventos destoantes, sendo todos eles de valores acima do limite superior do desvio-padrão.

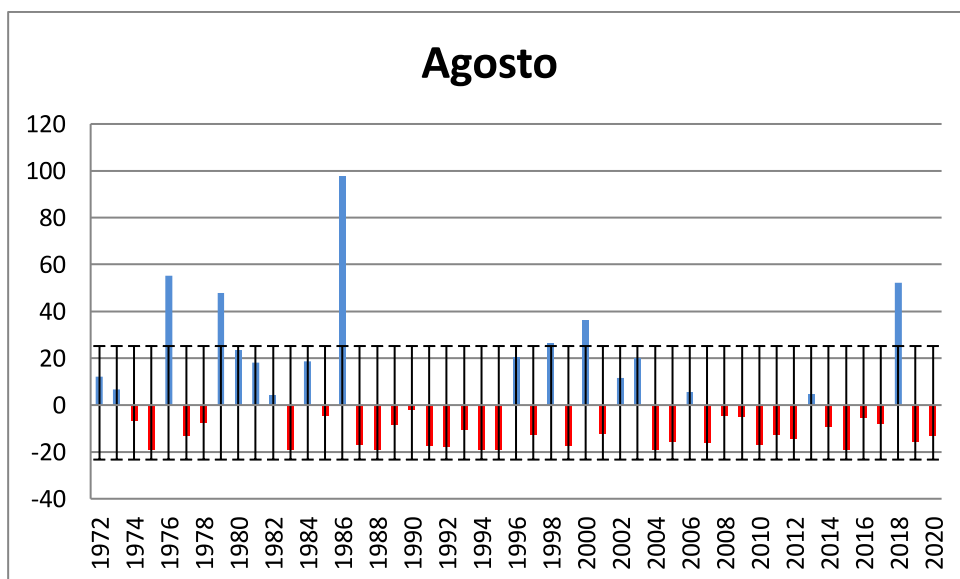
Figura 21: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de julho.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em agosto (Figura 22), ocorrem 17 eventos de anomalias positivas e 32 eventos de anomalias negativas, de forma que este mês possua chuvas predominantemente abaixo da Normal na série. Neste mês há um leve deslocamento das barras de desvio-padrão em direção aos valores positivos, com a ocorrência de seis eventos destoantes, sendo todos eles de valores acima do limite superior do desvio-padrão.

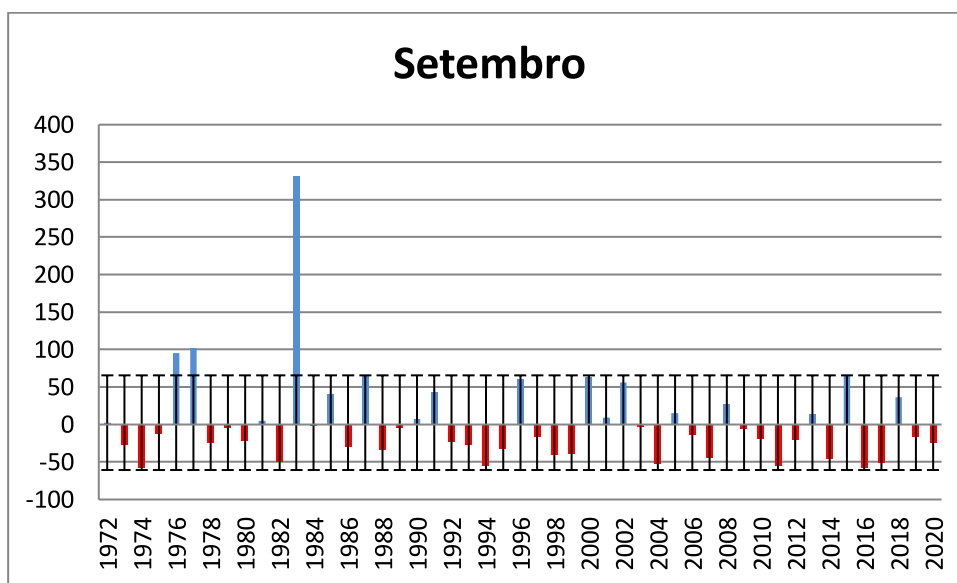
Figura 22: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de agosto.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em setembro (Figura 23), mês em que se inicia o processo de transição entre o período seco e o chuvoso na região, ocorreram 18 eventos de anomalias positivas e 29 eventos de anomalias negativas, tornando este mês de chuvas predominantemente abaixo da Normal. As barras de desvio-padrão sofrem leve desvio para os valores positivos e ocorrem três eventos destoantes, sendo todos de valores acima do limite superior do desvio-padrão.

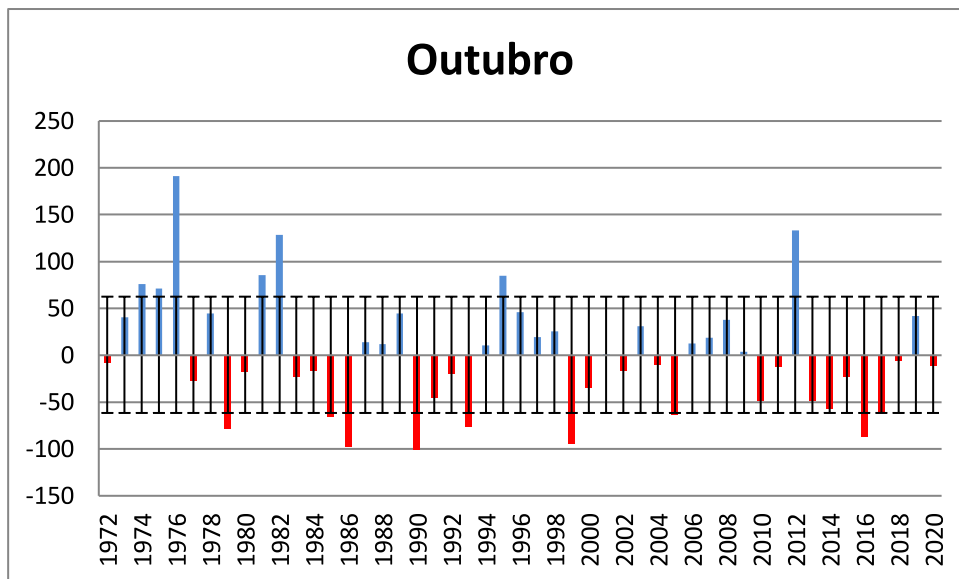
Figura 23: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de setembro.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de outubro (Figura 24), início de período chuvoso na região, ocorrem 22 eventos de anomalias positivas e 26 eventos de anomalias negativas, colocando este mês como predominantemente de chuvas abaixo da Normal na série. Devido ao maior equilíbrio entre os valores positivos e negativos, as barras de desvio-padrão ficam centradas, com a ocorrência de sete eventos de valores acima do limite superior do desvio-padrão e sete eventos de valores abaixo do limite inferior, totalizando 14 eventos destoantes.

Figura 24: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de outubro.



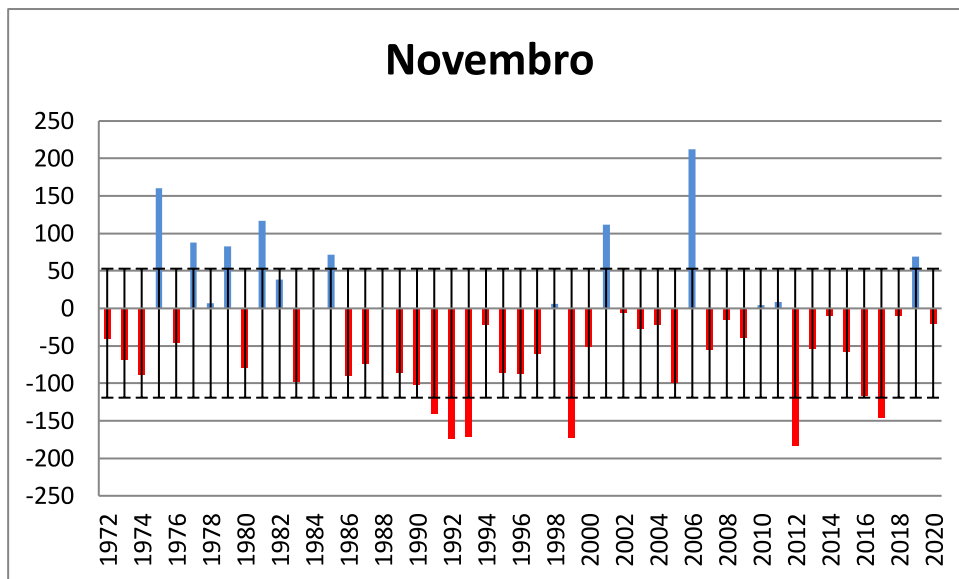
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em novembro (Figura 25), ocorreram 14 eventos de anomalias positivas (mês com menor número de desvios positivos no conjunto de dados) e 34 eventos de anomalias negativas, sendo este mês de chuvas predominantemente abaixo da Normal.

Uma vez que novembro se configura como um mês da estação chuvosa, o predomínio de meses com chuvas abaixo da Normal destaca-se como preocupação para o processo de manutenção do reservatório.

As barras de desvio-padrão sofrem um sensível deslocamento para os valores negativos, com a ocorrência de oito eventos de valores acima do limite superior do desvio-padrão e seis eventos com valores abaixo do limite inferior, totalizando 14 eventos destoantes.

Figura 25: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de novembro.



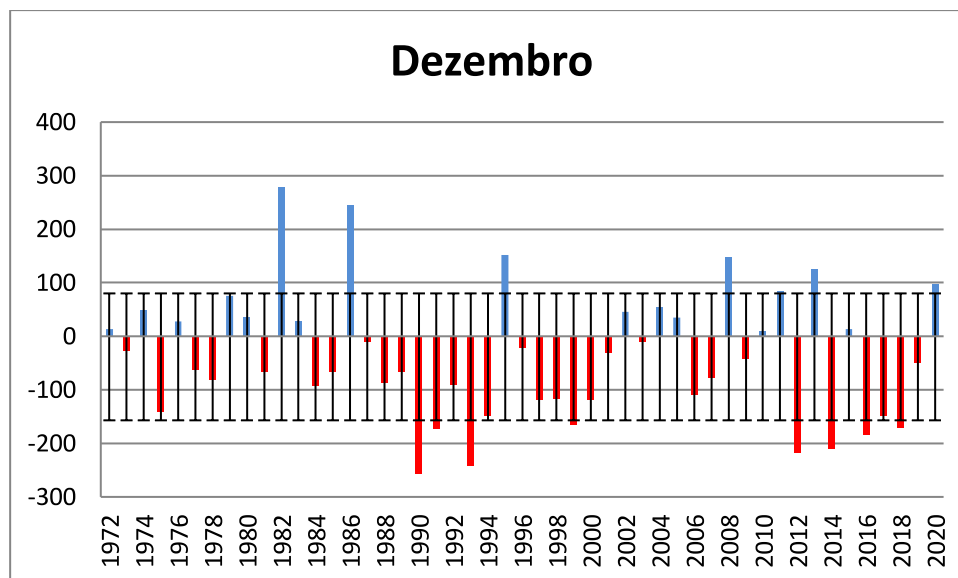
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em dezembro (Figura 26), ocorreram 18 eventos de anomalias positivas e 31 eventos de anomalias negativas, colocando o mês com chuvas predominantemente abaixo da Normal.

Assim como observado nos meses de novembro (Figura 25), o predomínio de meses com chuvas abaixo da Normal em um mês típico da estação chuvosa, preocupa a questão do aporte hídrico na manutenção do reservatório

Neste mês as barras de desvio-padrão sofrem novamente um sensível desvio em direção aos valores negativos, com a ocorrência de sete eventos de valores acima do limite superior e oito eventos de valores abaixo do limite inferior do desvio-padrão, totalizando 15 eventos destoantes.

Figura 26: Anomalia das chuvas mensais (mm) para os meses de dezembro.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

A partir das análises dos gráficos de anomalias de chuva, é possível observar que as chuvas na série de dados são na maior parte dos casos, abaixo da normal, exceto pelo mês de fevereiro, notando a ocorrência de eventos de grandes volumes de chuva acima da média em todos os meses.

Destaque deve ser dado aos meses do período seco, em não há situações de desvios abaixo do desvio-padrão, diferentemente do período chuvoso, que apresenta situações destoantes em ambas as direções. Essa condição sugere e caracteriza os meses da estação seca.

Observa-se ainda que a maior parte dos eventos pluviométricos da série está dentro do desvio-padrão, porém, a quantidade de anos com chuvas abaixo da Normal apresenta-se maiores do que os meses com chuvas acima da Normal Climatológica.

Dos meses analisados, aqueles que mais se destacam são outubro (início do período chuvoso), novembro e dezembro, meses do período chuvoso, pois apresentam maior quantidade de eventos de anomalias negativas do que positivas, além de apresentarem estes desvios negativos com valores elevados.

Dentre estes meses destaca-se novembro, por apresentar o menor número de anomalias positivas e maior número de chuvas abaixo da Normal Climatológica utilizada, como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Resumo das análises de anomalias de chuva para a série histórica em questão.

Mês	Anom.(+)	Anom.(-)	Dentro do Padrão		Fora do Padrão	
			Anom.(+)	Anom.(-)	Anom.(+)	Anom.(-)
Janeiro	18	29	12	23	6	6
Fevereiro	26	23	19	15	7	8
Março	18	30	13	25	5	5
Abril	17	30	8	25	9	5
Mai	22	27	14	22	8	5
Junho	22	24	18	24	4	0
Julho	20	29	14	29	6	0
Agosto	17	32	11	32	6	0
Setembro	18	29	15	29	3	0
Outubro	22	26	15	19	7	7
Novembro	14	34	6	28	8	6
Dezembro	18	31	11	23	7	8
Total	232	344	156	294	76	50

Fonte: Organizado pelo autor (2022)

O comportamento deficitário das chuvas da série de dados analisada é semelhante aos resultados obtidos no trabalho de Coelho et al (2015), embora naquela pesquisa, os autores tenham se limitado a analisar as anomalias de chuvas apenas para parte dos meses do verão (DJF). Neste trabalho, as anomalias de chuvas por resíduo foram calculadas para todos os meses.

Estes resultados despertam a atenção, pois o *input* hídrico proveniente das chuvas fica aquém do que seria esperado para cada mês. Tais condições podem estar se configurando como tendência, ainda que não significativa, no sentido de haver um possível comprometimento da capacidade de abastecimento do reservatório, mesmo que esta não seja sua função primária.

No entanto, deve-se notar que dadas as dimensões e variedade de contextos ambientais do Brasil, os resultados dos estudos em reservatórios hídricos podem apresentar resultados variados, tal como em Fisch, Januário e Senna (1990), Guidon (1991), Sanches e Fisch (2005), o contexto da Amazônia, reservatório Tucuruí-PA, que mostraram aumento de chuvas fracas durante o mês de Agosto, além do aumento das chuvas com maior intensidade em

Setembro, resultados que diferem substancialmente dos apresentados neste trabalho.

4.3 Estimativa de Evapotranspiração e Análise de tendência.

A partir do processamento dos dados de temperatura e pluviosidade mensais para cada ano, por meio do método de Thornthwaite e Mather para evapotranspiração (ETP) mensal, foi possível chegar aos seguintes valores de Evapotranspiração (Figura 27).

Uma primeira observação nos dados de ETP mostra que os valores mais elevados ocorrem nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, sendo que o maior valor da série está em janeiro de 2019, com 126,32 mm.

A concentração destes valores é consideravelmente desigual entre os meses, sendo janeiro o mês com maior ocorrência de valores mais elevados da série (31 ocorrências).

Os menores valores ocorrem nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, sendo que o menor valor da série está em junho de 1992, com 33,31 mm.

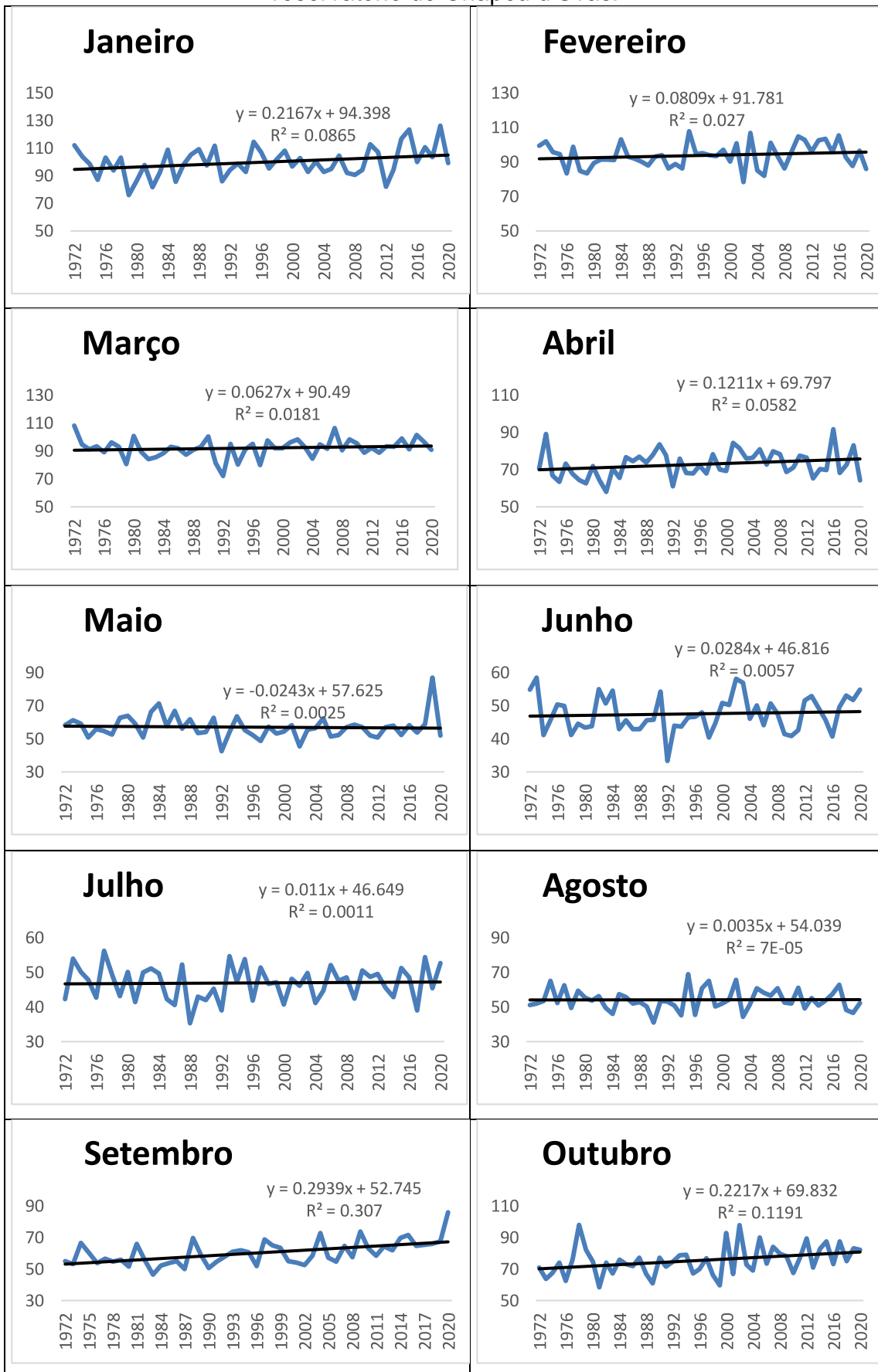
O mês de junho concentra os menores valores de evapotranspiração da série (21 ocorrências), seguido com uma pequena diferença pelo mês de julho (19 ocorrências).

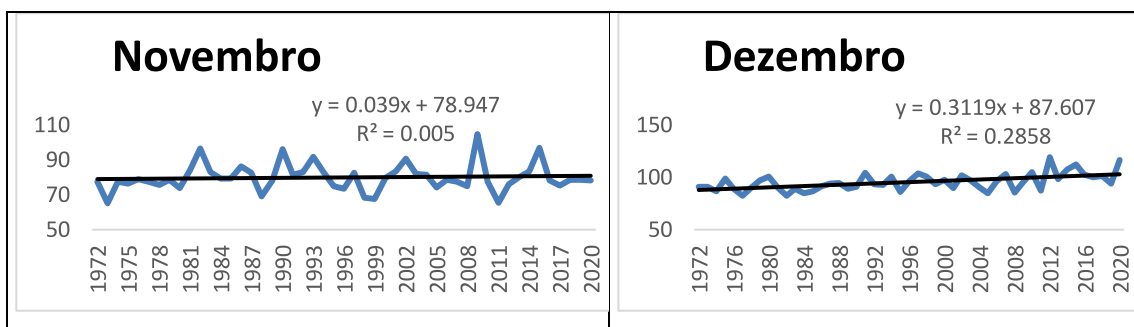
Os valores de evapotranspiração potencial apresentam uma tendência de aumento para quase todos os meses, excetuando-se apenas os meses de maio e agosto.

A partir da aplicação do teste de tendências MK, percebe-se que os meses de setembro e outubro mostram uma tendência significativa de aumento da ETP.

A Figura 27 mostra os gráficos de tendência de ETP mensal para o reservatório de Chapéu d'Uvas e a Figura 28 destaca os meses de setembro e outubro.

Figura 27: Evapotranspiração Mensal (mm) e linhas de tendência para o reservatório de Chapéu d'Uvas.





Fonte: Organizado pelo autor (2022)

A tabela 4 apresenta os scores do teste de Mann-Kendall para os valores de ETP da série analisada.

Tabela 4: Scores do teste MK para a ETP no reservatório da represa de Chapéu d’Uvas.

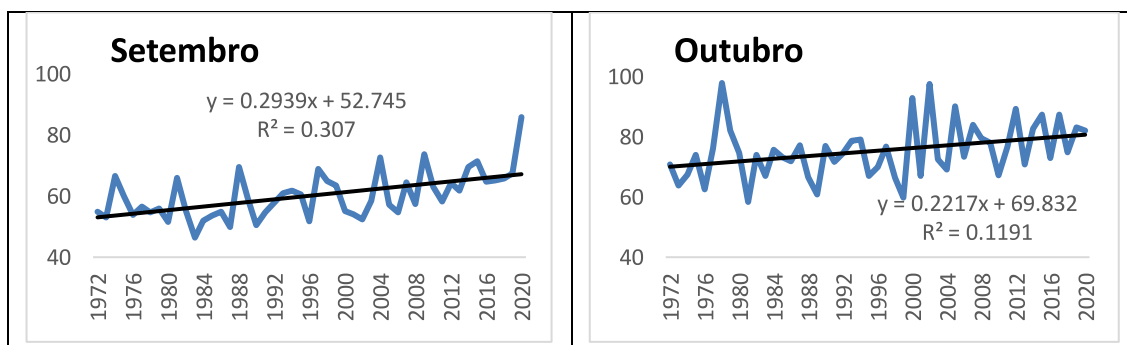
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MK	1,48	1,24	1,07	1,73	-1,12	0,91	0,19	-0,05	3,88	2,47	0,23	3,63
1º ano	94,6	91,86	90,5	69,9	57,6	46,8	46,6	54,0	53,0	70,0	78,9	87,9
49º ano	105,0	95,7	93,5	75,7	56,4	48,2	47,1	54,2	67,1	80,6	80,8	102,8
Dif. (mm)	10,4	3,8	3,0	5,8	-1,1	1,3	0,5	0,1	14,1	10,6	1,8	14,9

Valores significativos para mudança de comportamento de ETP

Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Os aumentos de ETP nos meses de setembro e outubro merecem atenção, já que estes meses correspondem ao período de transição entre a estação seca e a estação chuvosa, sendo o mês de setembro mais seco que o de outubro, quando retornam as chuvas.

Figura 28: Evapotranspiração mensal e linhas de tendência para setembro e outubro.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Estes aumentos de ETP, em conformidade com as tendências de redução dos volumes pluviométricos nos meses de outubro à dezembro além de uma tendência de aumento de temperatura generalizada, ressaltada por Frauches et al. (2020), parece apontar para um prolongamento da estação seca. Tal condição pode gerar problemas para a capacidade de abastecimento do reservatório, caso esta tendência de aumento de ETP e Temperatura se intensifique.

No entanto, apenas a observação dos valores de ETP não é suficiente para oferecer a compreensão sobre a situação hídrica do reservatório, já que é preciso levar em conta também os valores de *input* hídrico, ou seja, os valores de pluviosidade.

Para tanto adotou-se como técnica de análise o resíduo, que é definido pela diferença entre os valores de chuvas mensais e os valores de ETP estimados para cada mês do ano.

Os resultados apresentados para a estimativa de ETP são semelhantes aos encontrados por Pereira (2004) no caso do reservatório de Sobradinho-BA, a partir da aplicação do método de Thornthwaite e Mather, o autor encontrou resultados que mostravam um **comportamento deficitário** para o período analisado, **pois a evapotranspiração potencial se apresentava superior às precipitações anuais, com as maiores diferenças entre os meses de agosto e outubro.**

Resultado semelhante ao apresentado por Fisch, Januário e Senna (1990), Guidon (1991), Sanches e Fisch (2005), em seus trabalhos no reservatório de Tucuruí-PA, encontraram **aumento do volume evapotranspirado.**

4.4 Análise de resíduo (Chuva-ETP)

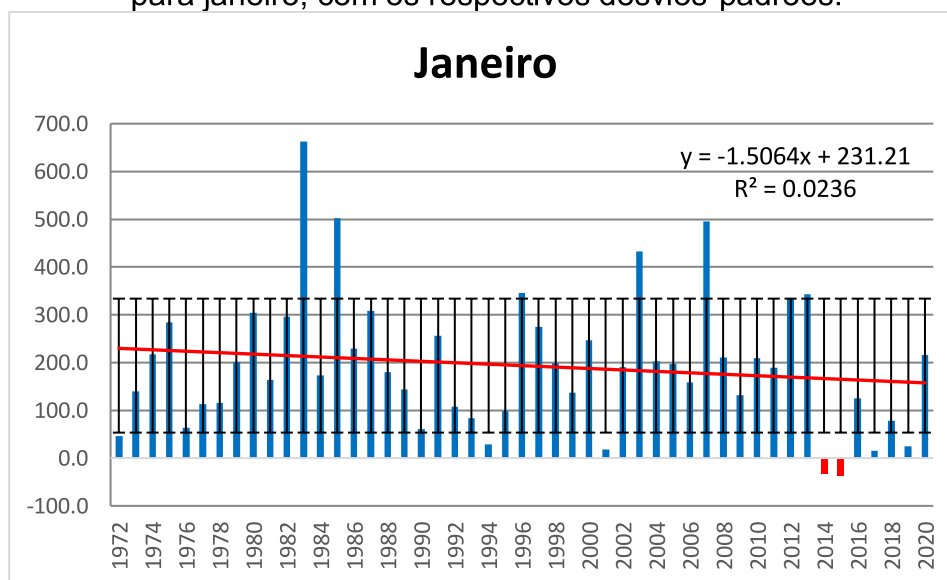
Os gráficos provenientes do cálculo do resíduo entre as chuvas mensais e a evapotranspiração potencial para o reservatório de Chapéu d'Uvas mostram um comportamento próximo ao esperado em uma situação de normalidade, com elevados índices pluviométricos nos meses chuvosos e baixos índices nos meses mais secos.

Vale destacar, no entanto, uma consistente presença de tendências de queda nos índices pluviométricos ao longo dos anos da série nos meses mais chuvosos, além de uma tendência de aumento na evapotranspiração potencial nos meses mais secos.

Uma análise mais individualizada dos resíduos, a partir dos desvios-padrões é interessante, pois pode demonstrar se o observado em um determinado mês se apresenta dentro ou fora de uma situação de normalidade. As Figuras 29-40 trazem estas representações gráficas.

Para o mês de janeiro (Figura 29), a maior parte dos dados de resíduo se apresenta dentro da normalidade e sendo este um mês reconhecidamente chuvoso, estes desvios tendem a ser deslocados para resíduos positivos. No entanto, a tendência desse resíduo (anomalia) observada é de redução ao longo da série, diminuindo a diferença entre as precipitações e a evapotranspiração para o mês.

Figura 29: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para janeiro, com os respectivos desvios-padrões.



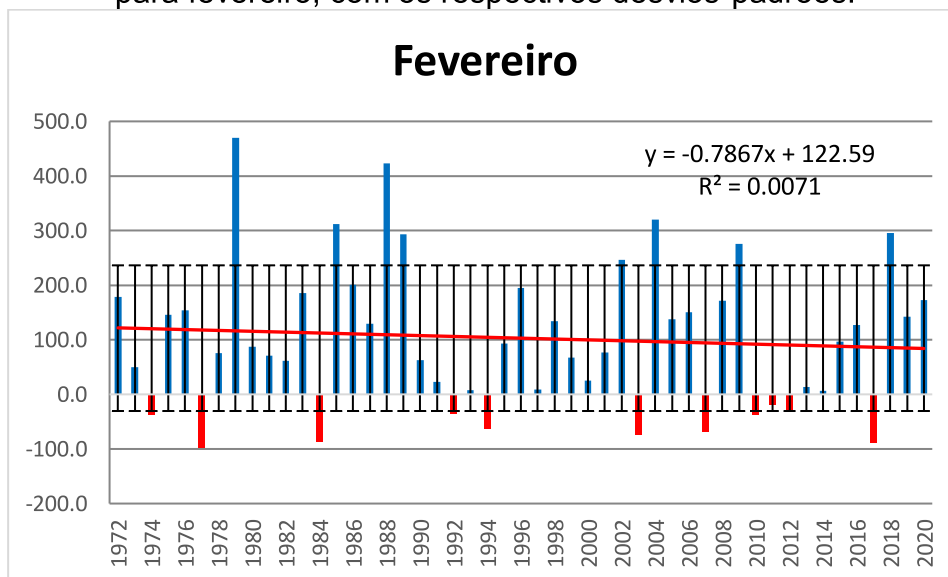
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Há quatro picos de resíduos bem marcados, que extrapolam seus desvios-padrões, sendo o mais intenso deles ocorrido em 1983, com 663,2 mm. Há ainda duas ocorrências de resíduo negativo, ocorridas entre 2014 e 2015, anos que ocorreu um período de estiagem prolongada nos meses chuvosos na

região Sudeste, de acordo com Coelho et. al (2015).

O mês de fevereiro (Figura 30), de forma semelhante ao mês anterior, mostra um padrão de predominância das chuvas em relação à ETP, com mais ocorrências de eventos destoantes em relação ao mês anterior, tanto de resíduos positivos como de negativos. Também observa-se uma tendência de redução das anomalias observadas, indicando uma menor diferença entre os valores precipitados e os evapotranspirados.

Figura 30: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para fevereiro, com os respectivos desvios-padrões.



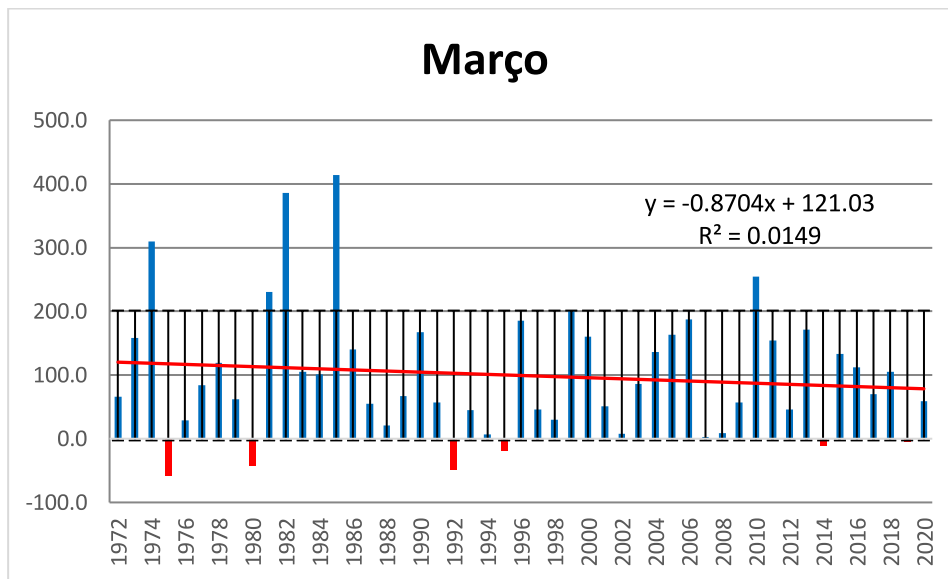
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em termos de resíduos positivos destoantes, há oito ocorrências, sendo que o mais intenso pico de excedente hídrico ocorre em 1979, se aproximando dos 500 mm. Com relação aos resíduos negativos, ocorrem nove eventos destoantes, sendo o mais intenso deles em 1977, se aproximando dos -100 mm.

No mês de março (Figura 31) predominam os resíduos positivos de chuvas, com a ocorrência de cinco episódios destoantes, sendo o mais intenso deles em 1985, com pouco mais de 400 mm.

A tendência observada desse resíduo também é negativa demonstrando que as diferenças entre os valores precipitados e os valores evapotranspirados diminuem ao longo da série.

Figura 31: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para março, com os respectivos desvios-padrões.



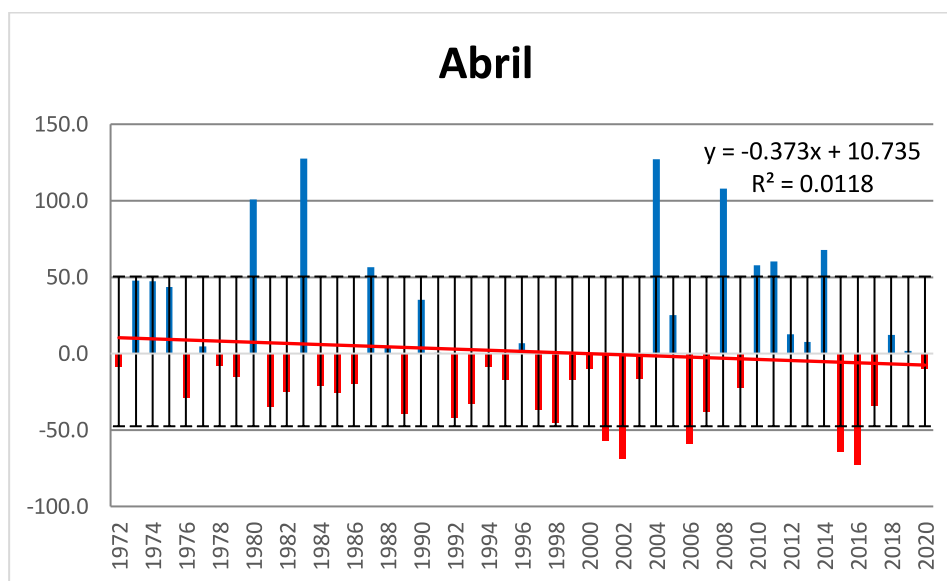
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em relação aos resíduos negativos, todos os episódios são destoantes em relação ao desvio-padrão, com cinco ocorrências, sendo o mais intenso ocorrido em 1975, de cerca de -60 mm.

O mês de abril (Figura 32), que já se enquadra na transição entre os períodos chuvoso e seco, já apresenta um padrão deficitário de chuvas, o que desloca os desvios-padrões em direção aos valores negativos.

Da mesma forma como observado nos meses anteriores, as diferenças entre os valores precipitados e os evapotranspirados apresentam tendência de redução, sugerindo diminuição das diferenças entre os processos.

Figura 32: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para abril, com os respectivos desvios-padrões.



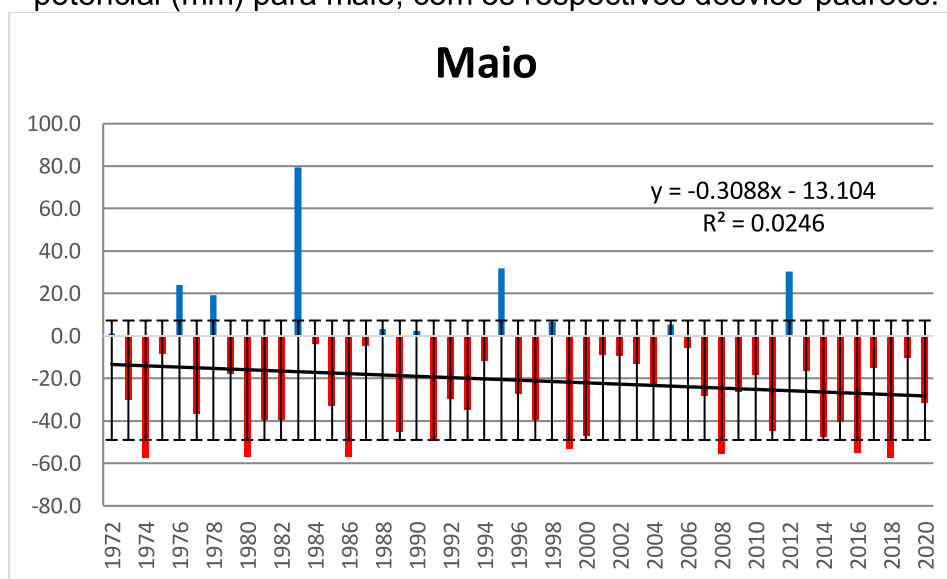
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Em termos de resíduos positivos, ocorrem oito eventos destoantes, com o mais intenso deles em 1983, com aproximadamente 140 mm. Em relação aos resíduos negativos, ocorrem cinco eventos destoantes, sendo o mais intenso deles ocorrido em 2016, com cerca de -75 mm.

Para o mês de maio (Figura 33), reconhecidamente mais seco, os resíduos positivos se comportam majoritariamente fora dos desvios-padrões, com cinco episódios destoantes, sendo o mais intenso deles em 1983, com cerca de 80 mm.

Embora o mês de maio se caracteriza por ser um mês da estação seca, a tendência de redução das diferenças entre as precipitações e a evapotranspiração sugerem que as perdas por ETP são maiores ao longo da série.

Figura 33: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para maio, com os respectivos desvios-padrões.



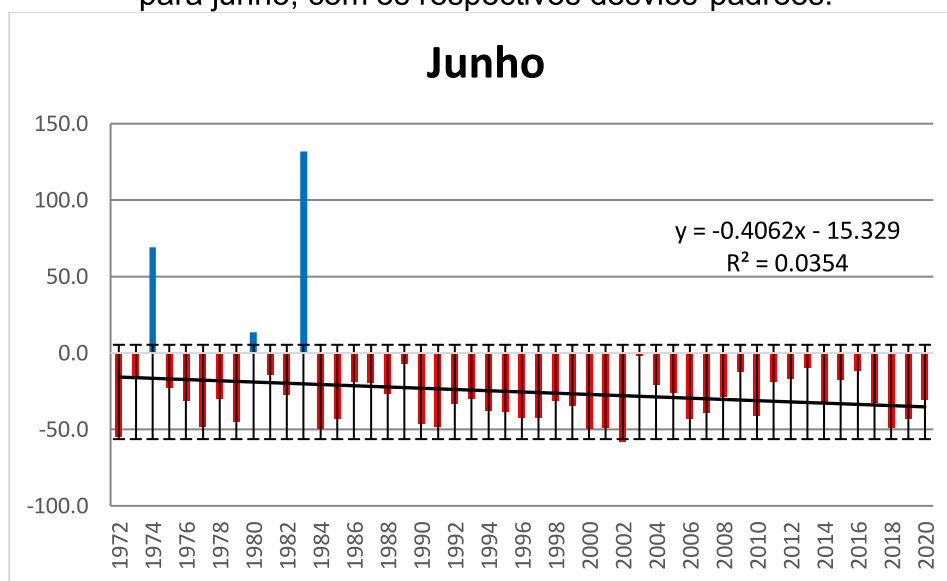
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Sendo um mês predominantemente deficitário em chuvas, dentre os resíduos negativos, há sete episódios destoantes, porém pouco destacados, sendo o mais intenso deles em 2018, com cerca de -60 mm.

O mês de junho (Figura 34) é ainda mais seco do que o mês anterior, com a presença de apenas três episódios de resíduos positivo na série, sendo todos destoantes, com o mais intenso ocorrido em 1983, de aproximadamente 140 mm. Neste mês todos os resíduos negativos estão dentro da normalidade.

A tendência observada ao longo da série reforça o caráter do mês típico da estação seca, demonstrando a características de perdas por evapotranspiração.

Figura 34: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para junho, com os respectivos desvios-padrões.



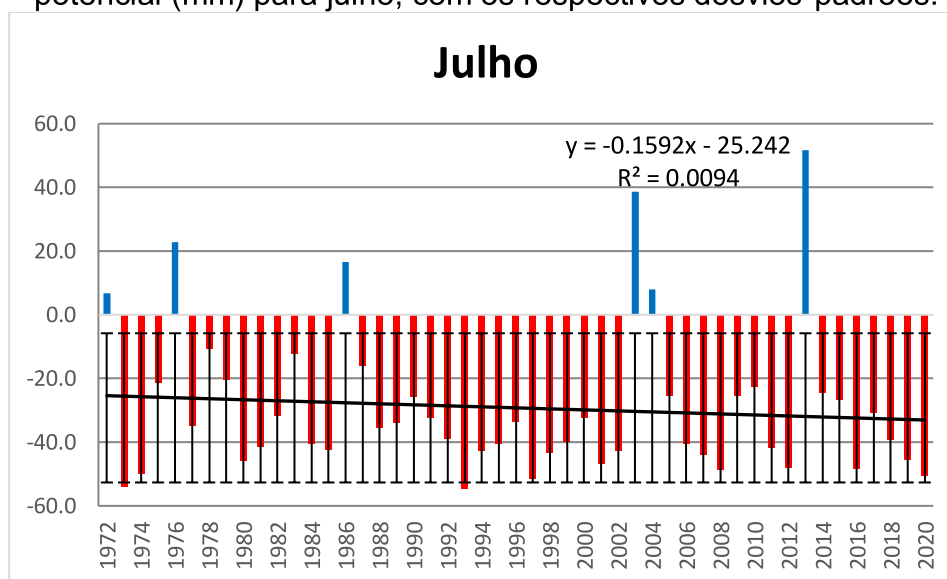
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Para o mês de julho (Figura 35) é possível observar que os desvios-padrões sofrem um deslocamento sensível em direção aos valores negativos, fazendo com que todos os seis episódios de resíduos positivos da série sejam destoantes, com o mais intenso deles ocorrido em 2013, com aproximadamente 50 mm.

Assim como nos meses de junho, a tendência observada dos resíduos para os meses de julho se apresenta como de maior evapotranspiração, peculiar a outro mês da estação seca.

Em relação aos resíduos negativos, ocorrem dois episódios destoantes leves na série, sendo o mais representativo deles em 1993, com cerca de -55 mm.

Figura 35: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para julho, com os respectivos desvios-padrões.



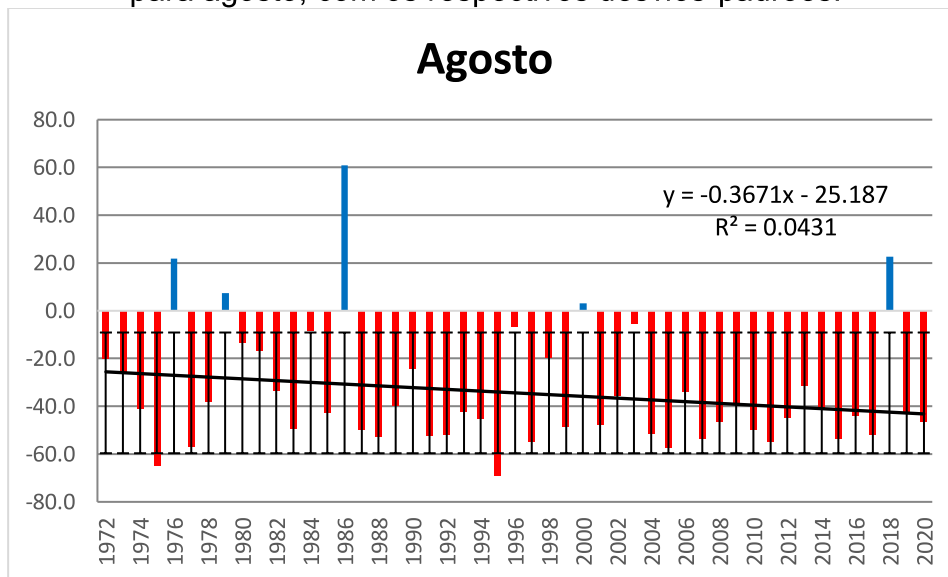
Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de agosto (Figura 36), novamente os desvios-padrões são sensivelmente deslocados em direção aos valores negativos, com ocorrência de cinco eventos de resíduos positivos, sendo todos eles destoantes, sendo o mais intenso deles em 1986, de 60 mm.

A série de resíduo (anomalia) para agosto, assim como nos meses anteriores (junho e julho) demonstra outro mês com características típicas de estação seca. Sua tendência negativa, ou seja, de que a evapotranspiração é maior do que as precipitações, reforça o fenômeno de que as perdas de água para a atmosfera são superiores aos ganhos para o reservatório.

Em relação aos resíduos negativos, ocorrem dois episódios leves e dois episódios destoantes intensos, sendo que o maior deles está em 1995, com cerca de -70 mm.

Figura 36: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para agosto, com os respectivos desvios-padrões.

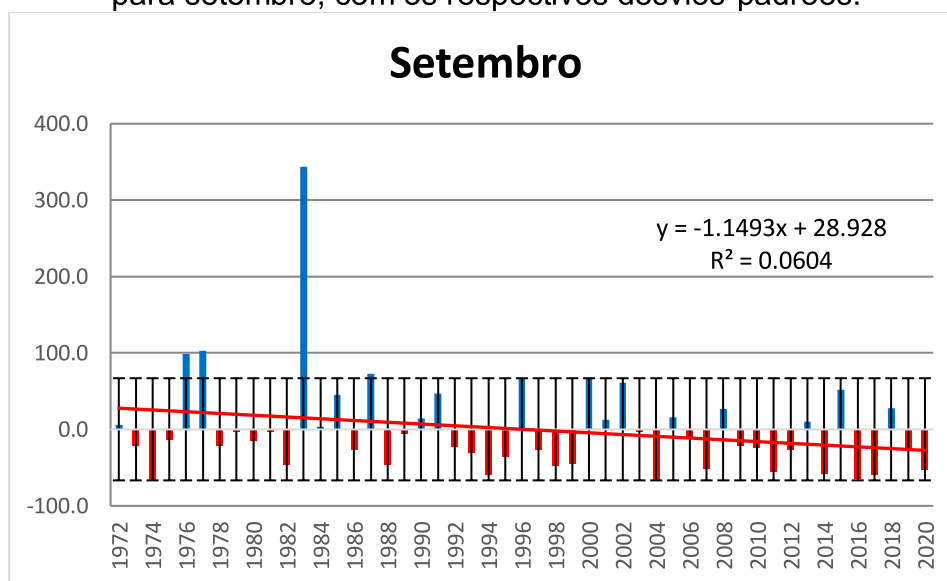


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

O mês de setembro (Figura 37) apresenta os desvios-padrão centrados em torno do valor nulo, com a ocorrência de quatro eventos de resíduos positivos, sendo um deles fortemente destacado, em 1983, com 350 mm. Os resíduos negativos neste mês não fogem à normalidade.

A reta de tendência indica que no início da série os resíduos mostravam-se positivos, e eventualmente, superiores ao desvio padrão. No entanto, a tendência negativa se configura no decorrer da série sugerindo que as evapotranspirações foram superiores aos valores de pluviosidade, sugerindo que os meses de setembro se tornaram mais secos.

Figura 37: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para setembro, com os respectivos desvios-padrões.

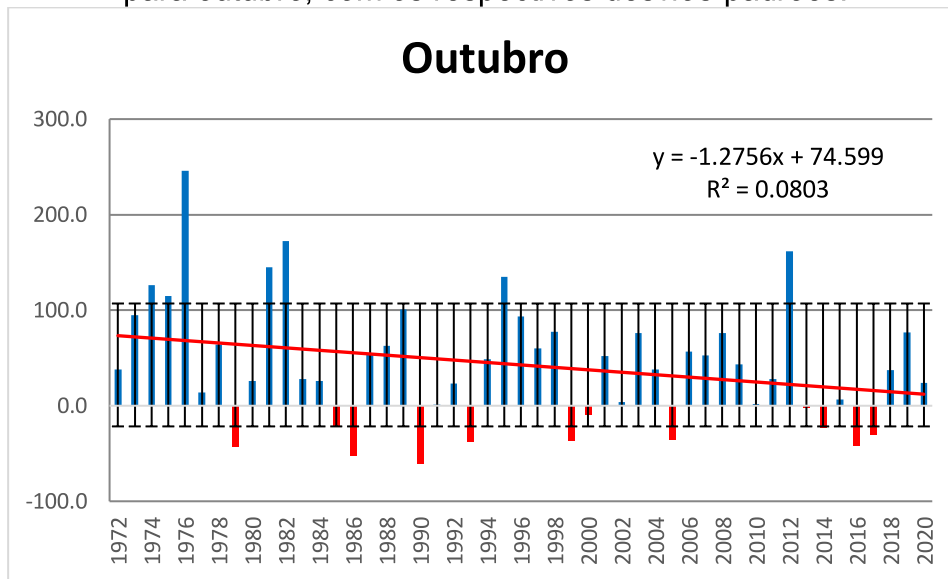


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Para o mês de outubro (Figura 38), com o retorno das chuvas, os desvios-padrões são deslocados novamente em direção aos valores positivos, com a ocorrência de sete episódios destoantes, sendo o mais intenso deles em 1976, com 250 mm. Com relação aos resíduos negativos, ocorrem nove episódios destoantes, sendo o mais intenso deles em 1990, com cerca de -60 mm.

No entanto, a tendência negativa da série de resíduo sugere que o processo de evapotranspiração tem sido superior aos volumes de pluviosidade para o mês.

Figura 38: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para outubro, com os respectivos desvios-padrões.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

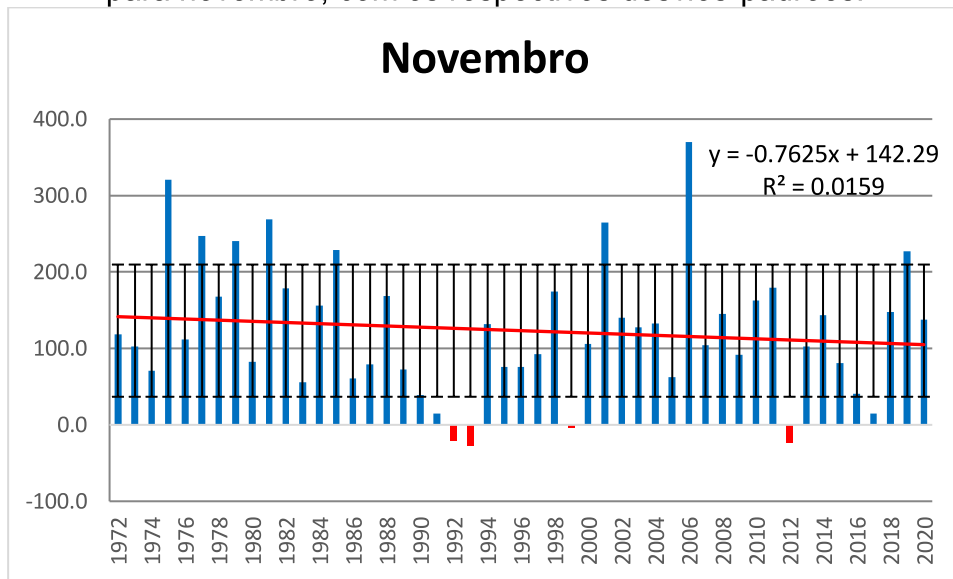
O mês de outubro deve ser destacado pois compreende ao início do período chuvoso e, embora apresente um padrão de excedente das chuvas em relação à evapotranspiração potencial, o mês (outubro) apresenta também uma forte tendência de redução nos totais pluviométricos, sendo esta redução mais intensa entre os meses mais chuvosos.

No mês de Novembro (Figura 39), há um deslocamento mais intenso dos desvios-padrões em direção aos resíduos positivos, com ocorrência de dez eventos destoantes, sendo dois deles pouco intensos, fora dos intervalos de desvio-padrão e o mais intenso evento ocorrido em 2006, com cerca de 370 mm.

Em relação aos resíduos negativos, ocorrem apenas três eventos, sendo todos destoantes, com o mais intenso deles em 1993, de aproximadamente -30 mm.

Embora o predomínio de resíduos seja positivo ($Prec > ETP$), a mesma tendência de redução das diferenças entre os fenômenos é observada ao longo da série, reforçando a redução dos volumes de chuva e o aumento da evapotranspiração para o mês.

Figura 39: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para novembro, com os respectivos desvios-padrões.

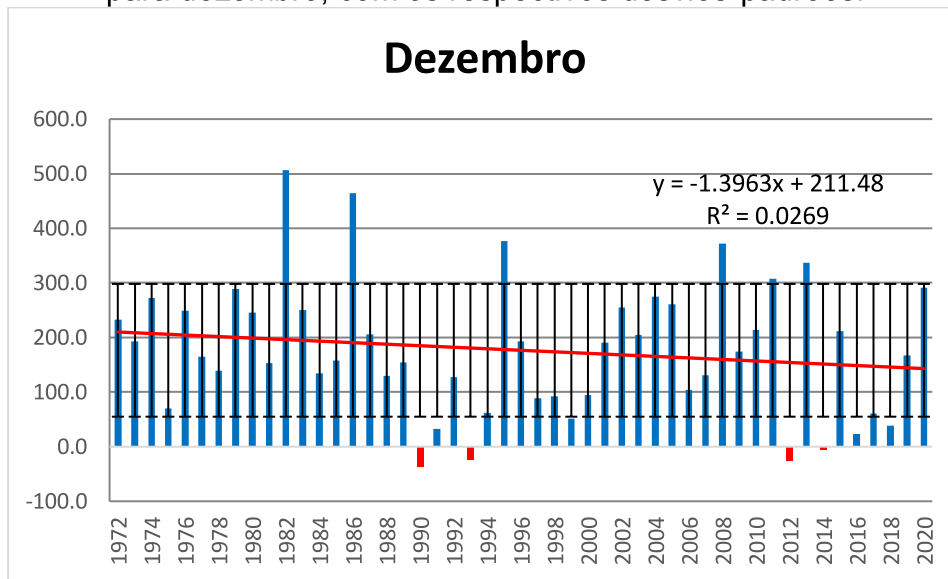


Fonte: Organizado pelo autor (2022)

No mês de Dezembro (Figura 40), os desvios-padrões se apresentam intensamente deslocados em direção aos valores positivos, com seu teto chegando aos 300 mm. Ocorrem dez episódios destoantes, com o mais intenso deles em 1981, com 500 mm.

Em relação aos resíduos negativos, todos os quatro episódios são destoantes, com o mais intenso deles ocorrido em 1990, de aproximadamente -40 mm.

Figura 40: Resíduos entre chuvas mensais e evapotranspiração potencial (mm) para dezembro, com os respectivos desvios-padrões.



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Da mesma forma como observado para o mês de novembro, a tendência negativa dos resíduos (anomalias) para dezembro demonstra que as diferenças entre os processos (precipitação e evapotranspiração) diminuem no decorrer da série.

A Tabela 5 traz um resumo das condições de excedentes e déficits hídricos a partir dos resíduos entre as chuvas mensais e a evapotranspiração potencial para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

Tabela 5: Resumo das ocorrências de excedentes e déficits hídricos provenientes do resíduo de chuvas e evapotranspiração potencial para a região do reservatório de Chapéu d'Uvas.

Mês	Res.(+)	Res.(-)	Dentro do Padrão		Fora do Padrão	
			Res.(+)	Res.(-)	Res.(+)	Res.(-)
Janeiro	47	2	36	0	11	2
Fevereiro	38	11	30	2	8	9
Março	43	5	38	0	5	5
Abril	20	28	12	23	8	5
Mai	10	39	5	32	5	7
Junho	3	46	0	45	3	1
Julho	6	43	0	41	6	2
Agosto	5	44	0	39	5	5
Setembro	18	31	14	31	4	0
Outubro	37	12	30	3	7	9
Novembro	45	4	35	0	10	4
Dezembro	45	4	35	0	10	4
Total	317	269	235	216	82	53

Res. (+): resíduo positivo; Res. (-): resíduo negativo Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Os resultados do resíduo de chuvas e ETP mostram um resultado próximo ao que se espera do comportamento climático da região estudada na série temporal, resultado diferente do mostrado por Pereira (2004) em que o comportamento deste resíduo é deficitário, ou seja a ETP supera os inputs de chuvas. Porém a situação no reservatório de Chapéu d'Uvas pode vir a mudar já que a ETP apresenta tendência de aumento, sendo mais significativa nos meses de retorno das chuvas e os índices pluviométricos apresentam tendência de queda, como apontam Frauches et al. (2020)

4.5 Análise dos extratos de Balanço Hídrico Mensal.

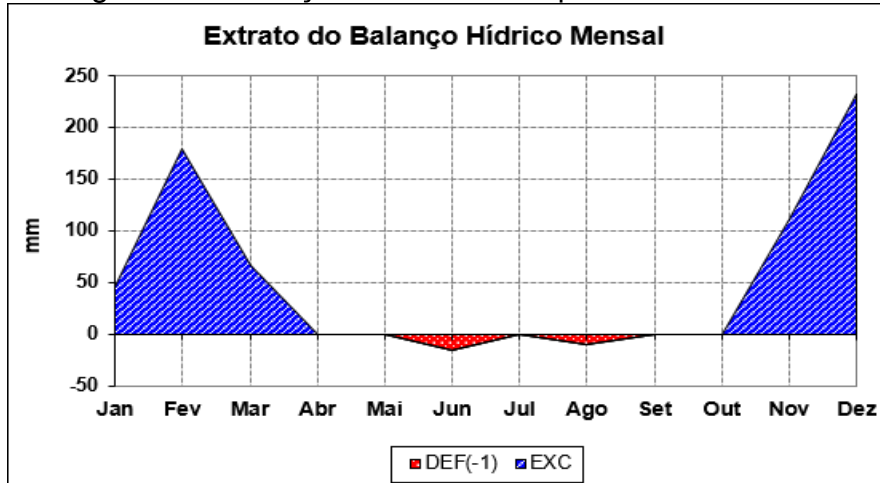
Nesta etapa do trabalho, procurou-se entender como o processo de evapotranspiração teria afetado o balanço hídrico no reservatório de Chapéu d'Uvas, para que posteriormente seja verificar se esta influência é ou não significativa, e se o balanço hídrico pode ter sido afetado a ponto de comprometer a capacidade de abastecimento do manancial.

Fase de Pré-enchimento (1972-1995).

Para o ano de 1972, o extrato do balanço hídrico mensal é

majoritariamente positivo, com um pico de aproximadamente 175 mm em fevereiro, um pico de déficit de cerca de -20 mm no período seco (junho) e com excedentes chegando aos 230 mm no final de Dezembro.

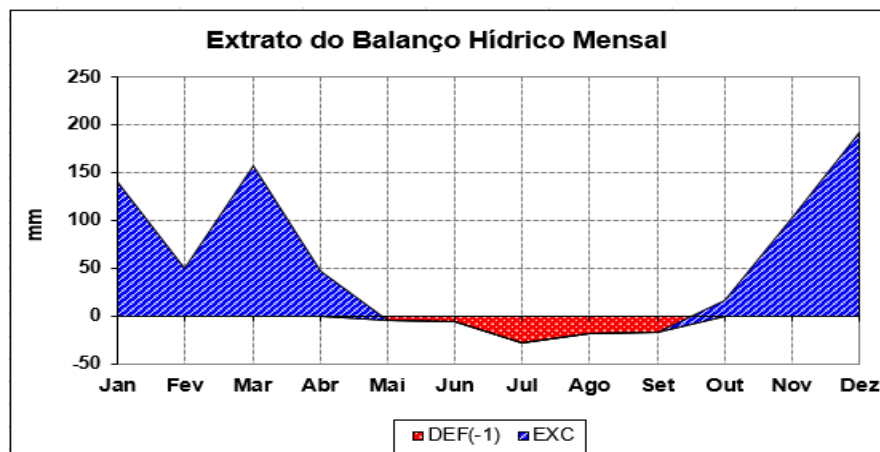
Figura 41: Balanço hídrico mensal para o ano de 1972



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No início do ano de 1973 (Figura 42), ocorrem dois picos, com o maior deles atingindo pouco mais de 150 mm de excedente hídrico no mês de março. Há um aumento no déficit hídrico no período seco em relação ao ano anterior, com a deficiência hídrica prolongada de maio a setembro, com um pico no mês julho (com cerca de -35 mm), seguido por um reestabelecimento do excedente hídrico no mês de dezembro (quase 200mm).

Figura 42: Balanço hídrico mensal para o ano de 1973.



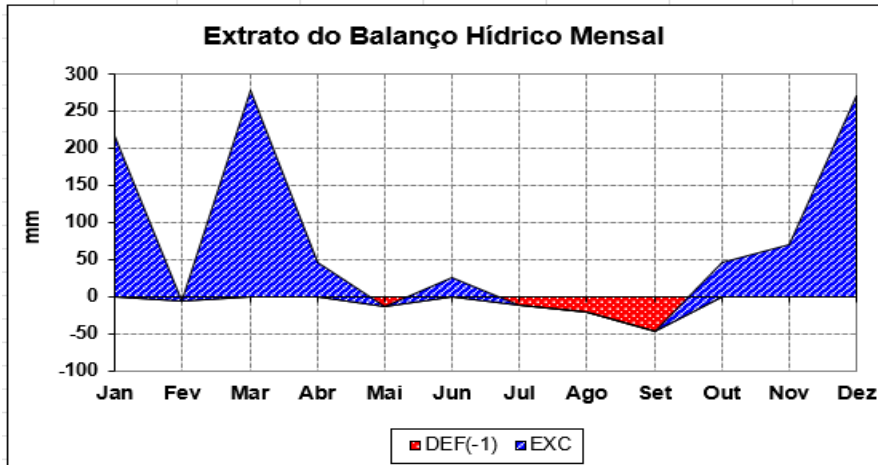
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1974 (Figura 43), ocorre uma situação interessante, no mês de fevereiro onde o excedente hídrico atinge valor nulo e excedente máximo (275mm) no mês de março.

Observa-se, também, déficit hídrico no mês de maio e excedente no mês de junho (-25mm).

Dessa forma, o período de deficiência hídrica diminui, ocorrendo entre os meses de junho e setembro, e por fim, com o retorno da estação chuvosa, verifica-se excedente no final do ano civil (260mm).

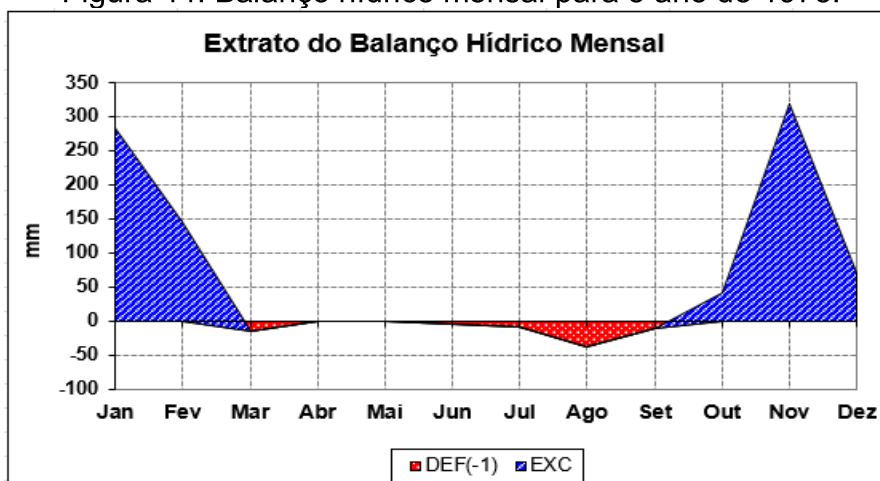
Figura 43: Balanço hídrico mensal para o ano de 1974



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1975 (Figura 44), ocorrem dois picos de excedente localizados no período chuvoso, sendo que no início do ano os valores chegam aos 270 mm (jan), e no final do ano (320 mm em nov), com redução para 70 mm ao final de dezembro. Nota-se também um prolongamento do período de déficit hídrico, com dois picos bem marcados, sendo um no mês de março, com cerca de -20 mm e outro em agosto, com aproximadamente -45 mm.

Figura 44: Balanço hídrico mensal para o ano de 1975.



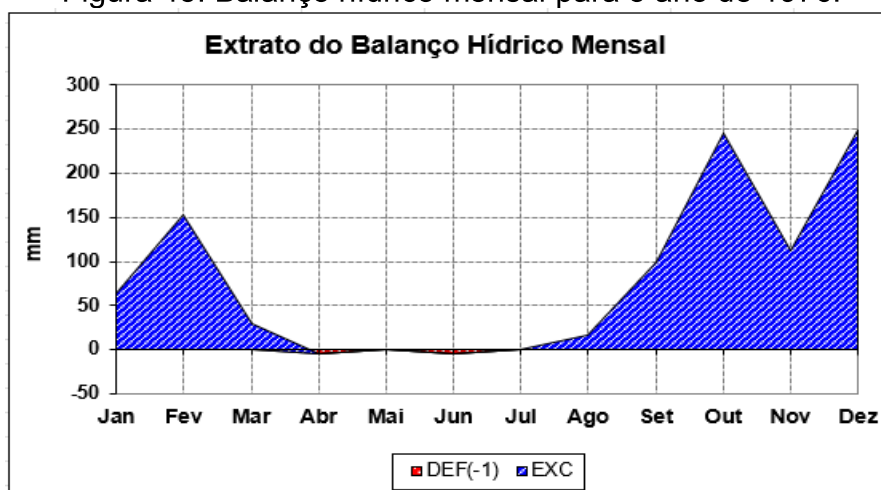
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1976 (Figura 45), praticamente não houve déficit hídrico, com picos bem definidos na estação chuvosa e uma tendência visual no aumento dos

excedentes hídricos, sendo que no início do ano há um pico de 150 mm de excedente, chegando ao máximo de 250 mm no final do ano. Ressalta-se a queda nos valores de excedente hídrico no mês de novembro.

Tal comportamento pode ser explicado pela atuação da componente positiva do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). De acordo com o monitoramento do ENOS desenvolvido pela NOAA (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php), o ano de 1976 pode ser classificado como de El Niño.

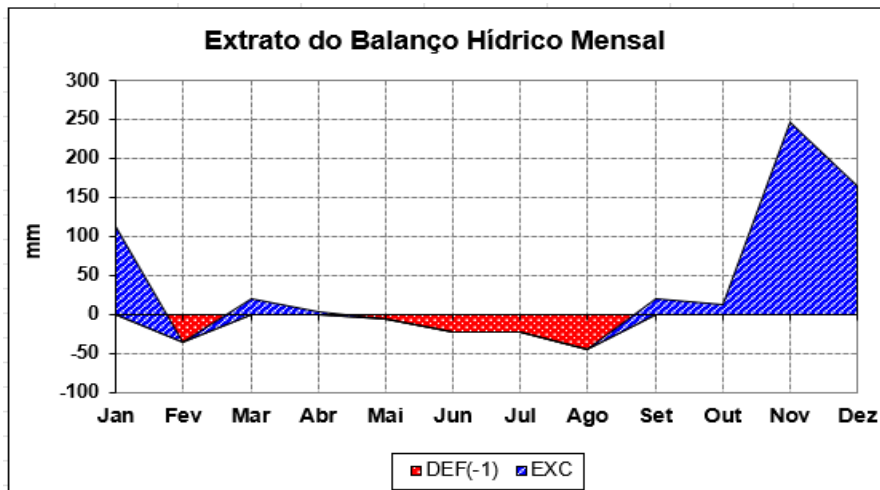
Figura 45: Balanço hídrico mensal para o ano de 1976.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1977 (Figura 46), ocorre outra situação incomum até o momento na série, apresentando um déficit hídrico de cerca de 30 mm em Fevereiro. Observa-se, também, que o déficit hídrico na área volta a ser aproximado dos 50 mm no mês de agosto e o valor máximo de excedente hídrico volta a ocorrer recuado no mês de novembro, atingindo valor próximo aos 250 mm, com uma queda no mês de dezembro.

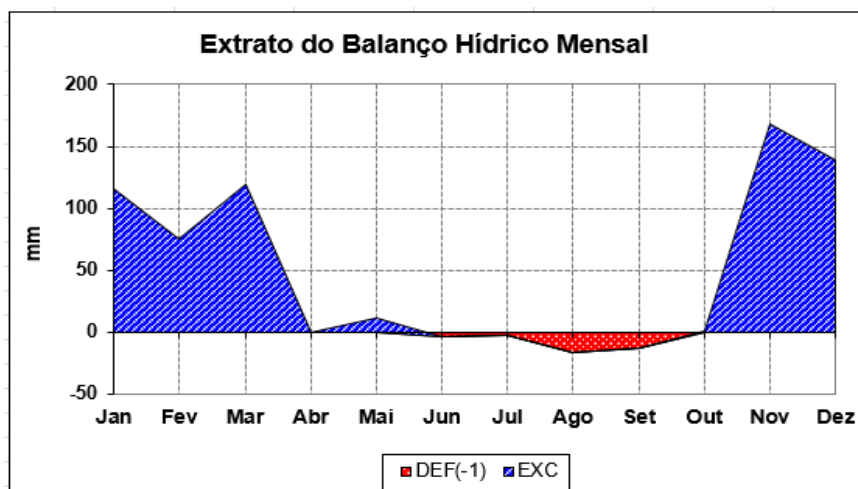
Figura 46: Balanço hídrico mensal para o ano de 1977.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1978 (Figura 47), o período de déficit hídrico assim como o valor desses déficits apresenta uma redução, começando em junho e se estendendo até o mês de outubro, onde se inicia a estação chuvosa, com pico máximo de excedente, novamente em novembro, com cerca de 170 mm.

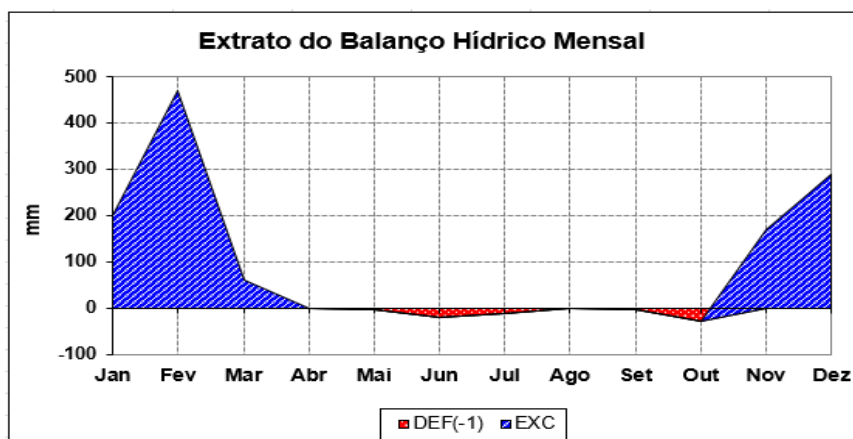
Figura 47: Balanço hídrico mensal para o ano de 1978.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1979 (Figura 48), segue uma situação em que o período de déficit e seus valores foram consideravelmente reduzidos, enquanto ocorrem dois momentos de excedente bem definidos, com destaque para o mês de fevereiro, com valores próximos aos 460 mm. Neste ano, o máximo excedente no final do ano volta a ocorrer em dezembro, com valores próximos aos 300 mm.

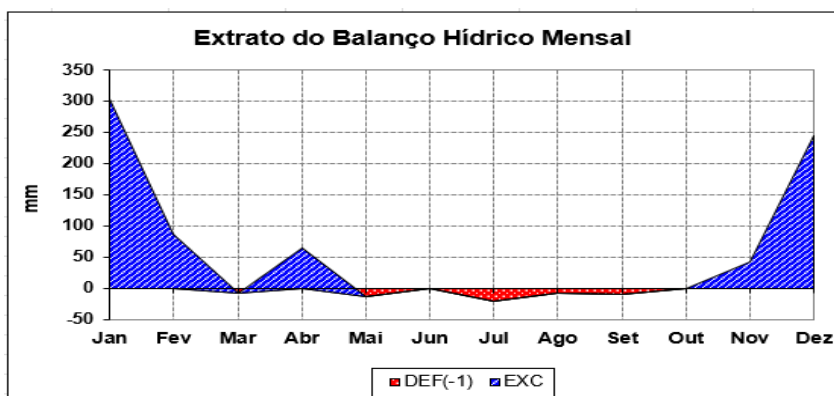
Figura 48: Balanço hídrico mensal para o ano de 1979.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1980 (Figura 49), há uma diminuição nos valores de excedente hídrico, que chegam ao máximo de 300 mm no mês de janeiro, diminuindo até março e elevando-se novamente até o mês de abril; uma situação pouco comum na série. O período de déficit hídrico neste ano se estende do final de abril a outubro, com valores de déficit que atingiram -25 mm.

Figura 49: Balanço hídrico mensal para o ano de 1980.

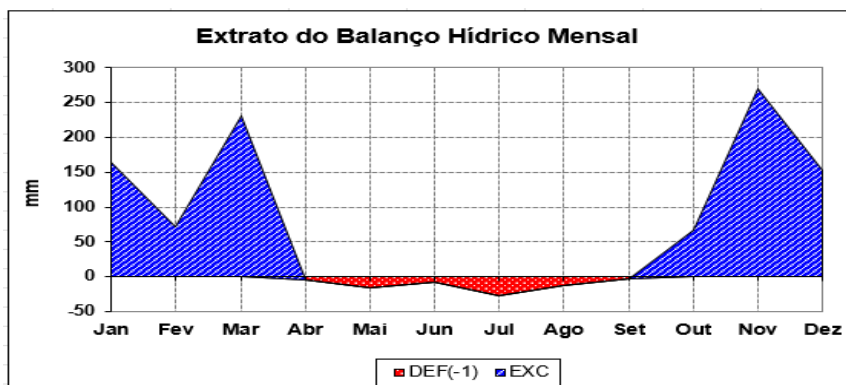


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1981 (Figura 50), há uma diminuição nos valores de excedente hídrico, com o pico máximo atingindo cerca de 270 mm e voltando a ocorrer no mês de novembro. Observa-se, também, uma expressiva redução no excedente durante o mês de fevereiro.

Já o período de déficit hídrico ocorreu de abril a setembro, tendo uma duração semelhante ao ano anterior, com dois picos bem definidos e valor máximo de cerca de -35 mm, durante o mês de julho.

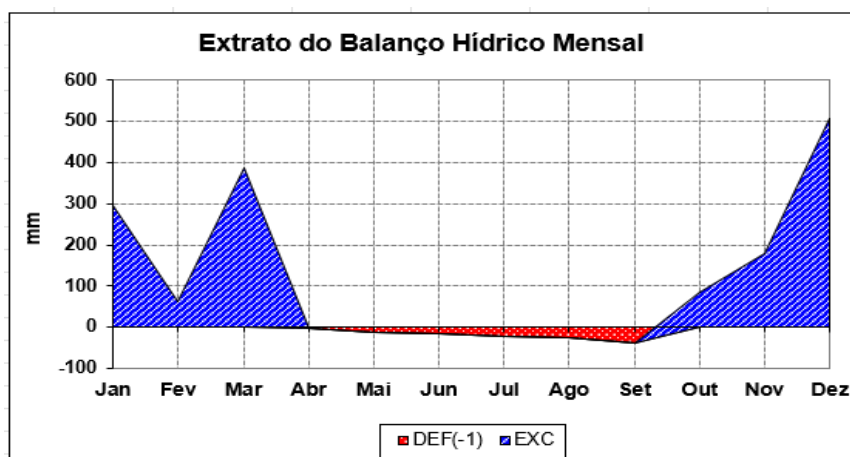
Figura 50: Balanço hídrico mensal para o ano de 1981.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1982 (Figura 51), ocorre uma situação ainda não observada na série, o período de déficit hídrico apresenta um padrão de crescimento ao longo do período, apresentando um único pico, de cerca de -45 mm, se estendendo do mês de abril até as primeiras semanas de setembro. Neste ano os excedentes hídricos voltam a aumentar com o pico máximo de pouco mais de 500 mm, ocorrido em dezembro. Novamente o mês de fevereiro apresenta uma redução no excedente hídrico.

Figura 51: Balanço hídrico mensal para o ano de 1982.



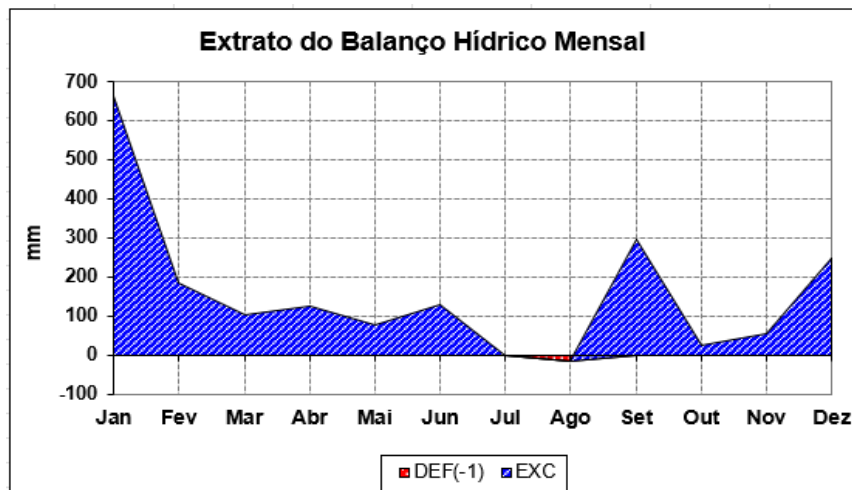
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1983, de forma semelhante ao que aconteceu em 1976, praticamente não houve déficit hídrico, com um pequeno período de déficit ocorrido entre os meses de julho e agosto. Este reduzido déficit apresentou comportamento semelhante ao do ano anterior, com apenas um pico de cerca de -15 mm. Outra situação notável é o pico de cerca de 660 mm no mês de janeiro.

Esse comportamento anômalo em relação aos demais anos da série já

estudada pode ser atribuída a ação da fase positiva do fenômeno ENOS (El Niño), uma vez que a NOAA (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) considera o ano de 1982/1983 como sob efeito do El Niño, considerado como Super El Niño.

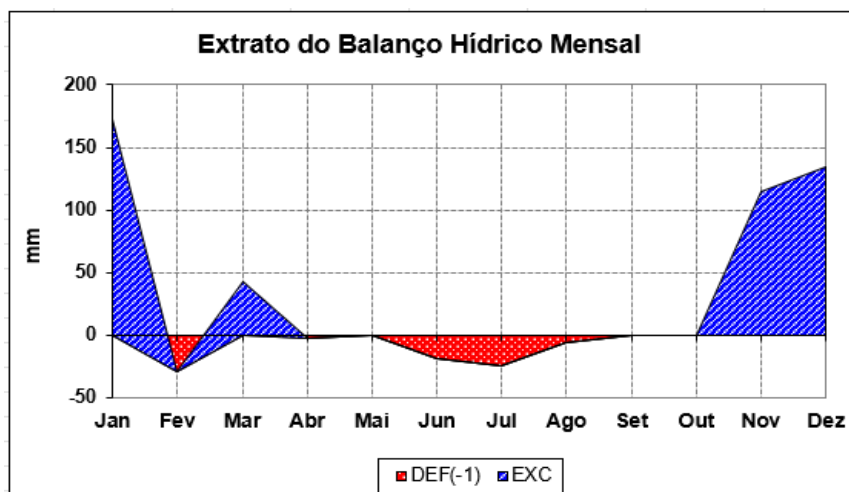
Figura 52: Balanço hídrico mensal para o ano de 1983.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1984 (Figura 53), ocorre uma considerável diminuição nos excedentes hídricos, com o valor máximo de cerca de 170 mm ocorrido em janeiro e com uma redução brusca até o déficit de 25 mm em fevereiro. Mesmo que os déficits estejam com valores menores e concentrados, além do mês de fevereiro e do período de maio à setembro, houve alguma condição que impediu o excedente hídrico no mês de outubro. Essa situação também foi observada no de 1979 durante os meses de abril de agosto.

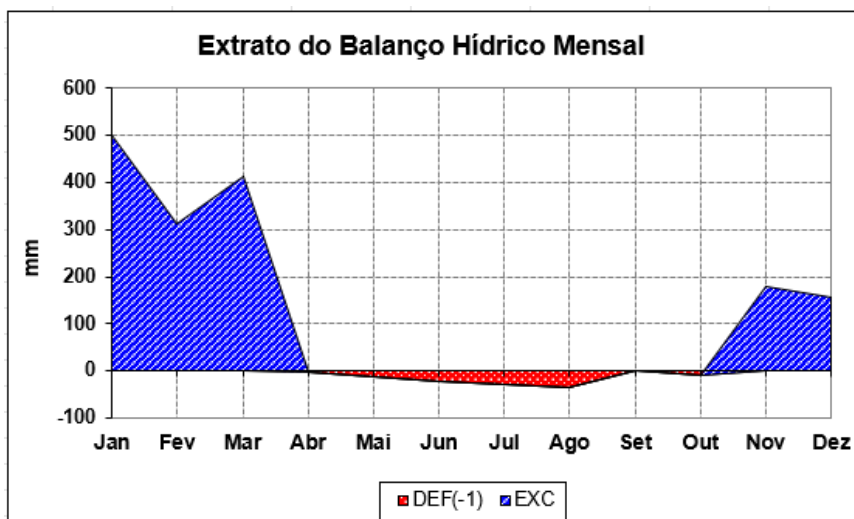
Figura 53: Balanço hídrico mensal para o ano de 1984.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1985 (Figura 54), há um expressivo aumento nos valores excedentes atingindo o máximo de -500 mm em janeiro estendendo-se até fins de março. O período de déficit neste ano apresenta um comportamento semelhante ao ocorrido em 1982, chegando a um valor máximo de aproximadamente -40 mm no início de agosto, diminuindo no mês de setembro, mas estendendo-se até outubro. O pico de excedente hídrico, embora menor que nos anos anteriores, volta a ocorrer no final do ano, no mês de novembro, com cerca de 185 mm.

Figura 54: Balanço hídrico mensal para o ano de 1985.

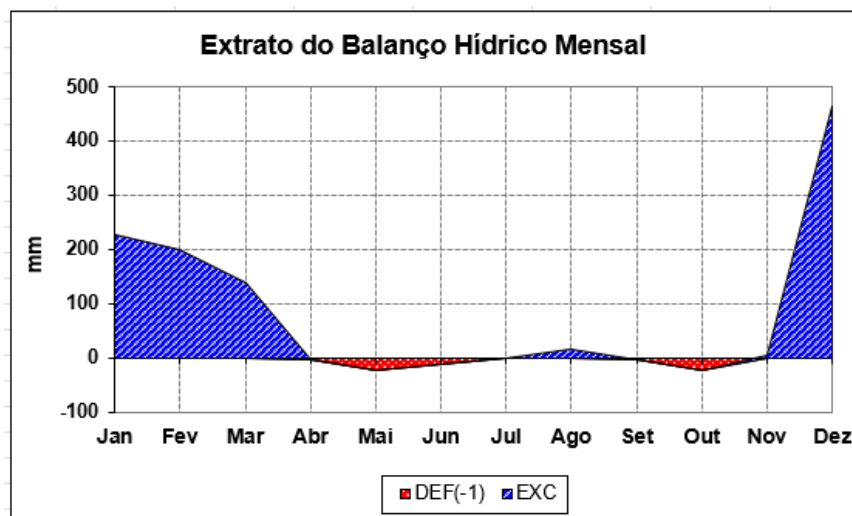


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No Balanço Hídrico de 1986 (Figura 55), observa-se uma redução nos excedentes hídricos no início do ano, com o pico máximo de 480 mm ocorrido

em dezembro. Neste ano também ocorre um pequeno pico de excedente hídrico em agosto (15mm), no período em que geralmente é marcado por déficit. Os picos de déficit neste ano são próximos dos valores registrados nos anos anteriores e se concentram nos meses de maio e pela primeira vez na série o mês de outubro apresenta déficit.

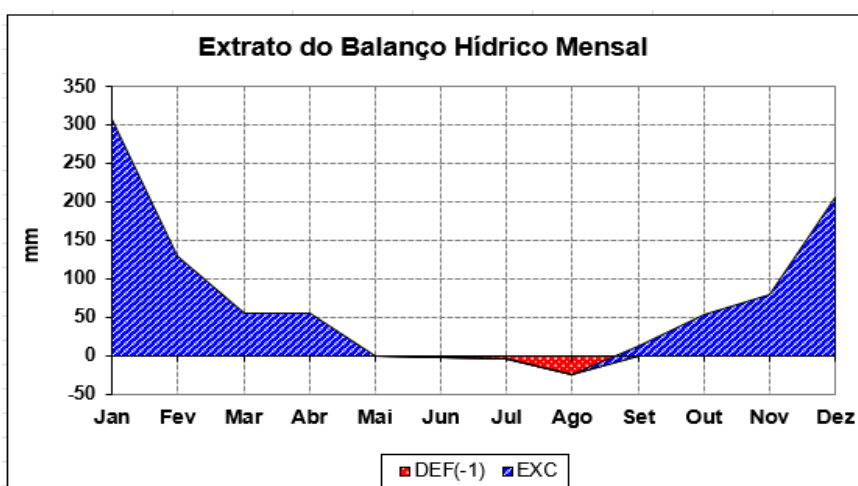
Figura 55: Balanço hídrico mensal para o ano de 1986.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1987 (Figura 56), houve uma nova redução nos excedentes hídricos ao longo do ano, com pico máximo de pouco mais de 300 mm no mês de janeiro. O período de déficit neste ano foi curto, se estendendo de junho à meados de agosto, com valor máximo de aproximadamente -25 mm. O pico de excedente do final do ano neste ano ocorre em Dezembro, com pouco mais de 200 mm.

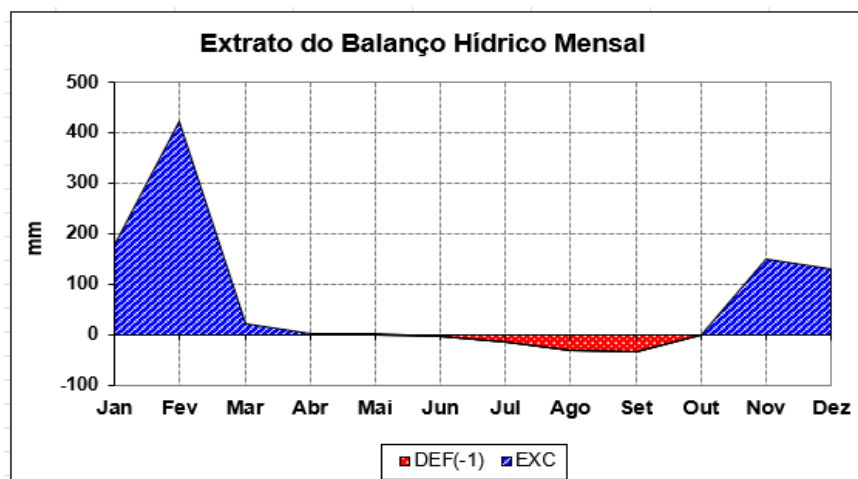
Figura 56: Balanço hídrico mensal para o ano de 1987.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1988 (Figura 57), ocorre um aumento nos valores de excedente hídrico, com pico máximo observado em fevereiro, de cerca de 420 mm. O período de excedente neste ano foi mais concentrado, com uma brusca queda durante o mês de fevereiro e março. Os meses de abril e maio não apresentaram déficit hídrico, mas tampouco excedente. O período de déficit hídrico se estende de junho à setembro, com valor máximo de cerca de 40 mm, em Setembro.

Figura 57: Balanço hídrico mensal para o ano de 1988.

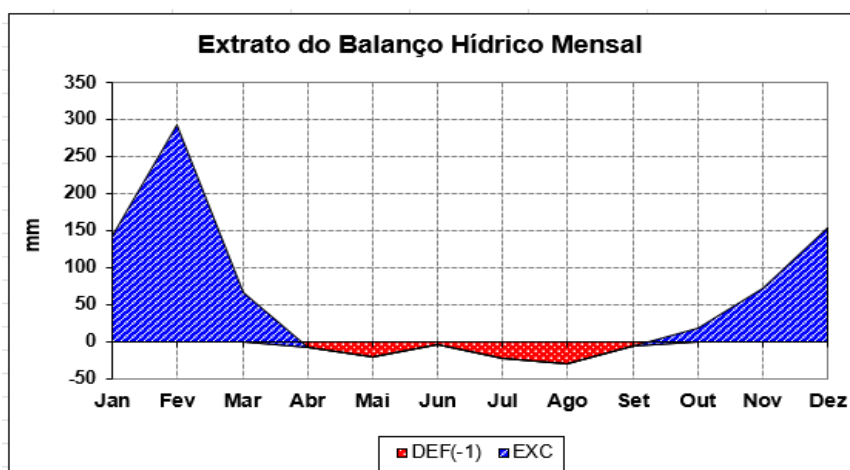


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1989 (Figura 58), há uma redução nos valores de excedente hídrico, com o pico máximo de pouco menos de 300 mm ocorrido em fevereiro. Neste ano, os valores de excedente apresentam uma queda menos acentuada nos meses de fevereiro e março.

O período de déficit hídrico se estendeu de maio ao início de setembro, com dois picos bem definidos, sendo que o pico máximo ocorre em agosto, com aproximadamente -35 mm. Neste ano, assim como nos dois anos anteriores, os valores de excedente nos meses de outubro à dezembro foram menores que os do início do ano, com valor máximo de pouco mais de 150 mm ocorrido em dezembro.

Figura 58: Balanço hídrico mensal para o ano de 1989.



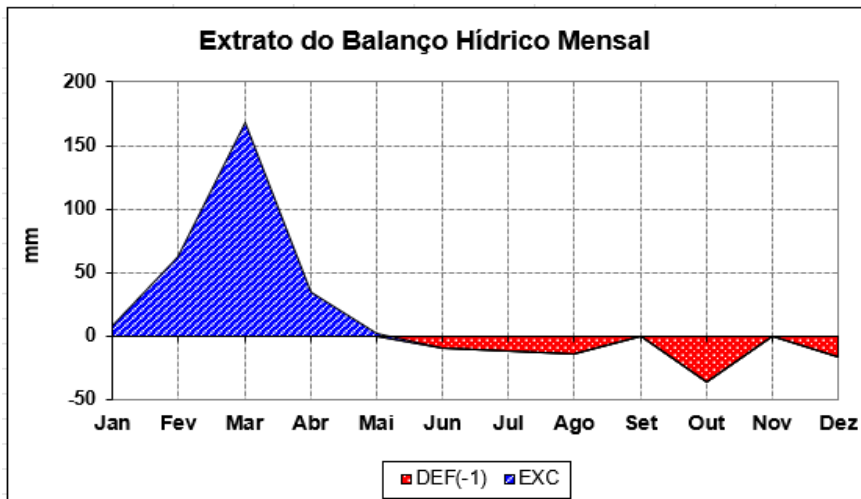
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1990 (Figura 59), ocorre uma situação nova na série de balanço hídrico mensal, não ocorrendo picos de excedente hídrico nos meses do final do ano, conhecidos por suas precipitações volumosas. Além disso, há uma diminuição nos valores de excedente hídrico, com o maior valor ocorrendo em março, de aproximadamente 170 mm.

Este ano apresenta o maior período de déficit hídrico da série até o momento, se estendendo de maio até dezembro, com baixos déficits entre os meses de agosto e dezembro. Porém, os valores de déficit não são muito diferentes dos observados até então, com o pico máximo de -35 mm, ocorrido pela segunda vez na série no mês de outubro.

Não houve retorno de estação chuvosa a partir do mês de outubro, estendendo-se até o final de dezembro.

Figura 59: Balanço hídrico mensal para o ano de 1990.

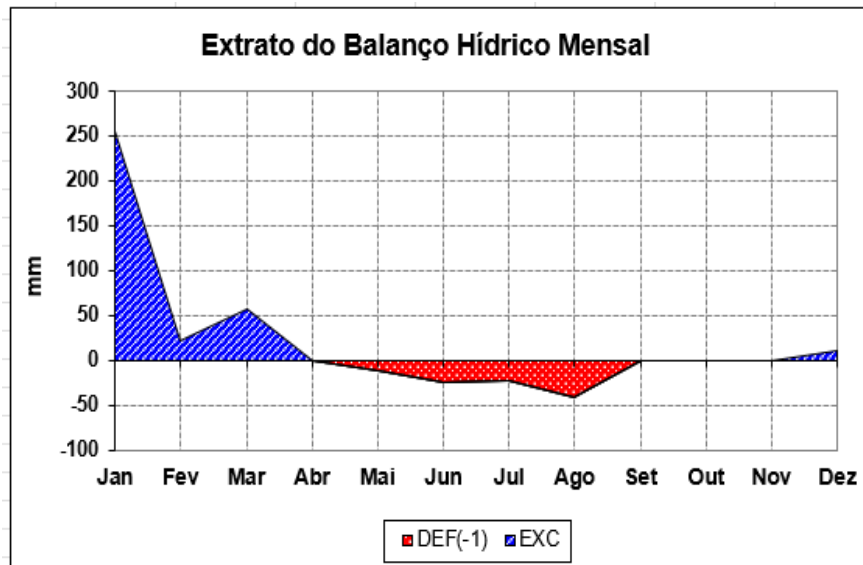


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1991 (Figura 60), ocorre um aumento nos valores de excedente hídrico, com o pico máximo ocorrido em janeiro, com pouco mais de 250 mm, seguido por uma vertiginosa queda durante este mês até chegar em fevereiro. A partir de fevereiro, os níveis de excedente se mantêm baixos, valores um pouco maiores de 50 mm em março e cerca de 15 mm em dezembro.

O período de déficit neste ano se estendeu de abril a setembro, com pico de -40 mm ocorrido em agosto. Os meses de setembro, outubro e novembro apresentam balanço nulo. Sendo que para esses meses (outubro e novembro) a condição anômala em relação à série.

Figura 60: Balanço hídrico mensal para o ano de 1991.

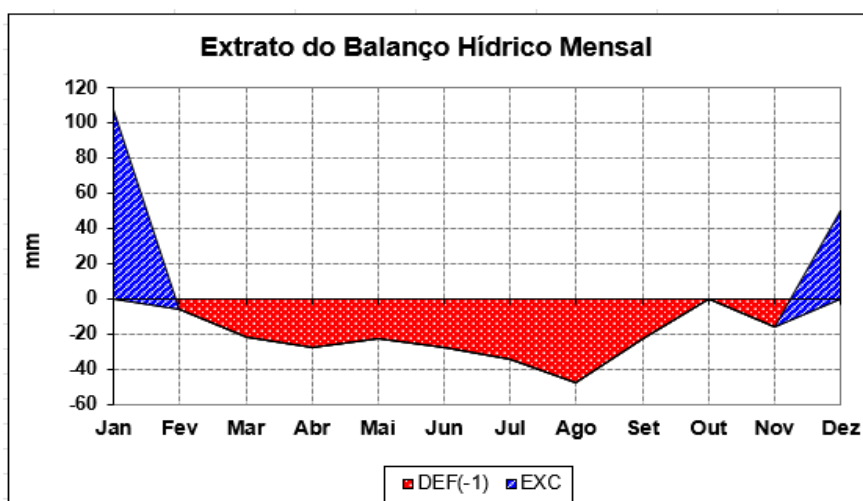


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1992 (Figura 61), há uma brusca diminuição dos valores de excedente hídrico, os quais ficam concentrados nos meses de janeiro, novembro e dezembro, com o pico máximo de cerca de 107 mm no mês de janeiro.

O período de déficit hídrico deste ano é o mais longo e intenso da série até o momento, e se estende de fevereiro ao início de novembro, com um pico máximo de cerca de -50 mm em agosto. É possível observar um afunilamento dos valores de déficit que se inicia no mês de agosto e se estende até outubro, onde os valores voltam a aumentar.

Figura 61: Balanço hídrico mensal para o ano de 1992.

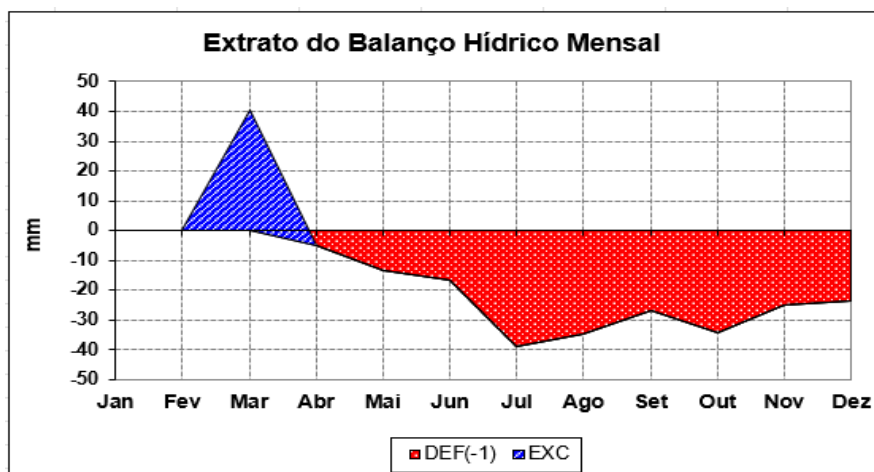


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1993 (Figura 62), pela primeira vez na série o mês de janeiro possui um balanço nulo, bem como uma considerável redução nos valores de excedente, com valor máximo obtido no mês de março de 40 mm. Novamente, o que se observa é que não há excedente hídrico no final do ano.

O período de déficit hídrico se estende do final de março até dezembro com os maiores déficits para o mês de julho (-40mm).

Figura 62: Balanço hídrico mensal para o ano de 1993.



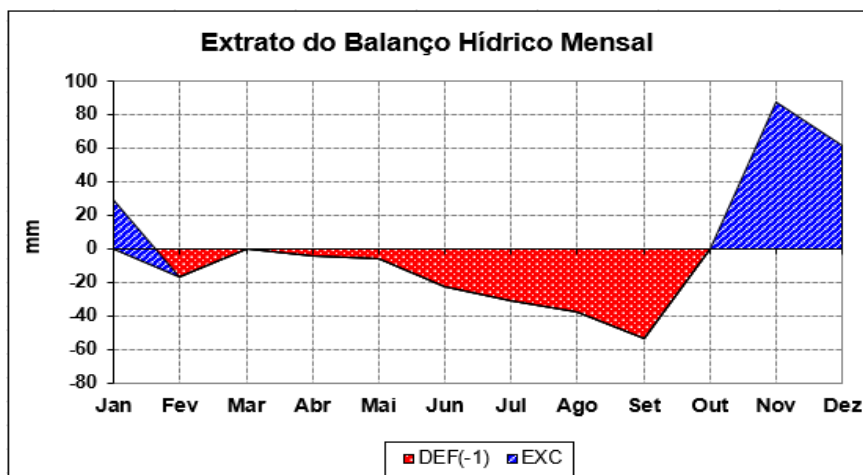
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1994 (Figura 63), os valores de excedente hídrico têm um sensível aumento em relação ao ano anterior, mas apenas dois picos de excedente, sendo o máximo ocorrido em novembro, com cerca de 85 mm. É

possível observar que os valores de excedente estão concentrados nos meses de outubro, novembro e dezembro.

O período de déficit hídrico neste ano é menos intenso que no ano anterior (1993) e se estende do final de janeiro até outubro, mas possui um pico máximo de mais de -50 mm, ocorrido em setembro.

Figura 63: Balanço hídrico mensal para o ano de 1994.

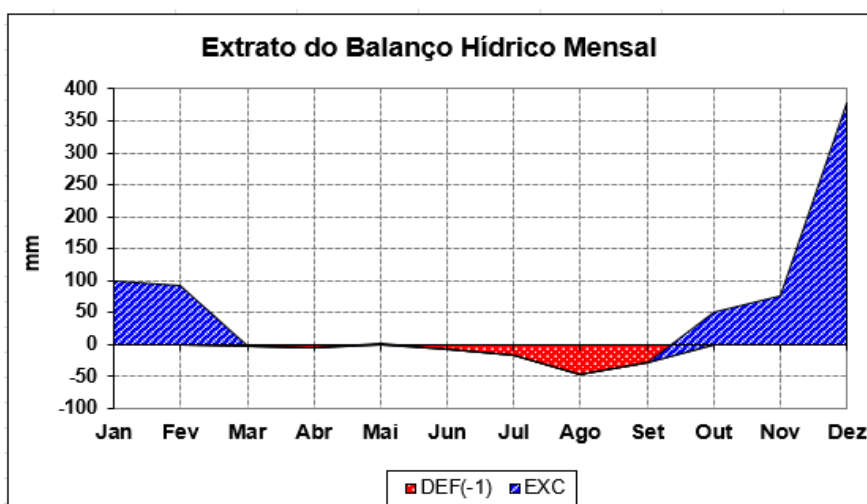


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1995 (Figura 64), comparado aos dois anos anteriores, tem uma melhora com um expressivo aumento dos valores de excedente hídrico, com máximos ocorridos em dezembro (380 mm).

Os déficits ocorridos nos meses de março a maio são menores, muito próximos do balanço nulo. A partir do mês de maio os déficits começam a aumentar, até atingirem o pico no mês de agosto, com -50 mm.

Figura 64: Balanço hídrico mensal para o ano de 1995.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

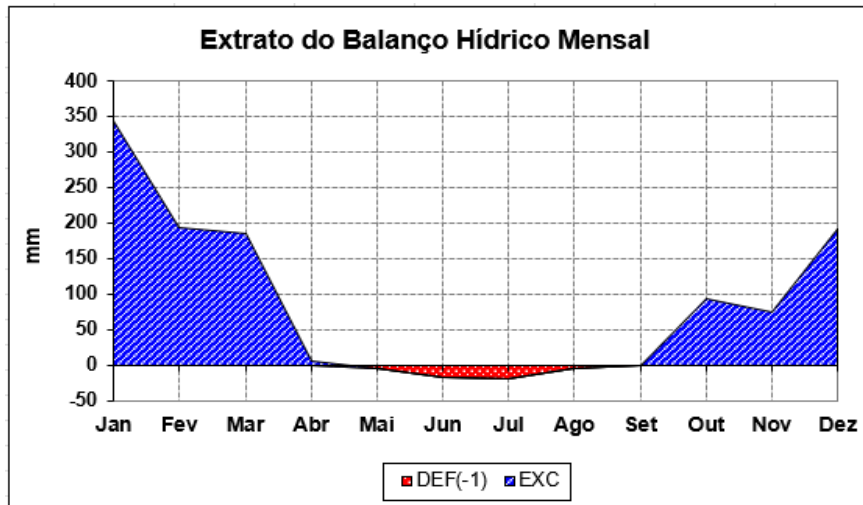
Ao terminar este período de Pré-enchimento (1972-1994) é possível observar uma situação de balanço hídrico bastante variado na área que viria a se tornar o reservatório de Chapéu d'Uvas, com destaque aos excedentes ocorridos nos anos de 1977, 1984 e 1987.

A partir do início dos anos 1990, é possível observar situações de dominância dos déficits hídricos, principalmente nos anos 1992, 1993 e 1994, além de uma possível tendência no aumento dos valores máximos de déficit.

Período de Pós-enchimento (1996-2020)

No ano de 1996 (Figura 65), após a formação do reservatório no final de 1995, observa-se uma manutenção dos valores de excedente em relação ao ano anterior, porém estes valores estão mais dispersos, com a ocorrência de dois picos bem definidos e um terceiro, menos intenso no mês de outubro, sendo que o valor máximo de excedente é atingido em janeiro, com pouco menos de 350 mm. O período de déficit neste ano se estende de meados de abril à setembro, com pico máximo em julho de cerca de -20 mm.

Figura 65: Balanço hídrico mensal para o ano de 1996 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

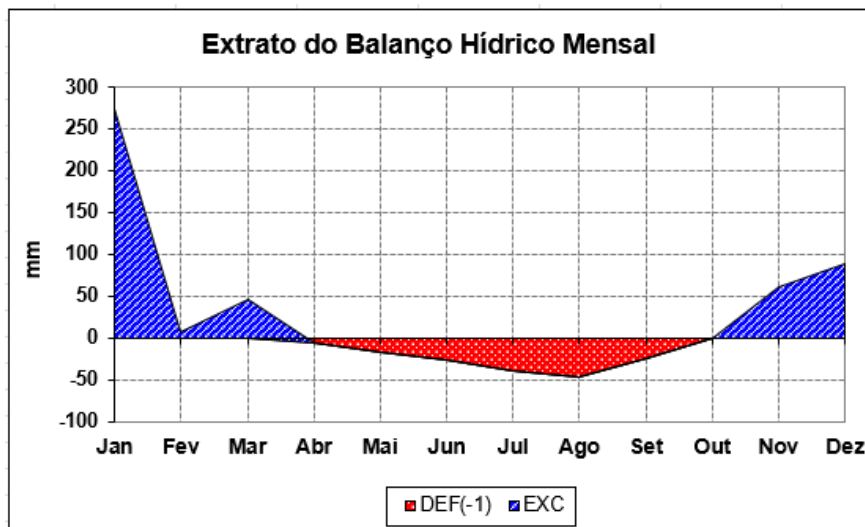


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 1997 (Figura 66), há uma redução nos valores de excedente hídrico, além de uma concentração deste excedente bastante perceptível no final do ano (nov e dez), se comparada ao ano anterior. O excedente máximo de 270 mm ocorreu em janeiro.

Já o período de déficit neste ano é consideravelmente mais longo que no ano anterior, se estendendo dos meses de abril à setembro, com uma tendência visual de aumento do déficit até o mês de agosto, com -48 mm.

Figura 66: Balanço hídrico mensal para o ano de 1997 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

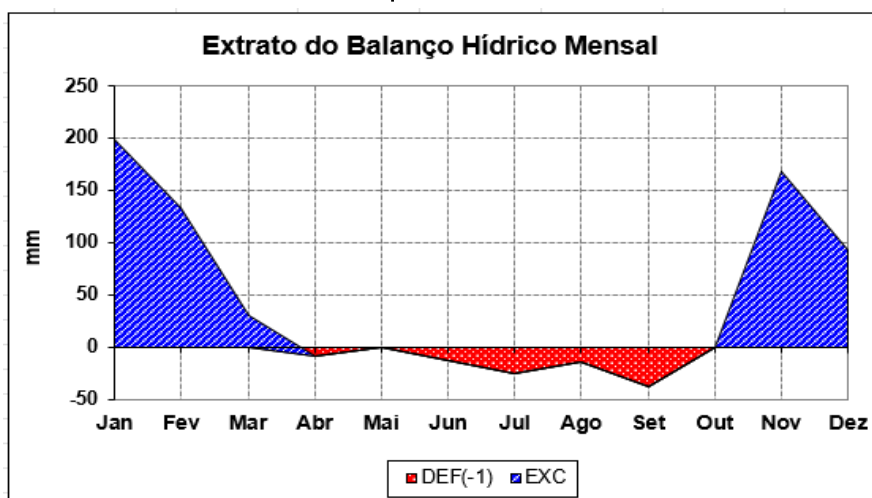


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 1998 (figura 67), há uma nova diminuição nos valores de excedente hídrico, com dois momentos bem marcados, sendo o mais intenso ocorrido em janeiro, com 200 mm. Desta vez, o pico de excedente do final do ano ocorre em novembro, com cerca de 170 mm.

O período de déficit hídrico tem duração semelhante ao ano anterior, porém com uma geometria diferente, em três picos bem definidos, separados por períodos de estrangulamento, onde o input hídrico causou uma diminuição nos valores de déficit, sendo que o maior pico ocorre em setembro, com cerca de -40 mm.

Figura 67: Balanço hídrico mensal para o ano de 1998 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



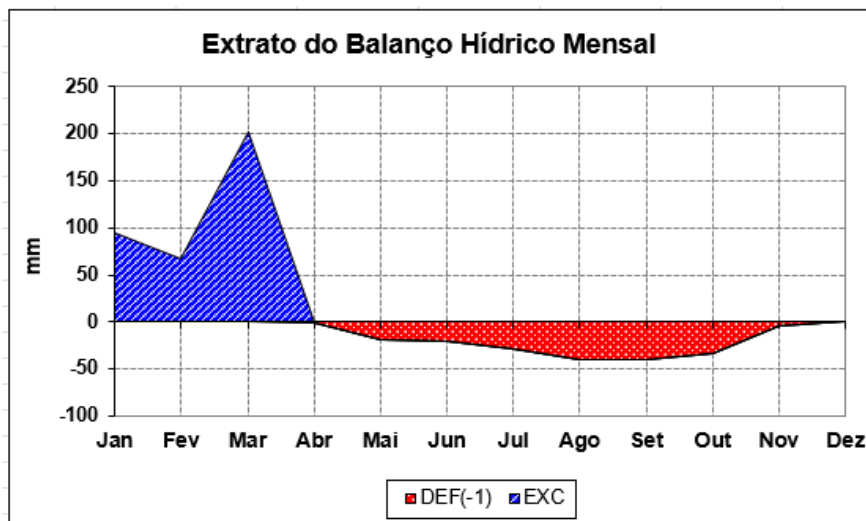
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Já em 1999 (figura 68), pela terceira vez na série, e pela primeira vez no período após a formação do reservatório, não há excedente hídrico no final do ano. Ocorrem dois picos de excedente, sendo o maior deles ocorrido em março, com 200 mm, após uma queda nos volumes excedentes durante o mês de janeiro com posterior aumento em fevereiro.

O período de déficit se estendeu de abril a dezembro, com uma tendência de aumento até o mês de agosto, mantendo um volume praticamente constante até o mês de setembro com posterior diminuição até atingir um balanço próximo do nulo em dezembro, com um pico de cerca de -40 mm, ocorrido em agosto/setembro.

Destaca-se que o ano de 1999 esteve sob efeito de um La Niña que modulou durante todo o ano, podendo ter influenciado nos déficits hídricos.

Figura 68: Balanço hídrico mensal para o ano de 1999 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

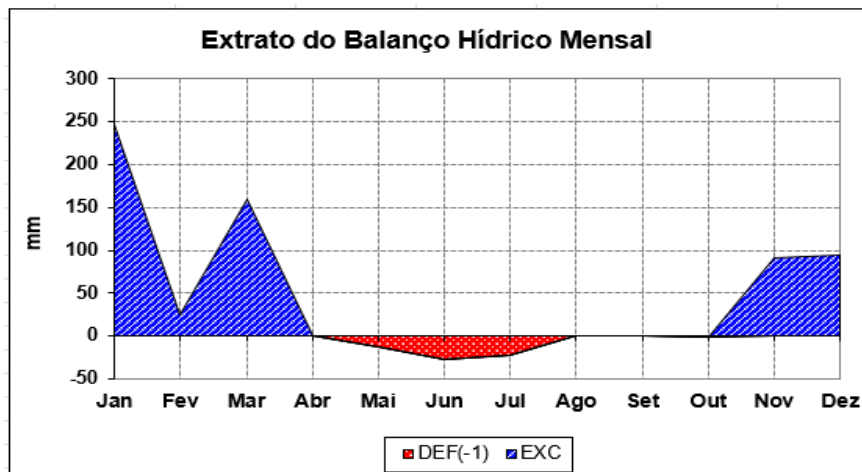


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano 2000 (Figura 69), há um sensível aumento nos valores de excedente hídrico, com dois máximos bem definidos no início do ano, sendo mais intenso ocorrido em janeiro, com pouco menos de 250 mm, seguido de uma vertiginosa queda ocorrida durante o mês de fevereiro. No final do ano (a partir de outubro), ocorre um aumento nos volumes de excedente hídrico, principalmente se comparado ao ano anterior, em que este excedente não ocorreu.

O período de déficit hídrico se estendeu de abril a outubro, com tendência visual de aumento até o mês de junho, onde atinge o pico de cerca de -30 mm. Durante os meses de agosto, setembro e outubro, o balanço hídrico foi nulo.

Figura 69: Balanço hídrico mensal para o ano de 2000 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

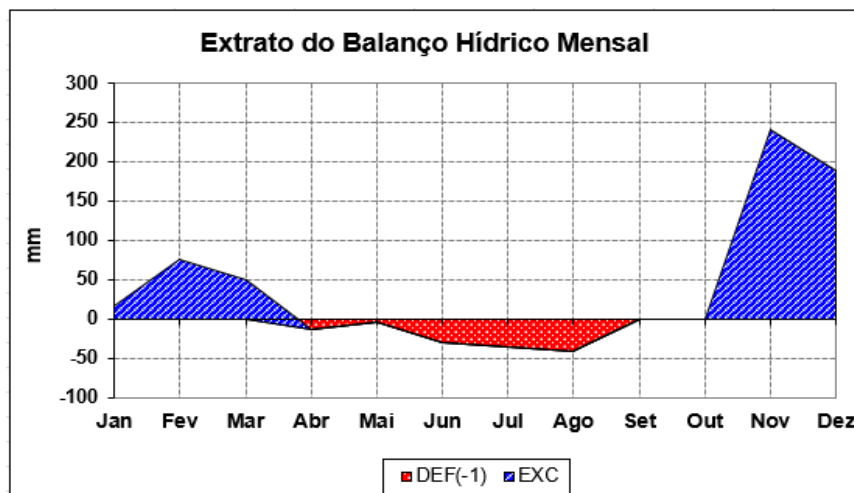


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2001 (Figura 70), os valores de excedente hídrico se mantiveram próximos aos ocorridos no ano anterior, porém, neste ano, o maior pico de excedente ocorre em novembro, com cerca de 245 mm.

Esta situação mostra um início de ano consideravelmente seco. O período de déficit hídrico ocorre entre os meses de março e outubro, com tendência visual de aumento até o mês de agosto, com pico de cerca de -40 mm, com posterior diminuição até atingir o balanço nulo durante o mês de setembro.

Figura 70: Balanço hídrico mensal para o ano de 2001 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



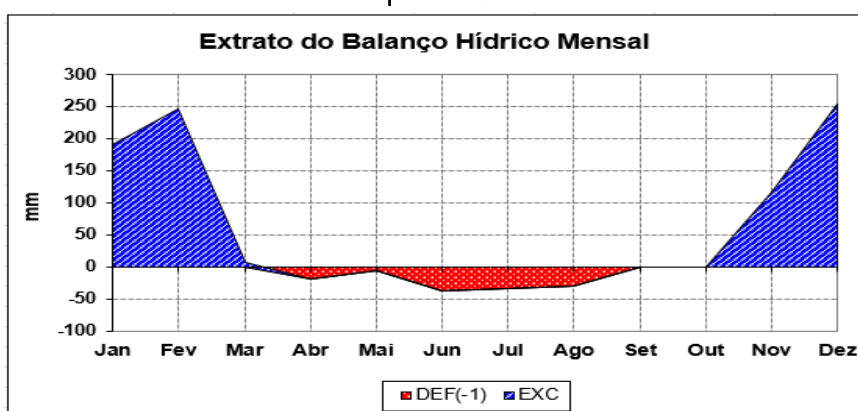
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2002 (Figura 71), os valores de excedente hídrico se mantêm

semelhantes aos anos anteriores, mas neste ano com picos de excedente semelhantes no início e fim do ano, sendo que o maior pico ainda ocorre em dezembro (>250 mm).

O período de déficit hídrico também é semelhante, principalmente aos anos anteriores, porém neste ano o pico de déficit recua em dois meses em relação ao ano anterior, durante o mês de junho, com cerca de -35 mm, com posterior queda, que é acentuada durante o mês de agosto, até atingir o balanço nulo no mês de setembro.

Figura 71: Balanço hídrico mensal para o ano de 2002 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

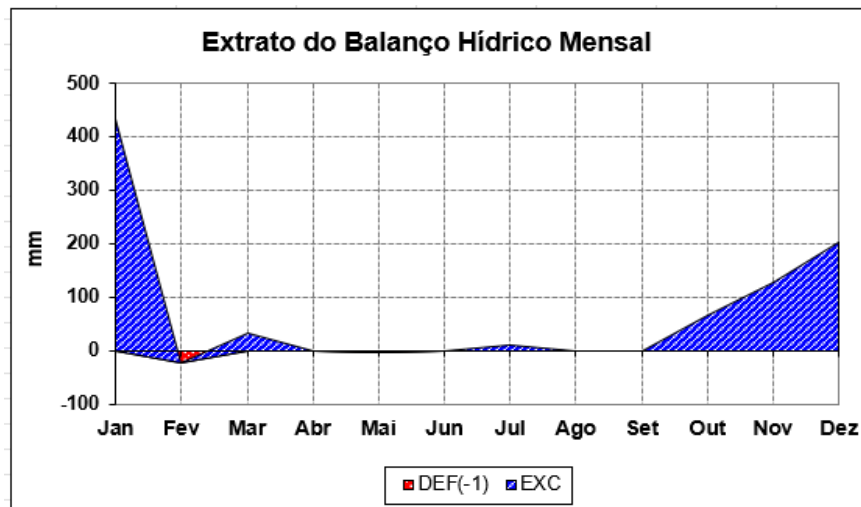
O ano de 2003 (Figura 72) apresenta um quadro incomum na série, com a quase inexistência de déficit hídrico, apontando para um ano com volumes pluviométricos elevados na área.

Os valores excedentes neste ano sofreram um expressivo aumento, com máximos de cerca de 430 mm ocorrido em janeiro.

Há um pequeno déficit de cerca de 15 mm em fevereiro, além de um período de déficit leve durante os meses de abril a junho, que nesta escala gráfica é pouco perceptível do balanço nulo.

Durante o mês de agosto há um período de balanço hídrico nulo, que precede um aumento nos meses do final de ano. Diferentemente dos anos anteriores, o pico de excedente ocorrido no final de ano é menor que no início do referido ano.

Figura 72: Balanço hídrico mensal para o ano de 2003 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

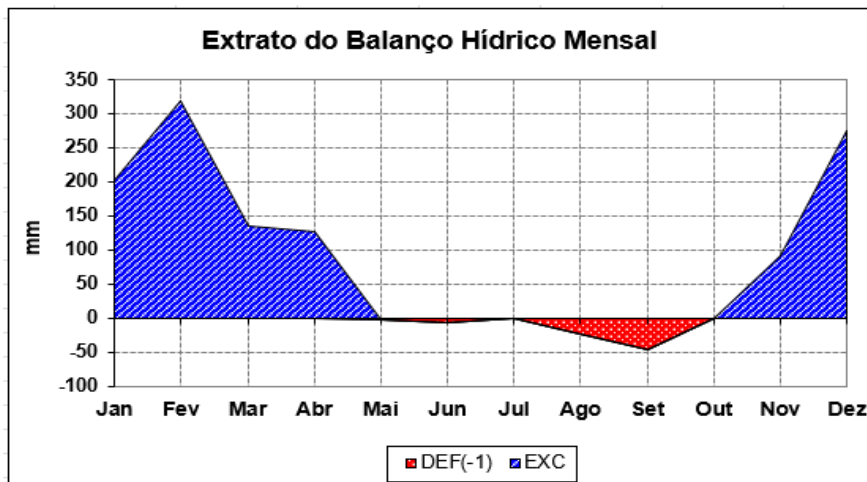


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2004 (Figura 73), há uma diminuição dos valores de excedente hídrico, com ocorrência de dois picos bem marcados, sendo o mais intenso ocorrido em fevereiro, com cerca de 320 mm. Após este pico, há uma tendência de queda entre os meses de fevereiro e março até o mês de abril.

O período de déficit hídrico se estendeu de maio à outubro, apresentando um pico de pouco menos de 50 mm ocorrido em setembro. Este período de déficit foi mais longo que o ano anterior, mas mais curto que os outros anos após a formação do reservatório, até este momento.

Figura 73: Balanço hídrico mensal para o ano de 2004 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



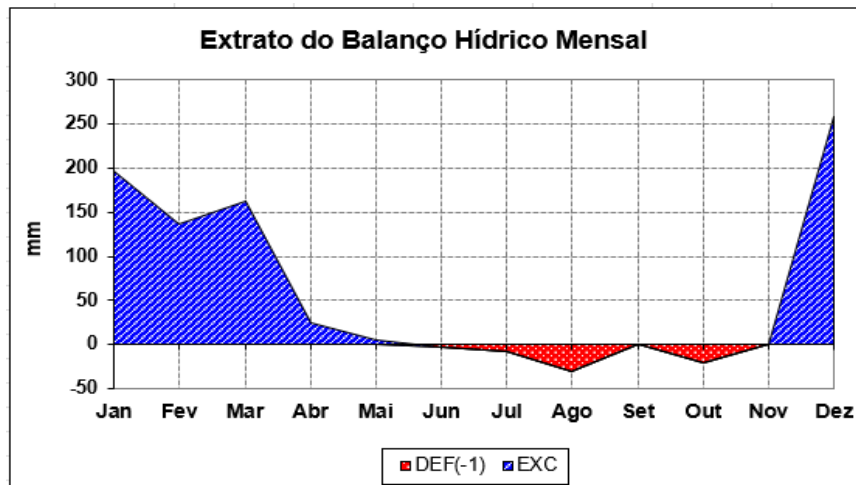
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2005 (Figura 74), há uma diminuição nos valores de excedente hídrico em relação ao ano anterior, com três picos bem marcados, sendo que o mais intenso deles ocorre em dezembro, com pouco mais de 250 mm.

O período de déficit ocorreu do mês de maio até o mês de novembro, com dois picos bem marcados, sendo o mais intenso ocorrido em agosto, com cerca de -30 mm.

É importante notar que neste ano há um pico de déficit ocorrido em outubro, situação incomum na série, sendo observada apenas no ano 1999 após a formação do reservatório.

Figura 74: Balanço hídrico mensal para o ano de 2005 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

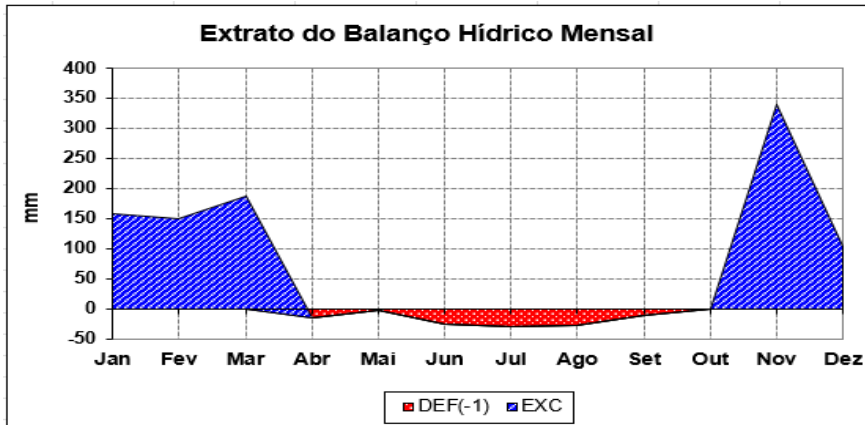


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2006 (Figura 75), há um aumento nos valores de excedente hídrico com dois máximos fracamente definidos ocorridos nos meses iniciais (jan e mar), além de um pico bem marcado ocorrido no mês de novembro, com aproximadamente 340 mm.

O período de déficit hídrico neste ano tem extensão semelhante ao ano anterior, porém abrangendo os meses de abril a outubro, com tendência visual de aumento a partir do final de maio, com máximos ocorridos em julho e agosto, com cerca de 30 mm, até chegar novamente ao excedente a partir do mês de outubro.

Figura 75: Balanço hídrico mensal para o ano de 2006 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

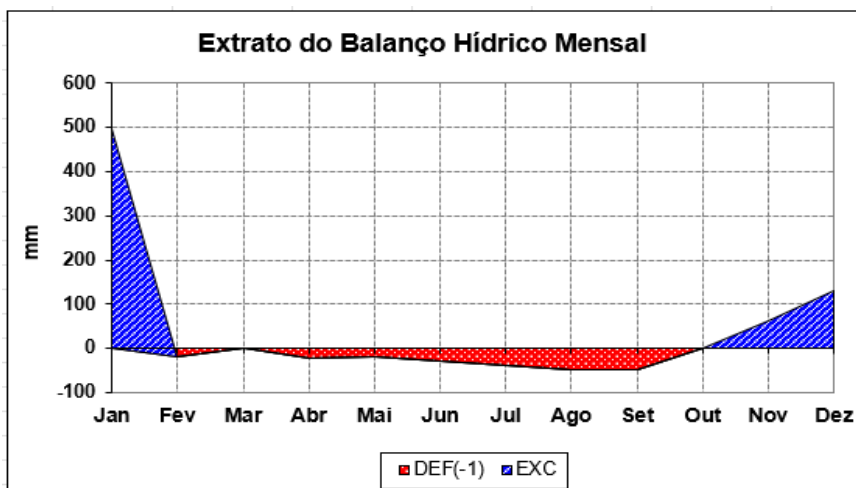


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2007 (Figura 76), embora haja um intenso aumento nos valores de excedente hídrico, estes valores estão concentrados em um curto intervalo de tempo, com o maior valor ocorrido no mês de janeiro (500 mm).

O período de déficit hídrico neste ano se destaca uma vez que se estende dos meses de fevereiro a outubro, possuindo tendência visual de aumento principalmente a partir de março, com um pico ocorrido em setembro, com aproximadamente -50 mm.

Figura 76: Balanço hídrico mensal para o ano de 2007 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



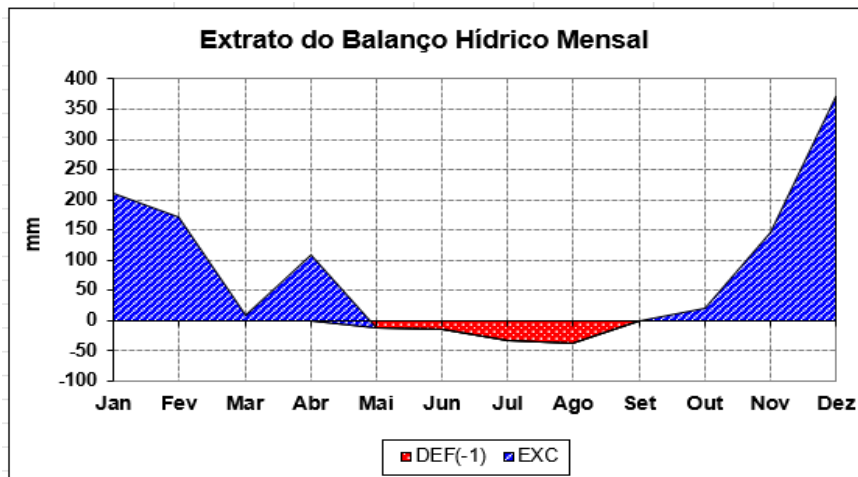
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2008 (Figura 77), há uma diminuição dos valores de excedente hídrico, com três picos bem marcados, sendo o maior deles ocorrido em dezembro, com cerca de 370 mm.

Observa-se uma intensa queda nos excedentes entre os meses de fevereiro e março, com posterior elevação até o mês de abril.

O período de déficit hídrico neste ano é mais curto em relação aos últimos anos, com tendência visual de maio a agosto, onde ocorre o pico, com aproximadamente -40 mm.

Figura 77: Balanço hídrico mensal para o ano de 2008 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

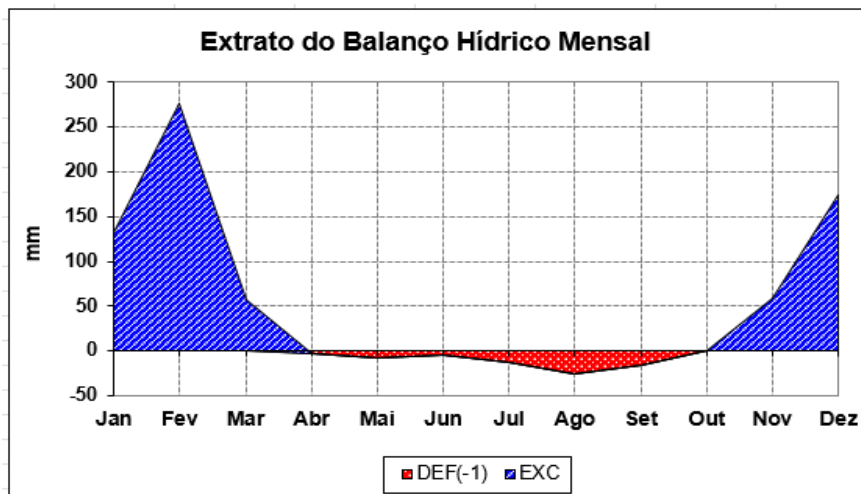


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2009 (Figura 78), há diminuição nos valores de excedente hídrico, com a ocorrência de dois máximos bem marcados nos extremos do ano civil, sendo o mais intenso deles ocorrido em fevereiro, com aproximadamente 275 mm.

Já o período de déficit hídrico se estendeu dos meses de abril à outubro, sendo mais longo que o ano anterior e que possui uma tendência visual de crescimento a partir de junho, após a ocorrência de um período de relativa estabilidade nos valores de déficit durante os meses de abril à junho. O pico de déficit ocorre durante o mês de agosto, com cerca de -25 mm.

Figura 78: Balanço hídrico mensal para o ano de 2009 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

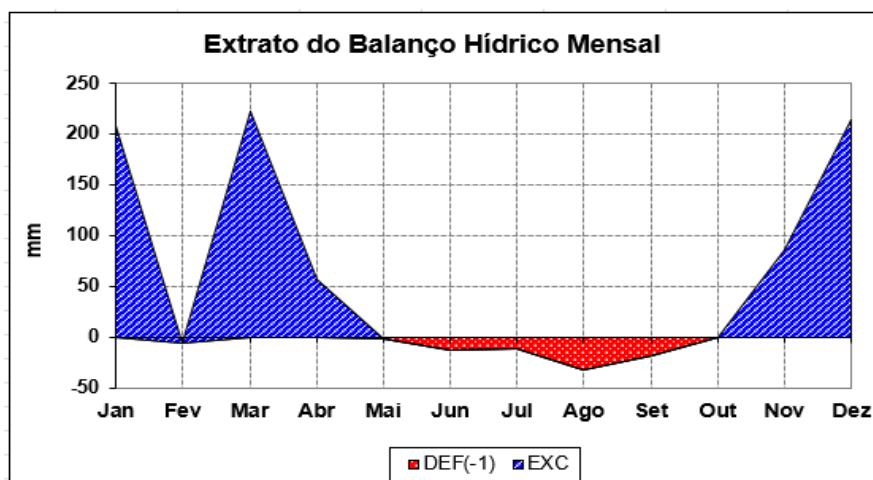


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2010 (Figura 79), há nova diminuição nos valores de excedente hídrico, com três picos bem definidos porém com o segundo e terceiro picos muito próximos em relação às suas intensidades, sendo que o maior pico ocorre em março, com cerca de 220 mm. Observa-se, também, a brusca redução ocorrida entre no mês de Fevereiro, levando ao valor nulo.

O período de déficit deste ano é mais curto que o do ano anterior, se estendendo de maio a outubro, com um pico ocorrido em agosto, com cerca de -30 mm.

Figura 79: Balanço hídrico mensal para o ano de 2010 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



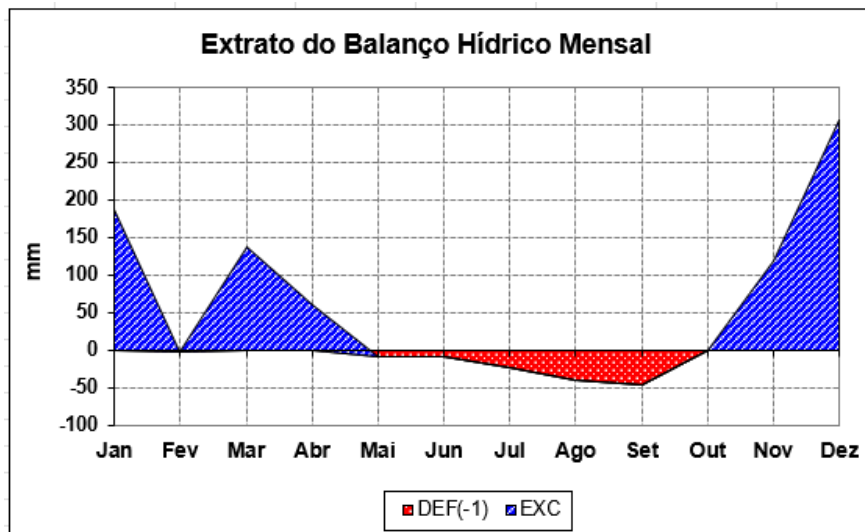
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2011 (Figura 80), há um aumento nos valores de excedente

hídrico, com três máximos bem definidos, sendo o maior deles ocorrido em dezembro, com pouco mais de 300 mm. Novamente há um momento de balanço nulo em fevereiro, que antecede um intenso aumento nos volumes de excedente em março.

O período de déficit hídrico neste ano é semelhante ao ano anterior, porém com pico mais intenso ocorrido em setembro, com cerca de -48 mm.

Figura 80: Balanço hídrico mensal para o ano de 2011 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



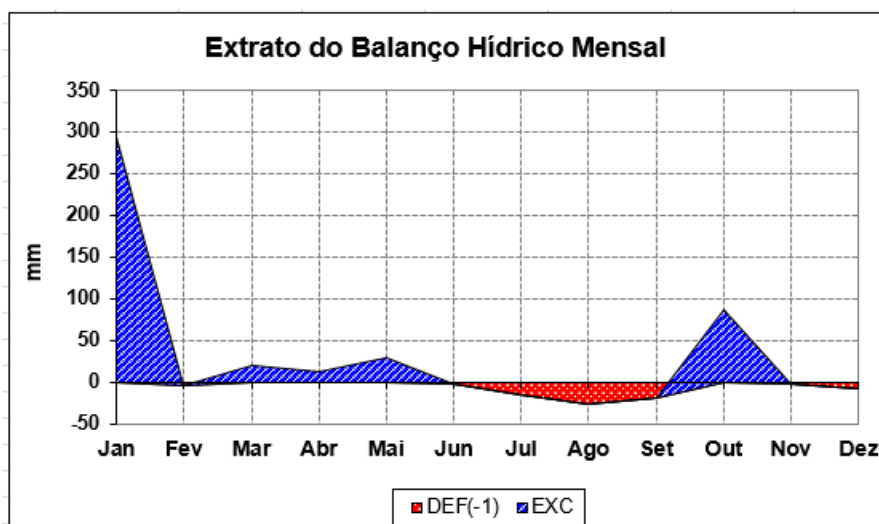
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2012 (Figura 81), os valores de excedente hídrico se mantiveram semelhantes aos do ano anterior, mas o gráfico apresenta uma situação incomum na série, com uma intensa concentração dos excedentes no mês de janeiro (300 mm), com intensa diminuição nos meses subsequentes até transicionar para o período de déficit.

Observa-se neste ano que os meses de novembro e dezembro foram anormalmente secos. Outro fato notável é a interrupção do período de déficit durante os meses de setembro a novembro, com máximo ocorrido em outubro (85 mm).

O período de déficit neste ano foi anormalmente curto, se estendendo de junho a setembro, e posteriormente entre novembro e dezembro, com pico em agosto de aproximadamente -30 mm.

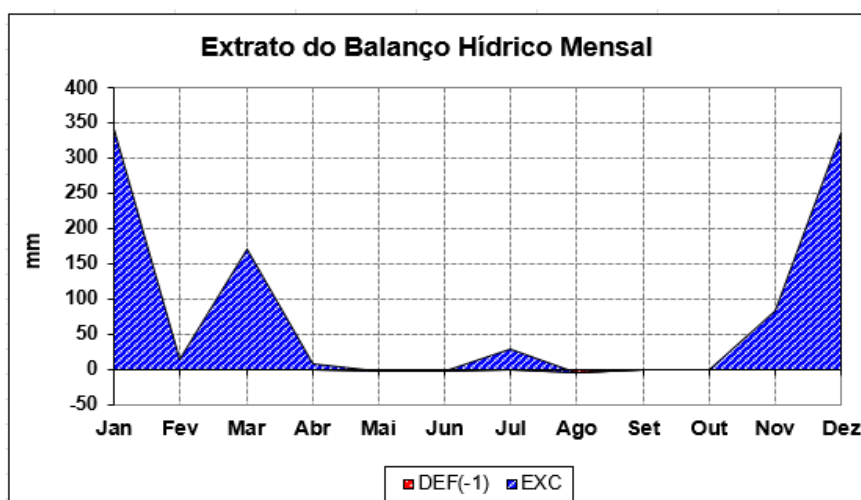
Figura 81: Balanço hídrico mensal para o ano de 2012 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2013 (Figura 82), há aumento nos valores de excedente hídrico, com quatro picos bem definidos, sendo o mais intenso deles ocorrido em janeiro, com cerca de 345 mm. Este ano apresenta uma situação em que não há períodos de déficit hídrico, sendo anormalmente úmido.

Figura 82: Balanço hídrico mensal para o ano de 2013 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

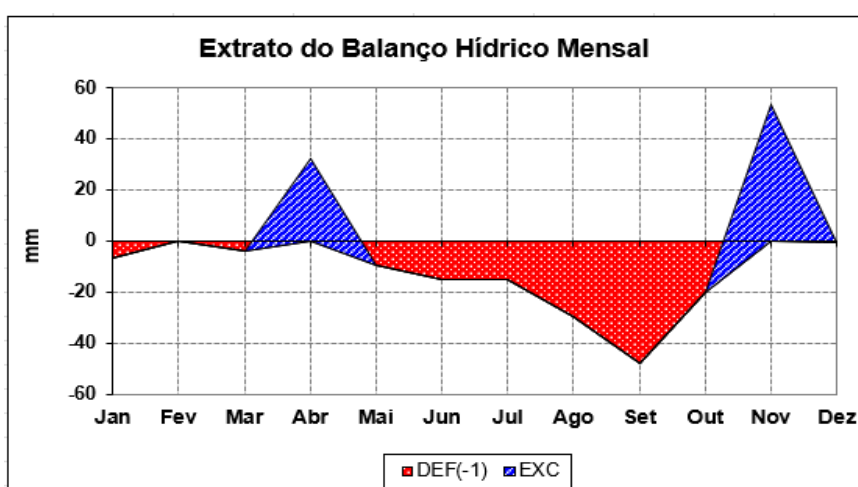
No ano de 2014 (Figura 83), marcado por um início de ano anormalmente seco, é possível observar déficit hídrico nos meses de janeiro, fevereiro e março. Neste ano não há excedente hídrico nos meses iniciais do ano, situação parecida com o ocorrido em 1993, porém, naquele ano, houve um balanço nulo em

janeiro.

Observa-se dois picos bem definidos de excedente, sendo o mais intenso deles ocorrido em novembro, com cerca de 55 mm, com uma posterior queda durante o mês até atingir o balanço nulo em dezembro.

O período de déficit hídrico neste ano foi longo e intenso, principalmente entre os meses de julho e setembro, onde o pico de aproximadamente -50 mm é atingido.

Figura 83: Balanço hídrico mensal para o ano de 2014 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



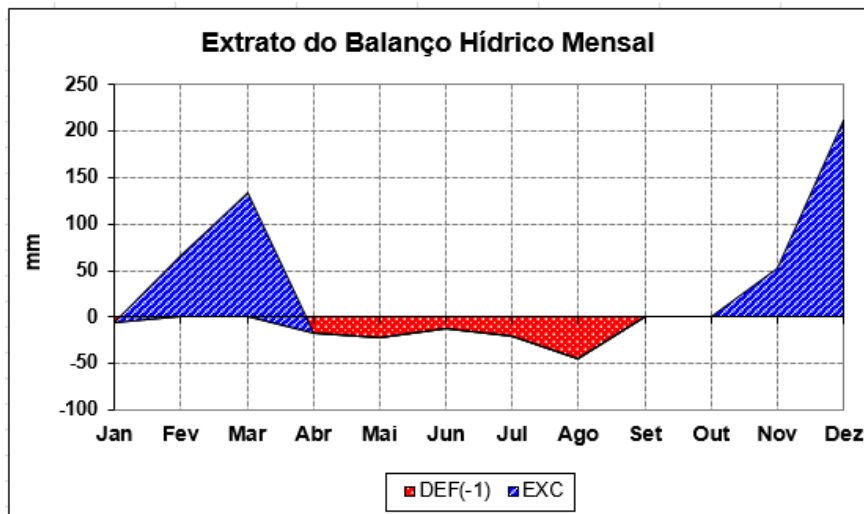
Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2015 (Figura 84), os valores de excedente hídrico sofrem um intenso aumento. A diminuição nos volumes de excedente hídrico observada a partir de novembro de 2014 que resultou em balanço nulo no mês subsequente (dez 2014), resultou em aumento de volumes a partir de janeiro de 2015.

Este ano apresenta dois picos bem marcados de excedente, sendo o mais intenso ocorrido em dezembro, com pouco mais de 200 mm.

O período de déficit hídrico neste ano foi curto, principalmente em relação ao ano anterior, apresentando um pico de aproximadamente -50 mm em agosto. Durante o mês de setembro ocorreu um balanço nulo até transicionar para um período de excedente a partir de outubro. É notável a melhora na situação hídrica do reservatório neste ano (2015) em relação ao ano anterior (2014).

Figura 84: Balanço hídrico mensal para o ano de 2015 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

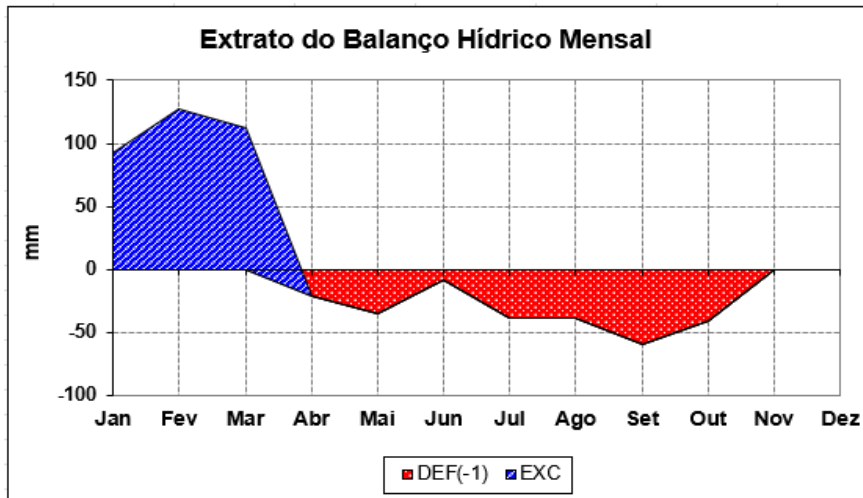


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2016 (Figura 85), há uma sensível diminuição nos valores de excedente hídrico, comparado aos padrões do verão, com concentração dos valores nos primeiro quatro meses de ano e um máximo observado em fevereiro (120 mm).

Neste ano não há excedente hídrico no final do ano e o período de déficit hídrico se estende de março a novembro, um dos mais longos da série, com um intenso pico de aproximadamente -55 mm em setembro. Durante os meses de novembro e dezembro ocorreu um balanço nulo.

Figura 85: Balanço hídrico mensal para o ano de 2016 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

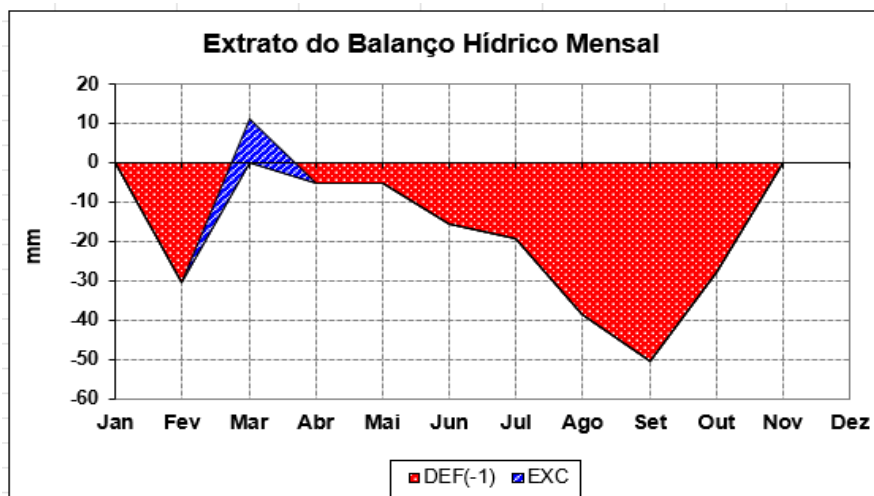


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

No ano de 2017 (Figura 86), ocorrem os menores valores de excedente hídrico até o momento, com apenas um máximo observado em março (10mm), ilustrando um verão seco.

Há um intenso déficit hídrico nos meses de janeiro e fevereiro. A partir do mês de abril, o déficit hídrico apresenta uma forte tendência visual de aumento, até atingir o momento máximo em setembro, com aproximadamente -50 mm, até a nulidade do balanço hídrico nos meses de novembro e dezembro.

Figura 86: Balanço hídrico mensal para o ano de 2017 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

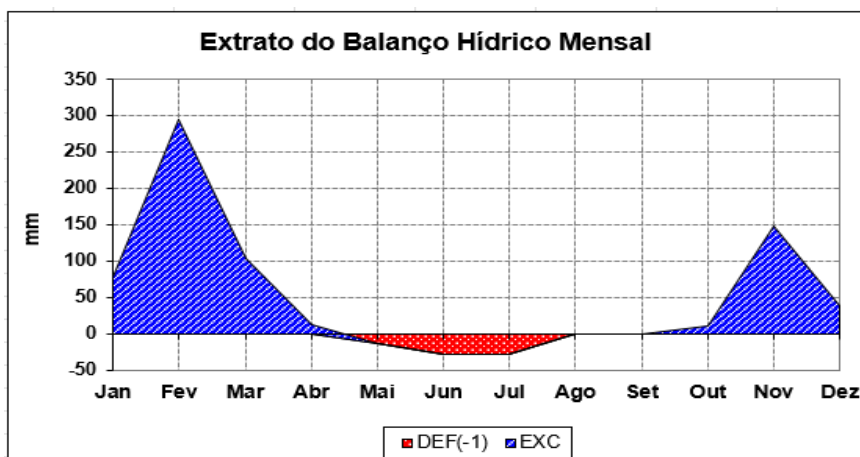


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2018 (Figura 87), ocorre uma sensível melhora na situação hídrica do reservatório, com intenso aumento dos valores de excedente hídrico, em dois máximos bem marcados, sendo o maior deles ocorrido em fevereiro, com cerca de 300 mm.

O período de déficit neste ano é curto, principalmente quando comparado aos anos anteriores, se estendendo de abril a agosto, com valor máximo ocorrido em julho, de aproximadamente -30 mm. Durante o mês de agosto ocorre um balanço nulo, seguido de um aumento nos excedentes a partir de setembro.

Figura 87: Balanço hídrico mensal para o ano de 2018 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.

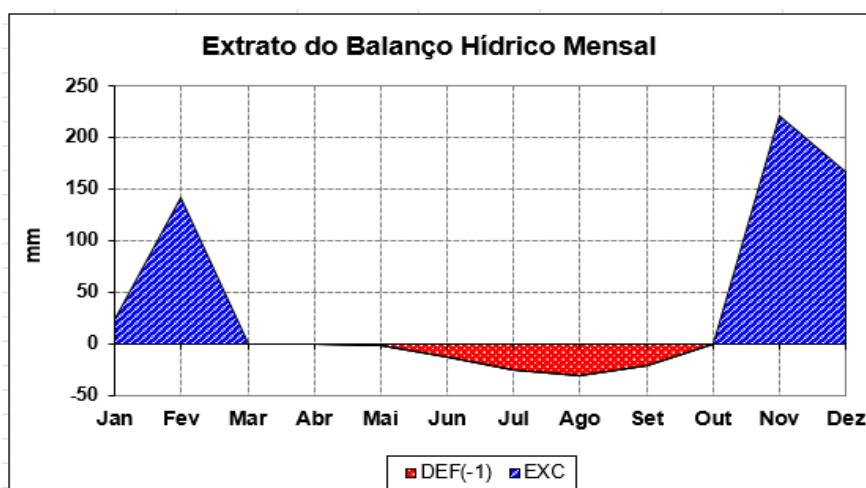


Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Em 2019 (Figura 88), há uma diminuição dos valores de excedente hídrico, com valores concentrados nos primeiro dois meses do ano e nos dois últimos. Seu máximo é atingido no mês de novembro, com aproximadamente 220 mm.

O período de déficit hídrico ocorre entre os meses de junho e outubro, com pico de cerca de -35 mm ocorrido em agosto, após um período de balanço nulo entre os meses de março e maio

Figura 88: Balanço hídrico mensal para o ano de 2019 para o reservatório de Chapéu d'Uvas.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

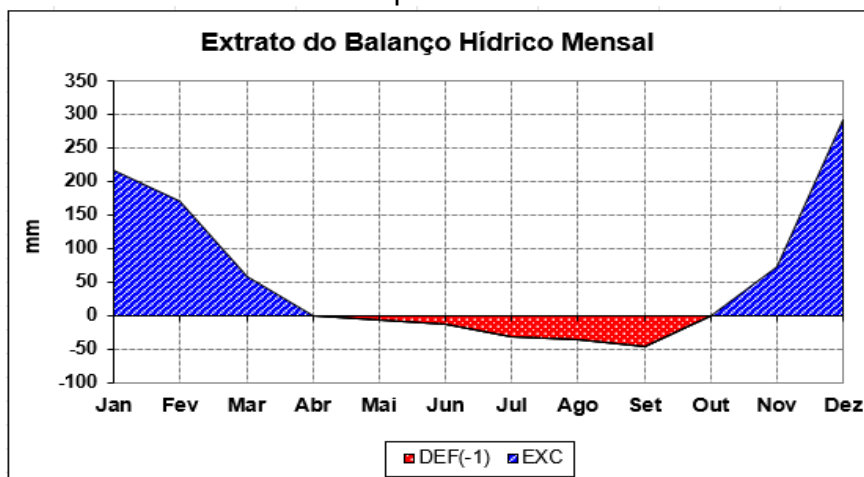
O ano de 2020 (Figura 89), último da série, apresenta um aumento nos valores de excedente hídrico em relação ao ano anterior, e estes valores estão

mais dispersos no início do ano, se estendendo até o mês de abril, onde há a transição para o déficit hídrico.

Há dois máximos de excedente bem definidos, com o mais intenso deles ocorrendo no mês de dezembro, com cerca de 290 mm.

O período de déficit hídrico se estende de abril a outubro, sendo mais longo que o do ano anterior, com um pico de cerca de -50 mm ocorrido em agosto. Nota-se que há uma tendência visual de aumento nos déficits, intensificada a partir de junho, até sua diminuição durante o mês de setembro.

Figura 89: Balanço hídrico mensal para o ano de 2020 para o reservatório de Chapéu d'Uvas



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

Quadro 1 - Resumo dos BHM para a série histórica analisada.

1972	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 230 mm em dezembro.
1973	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 200 mm em dezembro.
1974	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 270 mm em março.
1975	Alongamento do período sem excedente, com pico máximo em novembro de 320 mm.
1976	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 250 mm em dezembro, com um pico de valor próximo em outubro.
1977	Ano positivo, com excedente máximo de 250 mm em novembro e déficit máximo de 50 mm em agosto.
1978	Ano positivo, mas com redução nos inputs hídricos, encurtamento do período de déficit e pico máximo de cerca de 170 mm em novembro.
1979	Ano positivo, com aumento nos inputs hídricos, pico máximo de aproximadamente 460 mm em fevereiro, período de déficit chega a abranger uma porção do mês de outubro.
1980	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 300 mm em janeiro.
1981	Ano positivo, mas com diminuição no input hídrico, e pico de excedente máximo em novembro, com 270 mm.
1982	Ano positivo, com alongamento do período de déficit, e pico de excedente máximo de 500 mm em dezembro.
1983	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 660 mm em janeiro
1984	Ano com inputs hídricos mais baixos e um período de déficit alongado, com pico de excedente máximo ocorrido em janeiro, com cerca de 170 mm.
1985	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de excedente em janeiro, com 500 mm.
1986	Ano com excedentes e déficits alternados, com um excedente de 15 mm em agosto.
1987	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de 300 mm em janeiro.
1988	Ano com um período de déficit prolongado e pico máximo de excedente em fevereiro de cerca de 420 mm.
1989	Ano positivo, com redução nos inputs hídricos e pico máximo de excedente em fevereiro, com 300 mm.
1990	Ano com período de déficit prolongado, sem picos de excedente no final do ano.
1991	Ano com período de déficit prolongado e ocorrência de nulidade do BHM em outubro e novembro.
1992	Ano predominantemente deficitário, com pico de excedente máximo em janeiro, com cerca de 107 mm.
1993	Ano predominantemente deficitário, com nulidade do BHM em janeiro e sem picos de excedente no final do ano.
1994	Ano com aumento dos inputs hídricos, mas ainda em situação deficitária.
1995	Ano positivo, com pico de excedente máximo de cerca de 380 mm em dezembro.
1996	Ano majoritariamente excedente, com pico máximo de aproximadamente 350 mm em janeiro.
1997	Ano com período de déficit hídrico mais longo, com pico de 48 mm em agosto.

1998	Ano com período de déficit hídrico mais longo e uma diminuição dos valores de excedente hídrico em relação ao ano anterior.
1999	Ano com período de déficit hídrico longo, se estendendo até o final do ano, onde o BHM se aproxima de uma situação nula.
2000	Ano com período de déficit hídrico curto e sensível aumento nos valores de <i>input</i> hídrico.
2001	Ano com alongamento do período de déficit hídrico em relação ao ano anterior.
2002	Ano com período de déficit hídrico semelhante ao ano anterior, mas com intensificação dos excedentes hídricos.
2003	Ano em que quase não há déficit hídrico, além de uma intensificação dos excedentes.
2004	Ano com maior distribuição dos excedentes hídricos e alongamento do período de déficit em relação ao ano anterior.
2005	Ano com deslocamento do início e fim do período de déficit, com destaque para o seu fim em novembro.
2006	Ano com alongamento do período de déficit hídrico e maior distribuição dos excedentes no final do respectivo ano.
2007	Ano com alongamento do período de déficit hídrico, com destaque para seu início em fevereiro.
2008	Ano com período de déficit hídrico curto em relação ao ano anterior e maior distribuição dos excedentes.
2009	Ano com alongamento do período de déficit hídrico e redução nos valores de excedente.
2010	Ano com encurtamento do período de déficit hídrico e destaque para a situação de BHM nulo em fevereiro.
2011	Ano com período de déficit semelhante ao ano anterior, porém com apenas um pico, diminuição nos valores de excedente e BHM nulo em fevereiro.
2012	Ano com encurtamento do período de déficit e ocorrência de excedentes durante os meses secos.
2013	Ano sem ocorrência de déficits hídricos e dois períodos de BHM nulos.
2014	Ano predominantemente deficitário, com dois picos pouco intensos entre os déficits.
2015	Ano com encurtamento do período de déficit hídrico em relação ao ano anterior e maior concentração dos excedentes.
2016	Ano com déficit hídrico alongado e BHM nulo no final deste ano.
2017	Ano predominantemente deficitário, com a ocorrência de um pico pouco intenso de excedente.
2018	Ano com encurtamento do período de déficit hídrico e aumento das intensidades e concentrações dos excedentes.
2019	Ano com encurtamento do período de déficit hídrico e diminuição da concentração de excedentes no início deste ano.
2020	Ano com alongamento do período de déficit e maior distribuição dos excedentes no início deste ano.

Organizado pelo autor (2023)

Os gráficos de extrato do balanço hídrico mensal para a série de dados mostram uma diversidade de situações que se estendem desde anos em que praticamente não houve déficit hídrico até anos em que quase não houve excedente, sendo complexo determinar as causas destas situações.

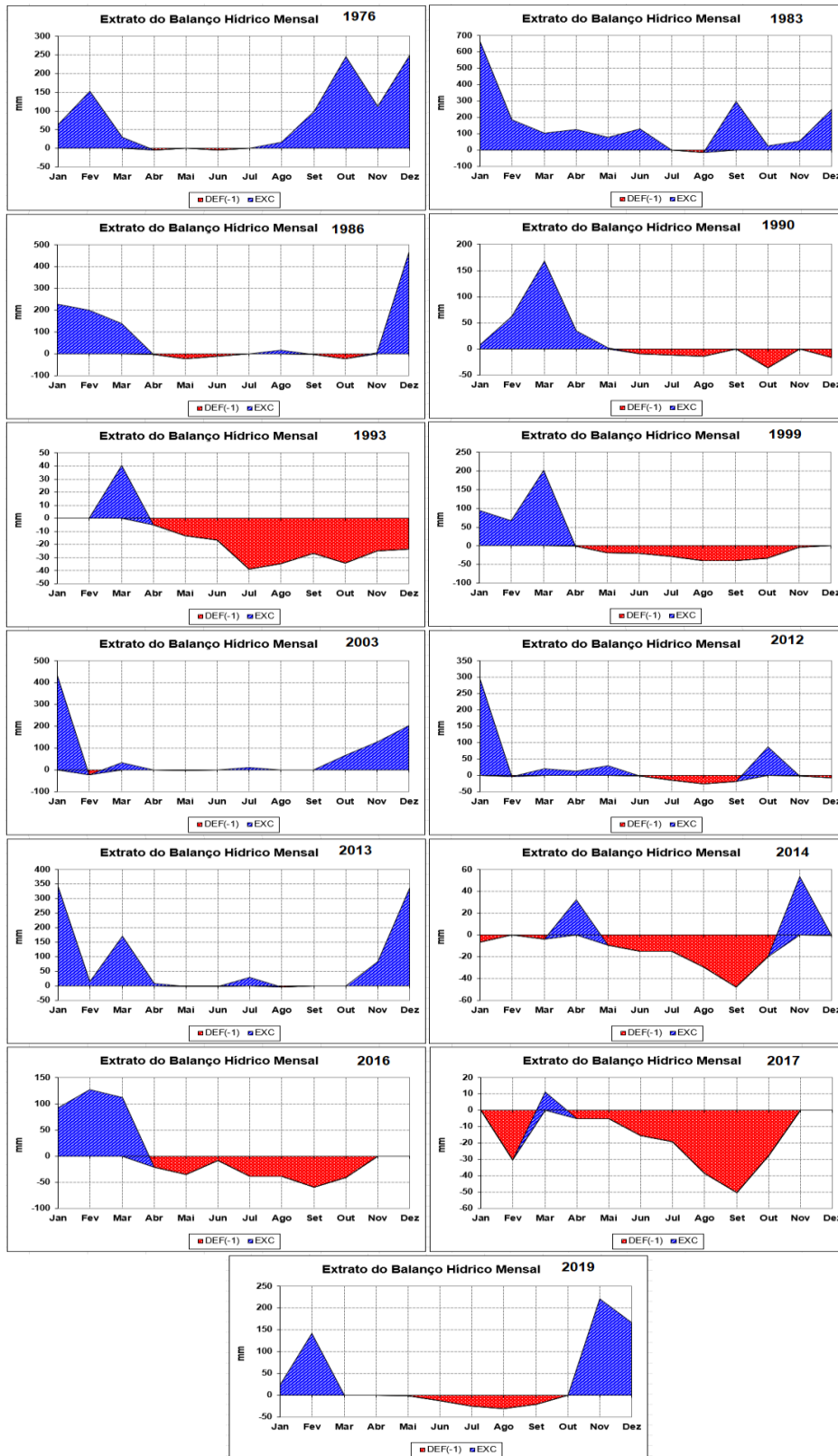
Algumas destas situações atípicas serão apresentadas a seguir em um compilado de gráficos (Figura 90).

Nota-se que por estar acontecendo uma aceleração nas ocorrências de eventos anômalos em relação ao balanço hídrico da área do reservatório. Tais ocorrências se caracterizam por extensos balanços nulos e aumentos nas extensões e intensidades dos períodos de déficit após a formação do reservatório.

Os resultados dos BHMs “conversam” com os outros resultados obtidos anteriormente, refletindo-os, uma vez que há uma tendência de redução de chuvas na região, há menos água entrando no sistema. As tendências de aumento de temperatura, que parecem ser coerentes com os resultados apresentados no relatório mais recente do IPCC, fazem com que haja maior perda hídrica por evaporação e evapotranspiração, o que é mostrado pelos resultados das estimativas de ETP. É necessário no entanto avaliar em que grau as ocupações irregulares nas margens do reservatório também podem ser responsáveis por alterações no BHM.

Além disso, observe a sequência de gráficos dos anos de 2014, 2016, 2017, onde são apresentadas situações que remete profunda preocupação e que podem vir a se repetir, o que pode indicar mudanças em curso devido às mudanças climáticas, embora este fator possa não ser o único responsável por estas ocorrências.

Figura 90: Situações Anômalias ocorridas em relação ao balanço hídrico mensal do reservatório de Chapéu d'Uvas para a série histórica analisada.



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados gerados até o momento mostra que há uma tendência geral de aumento de temperaturas médias, aumento este que é coerente com os dados que o IPCC apresentou em seu mais recente relatório para gestores, em 2021, sendo que as tendências de aumento mais significativas ocorrem nos meses de março, abril, junho, setembro, outubro e dezembro, sendo os meses de setembro e dezembro aqueles com tendências mais significantes (4,39 e 4,07 respectivamente)

Com relação às chuvas, a diminuição de dias chuvosos na série histórica da região, apontada por Frauches et al. (2020) parece ser reforçada pela análise das anomalias de chuva, que mostram comportamento deficitário, com exceção ao mês de fevereiro. Nota-se que durante os meses secos não ocorrem chuvas fora do desvio-padrão enquanto que no período chuvoso elas ocorrem, sendo que os meses que apresentam maior quantidade de anomalias negativas são outubro, novembro e dezembro, meses do início da estação chuvosa.

O método de evapotranspiração de Thornthwaite foi empregado devido a disponibilidade de dados. A literatura sobre evaporação em reservatórios o utiliza e recomenda.

Os dados de Evapotranspiração Potencial (ETP) mostram uma tendência de aumento. Essa tendência é significativa para os meses de setembro, outubro e dezembro, meses que demonstraram aumento significativo nas temperaturas médias mensais.

Quando se analisam os resíduos entre as chuvas mensais e a ETP para a série, o comportamento é bem próximo ao esperado, mas ainda aponta para uma tendência de redução nos índices pluviométricos em meses mais chuvosos. Tal fato pode comprometer o processo de entrada e saída (input-output) associado a dinâmica climática no reservatório.

Cabe destacar que os meses de setembro e outubro aparecem com tendências significativas de aumento das temperaturas e da ETP, ao mesmo tempo em que também são deficitários em relação às chuvas.

Este comportamento observado em setembro (transição entre o período seco e o chuvoso na região) e outubro (retorno do período chuvoso) pode apontar para um possível prolongamento do período seco na área estudada.

Além disso, esse possível prolongamento do período seco deve ser averiguado por estudos futuros que se dediquem a aprofundar a temática das dinâmicas hídricas e energéticas nas proximidades do reservatório.

Os balanços hídricos para os anos da série mostram uma diversidade de situações, desde anos em que o balanço não apresentou déficit até anos em que não houve excedente. Nota-se a possibilidade de que os eventos extremos no balanço hídrico podem estar acontecendo com maior frequência, embora sejam necessários estudos direcionados para averiguar se isto realmente ocorre.

Ao relacionar os resultados obtidos neste trabalho é possível considerar anormalidades no comportamento dos elementos que condicionam o bom funcionamento do reservatório, já que o aumento das temperaturas favorece os processos de evaporação e evapotranspiração, aumentando as saídas hídricas do reservatório e do seu entorno.

O aumento nas temperaturas também pode ter relação com a participação de bloqueios atmosféricos, os quais tendem a dificultar a ocorrência de chuvas na região do reservatório, prejudicando a entrada hídrica, sendo que a série de dados já mostra tendência de redução da pluviosidade na área.

Há ainda de se lembrar dos efeitos da ocupação desordenada nas margens do reservatório (Que é uma APP, diga-se de passagem) que contribui para a exposição dos terrenos, antes vegetados, favorecendo a produção sedimentar e dificultando a infiltração da água da chuva, além de transportar resíduos provenientes das atividades dos habitantes, colocando em risco a qualidade da água.

Este trabalho não tem pretensão de encerrar o assunto sobre a capacidade de abastecimento do reservatório de Chapéu d'Uvas e deve ser encarado como mais um tijolo na construção do conhecimento sobre um tema tão vital para a sociedade.

Dessa forma, recomenda-se para trabalhos futuros **(a)** a ampliação dos estudos sobre evaporação no reservatório por meio da aplicação de outros testes estatísticos, **(b)** bem como avaliar como os dados de saída dos cenários climáticos futuros sugerem para as condições no entorno do reservatório Chapéu d'Uvas.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Evaporação líquida de reservatórios artificiais no Brasil / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2021.

ALCÂNTARA JUNIOR, L.C.; OLIVEIRA FILHO, G.R.; PEREIRA, L.F. Estudo dos impactos sócio-ambientais da represa de Chapéu d'Uvas e análise de sua importância para o município de Juiz de Fora. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** Viçosa-MG, 2009.

ALLEN, R. G; TASUMI, M; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration „METRIC...—Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 2007, p.380-394.

ALHAJI, U. U; YUSUF, A. S; EDET, C. O; OCHE, O. C; AGBO, E. P. TREND ANALYSIS OF TEMPERATURE IN GOMBE STATE USING MANN-KENDALL TREND TEST. **Journal of Scientific Research & Reports**, v.20, n.3, 2018, 9p.

Al-Sudani, H. I. Z. Temperature – Potential Evapotranspiration Relationship in Iraq Using Thornthwaite Method. **Journal of University of Babylon for Engineering Sciences**. v.27, n.1, 2019, p.16-25.

ALVES, A. M. M. R; MARTINS, F. B; REBOITA, M. S. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA ITAJUBÁ-MG: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES CLIMÁTICAS. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.26, 2020, p.712-732.

ARAGAW, H. M; MISHRA, S. K. Runof curve number-potential evapotranspiration-durationrelationship for selected watersheds in Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, DOI: 10.1007/s40808-021-01193-6, 2021, 13p.

ASSIS, D. C. O CONFORTO TÉRMICO ASSOCIADO ÀS VARIÁVEIS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO CENTRAL DE JUIZ DE FORA – MG. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do título de Mestre, Juiz de Fora, 2016, 196p.

ASSIS, D. C; FERREIRA, C. C. M. ZONEAMENTO TÉRMICO E SUAS CORRELAÇÕES ASSOCIADAS AOS PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA REGIÃO URBANA, CENTRO EM JUIZ DE FORA – MG, *Revista Brasileira de Climatologia*, v.22, 2018, p. 554-573

BERTOTTI, A.P; GREGIO, J.V; SANCHES, F.O. Comparação das precipitações mensais em Erechim (1999-2011) com a Normal Climatológica (1961-1990) e análise de tendência. In: Encontro Nacional de Geógrafos, **Anais...** Belo Horizonte, 2012, 10p.

BLAIN, G.C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia, Campinas**, v.69, n4, p.1027-1033, 2010.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <L9433 (planalto.gov.br) > Acesso em 03 de Dezembro de 2021.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <L12651 (planalto.gov.br) > Acesso em 03 de Dezembro de 2021.

BRITO, T. R. C; LIMA, J. R. S; OLIVEIRA, C. L; SOUZA, R. M. S; ANTONINO, A. C. D; MEDEIROS, E. V; SOUZA, E. S; ALVES, E. M. Mudanças no uso da terra e efeito

nos componentes do balanço hídrico no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, 2020, p.870-886.

CALADO, T. O; CARDOSO, A. S; MARQUES, E. A. T; SOBRAL, M. C. Planos diretores na articulação da gestão de recursos hídricos com o uso do solo no entorno de reservatórios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.03, 2020, p.958-972.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997.

CARVALHO, A. C. B. **ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA EM DIFERENTES USOS DA TERRA NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS**. Tese de Doutorado entregue ao Instituto de Ciências Biológicas como requisito para obtenção de Doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais na Universidade Federal de Juiz de Fora, 2020, 111p.

CARVALHO, J. W. L. T. **CONFIGURAÇÃO URBANA E BALANÇO HÍDRICO COM APLICAÇÃO DO MODELO *AQUACYCLE* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM – CURITIBA/PR**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016, 137p.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DA SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal. Disponível em: <http://www.cesama.com.br/mananciais/barragem-de-chapeu-d-uvas-2>. Acesso: 01 mar 2020.

Cesama - água é vida | Companhia de Saneamento Municipal - Juiz de Fora MG acesso 08/09/2021

COELHO, C. A. S; OLIVEIRA, C. P; AMBRIZZI, T; REBOITA, M. S; CARPENEDO, C. B; CAMPOS, J. L. P. S; TOMAZIELLO, A. C. N; PAMPUCH, L. A; CUSTÓDIO, M. S; DUTRA, L. M. M; ROCHA, R. P; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Clim Dyn** 46, 3737–3752 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>

COELHO, C. D. **ESTIMATIVAS DA EVAPORAÇÃO E DA PEGADA HÍDRICA DOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS DE TUCURUÍ-PA E LAJEADO-TO**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016, 110p.

COELHO, C.D.; SILVA, D.D.; SEDIYAMA, G.C.; MOREIRA, M.C.; PEREIRA, S.B. Estimates of monthly and annual evaporation rates and evaporated volumes per unit time in the Tucuruí-PA and Lajeado-TO hydroelectric power plant reservoirs based on different methods. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.38, n.1, p.38-46, jan./feb. 2018.

CONAMA. Resolução nº 302, de 20 de março de 2002. Disponível em: <CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (cetesb.sp.gov.br) > Acesso em 03 de Dezembro de 2021.

COSTA, D. M. A.; MELO, H. N. S.; FERREIRA, S. R. Influência da salinidade na taxa de evaporação da água. *Holos*, Natal, p.1-7, dez. 2006.

CURTARELLI, M. P.; ALCÂNTARA, E. H.; ARAÚJO, C. A. S.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de

- Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013.
- CZARNOBAI, A.F.; PRUDENCIO, R.S.; RODRIGUES, M.L.G. A circulação atmosférica local na região da Usina Hidrelétrica de Itá. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- DANTAS, S.P.; SALES, M.C.L. A Influência do Açude Castanhão no Clima Local de Jaguarema - Ceará – Brasil: Uma análise no campo térmico e higrométrico. **Revista Equador**, v.4, p. 2-17, 2015.
- DOOREMBOS, J; PRUITT, W. O. **Guidelines for prediction of crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper, 2^oed, Roma, 1977, 179p.
- FEITOSA, G. P. **CÁLCULO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIO TROPICAL POR DIVERSOS MÉTODOS: O CASO DO AÇUDE GAVIÃO**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020, 104p.
- FERREIRA, C.C.M. Estudo do comportamento do período chuvoso em Juiz de Fora-MG. **Revista Geonorte**. UFAM, v.1, n.5, 2012, p. 953-963.
- FISCH, G.F.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R.C. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia. **Acta Amazonica**, 20: 49–60, 1990.
- FRAUCHES, M. S; OLIVEIRA, T. A; SANCHES, F. O; FERREIRA, C. C. M. CHAPÉU D’UVAS: UM ESTUDO SOBRE AS CHUVAS LOCAIS EM RESERVATÓRIOS EM MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.27, Jul/Dez 2020, p 289-302.
- FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v.1, n.1, p.61-71, 2006.
- FRENCH, A. N; HUNSAKER, D. J; THORP, K. R. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. **Remote Sensing of Environment**, v.158, 2015, p,281-294.
- GALVÃO, J; BERMANN, C. CRISE HÍDRICA E ENERGIA: CONFLITOS NO USO MÚLTIPLO DAS ÁGUAS. **Estudos Avançados**, v.29, n.84, São Paulo, 2015, p.43-68.
- GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
- GRIMM, A.M. Verificação de Variações Climáticas na área do Lago de Itaipu. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Paraná, 1988.
- GUIDON, M.A.A.O. **Estudo das variações climáticas na área do lago de Tucuruí**. Dissertação de Mestrado, FFLCH/USP, São Paulo. 1991.
- INEA. ATLAS DOS MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro, 2018, 466p.
- INMET. **Estação Chuvosa em Minas Gerais, nota técnica 004/17**, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017, 13p.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KOHLER, M.A.; NOREDENSON, T.J.; FOX, W.E. Evaporations from pans and lakes. US. **Weather Bureau Research**, paper 38, 1955.

LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.

LEITÃO, M. De M. V. B. R; OLIVEIRA, G. M de; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, Campina Grande, 2007, p.585-593.

MACHADO, P. J. O. **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E ORDENAMENTO TERRITORIAL – Instrumentos para a gestão da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'Uvas/MG**. Tese de Doutorado, Niterói, 2012, 244p.

MARQUES NETO, R; SILVA, F. P; FERNANDES, R. A; BARRETO, J. C, EDUARDO, C. C. A ESPACIALIDADE DO RELEVO EM PAISAGENS TRANSFORMADAS E SUA REPRESENTAÇÃO: MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PARAIBUNA, SUDESTE DE MINAS GERAIS. **Raega**, v.41, Temático de Geomorfologia, Curitiba, 2017, p.65-81.

MARTINS, M. C. **REVISÃO TEÓRICA E DISCUSSÕES SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO CLIMA URBANO DE JUIZ DE FORA**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade aplicados ao Ambiente Construído da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista, Belo Horizonte, 2018, 103p.

MCMAHON, T.A.; PEEL, M.C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T.R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.1331-1363, 2013.

MENDONÇA, P. V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In XXIV Congresso Luso-Espanhol para o Progresso das Ciências, **Anais...** Madrid, 1958, p.271-282.

MIGLIORINI, S. M. D. S; SOUSA, L. F; BIESEK, A. S; RITTER, C. A NECESSIDADE DE SE PLANEJAR O USO TURÍSTICO DO RESERVATÓRIO DA USINA SALTO OSÓRIO – PARANÁ: ATIVIDADES TURÍSTICAS DESENVOLVIDAS NO LOCAL E OS CONSEQUENTES IMPACTOS AMBIENTAIS. **Revista Geografar**, v.5, n.2, Curitiba, 2010, p.115-142.

MINAS GERAIS. Lei nº 10.793, de 02 de julho de 1992. Disponível em: <Legislação Mineira - LEI 10793, de 02/07/1992 - Assembleia de Minas (almg.gov.br) > Acesso em 03 de Dezembro de 2021.

MORTON, F. I. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 66, p. 1–76, 1983a.

MORTON, F. I. Operational Estimates of Lake Evaporation. **Journal of Hydrology**, v. 66, p. 77–100, 1983b.

MORTON, F. I.; RICARD, F.; FOGARASI, S. **Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – program WREVAP**. Ottawa, Canada: National Hydrology Research Institute, 1985.

MUTTI, P. R. **Estimativa de Evapotranspiração sobre a bacia hidrográfica do rio Piranhas-açu utilizando dados de sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado, Natal, 2018, 118p.

NOVAIS, R. N. **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO REGIME HIDROLÓGICO DO SISTEMA CANTAREIRA**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016, 167p.

NÓBREGA, M. T; COLLISCHONN, W; TUCCI, C. E. M; PAZ, A. R. UNCERTAINTY IN CLIMATE CHANGE IMPACTS ON WATER RESOURCES IN THE RIO GRANDE BASIN, BRAZIL. **Hydrology and Earth System Sciences**. v.15, 2011, p.585-595.

OLIVEIRA, G. M; LEITÃO, M. De M. V. B. R; GALVÃO, C. O; LEITÃO, T. J. V. Estimativa e Análise do Uso do Coeficiente (K_p) do Tanque “CLASSE A” nas Regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, 2005, p.73-83.

OLIVEIRA, G. M.; SANTIAGO, E. J. P.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; ROCHA, R. C.; GONCALVES, I. S.; SILVA, R. R. Estimativa da evapotranspiração de referência para ambiente protegido. **Irriga - Edição Especial IRRIGA & INOVAGRI**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2017.

OLIVEIRA, T. A; TAVARES, C. M. G; SANCHES, F. O; FERREIRA, C. C. M. VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA-MG NO PERÍODO DE 1910-2018: INVESTIGAÇÃO A PARTIR DA TÉCNICA DO BOX PLOT. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, 2020, p.457-478.

OLIVEIRA, G. X. S. **Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Piracicaba, 2009, 102p.

OLIVEIRA, J.C.; LACERCA, A.K.G. Alterações na composição e distribuição longitudinal da ictiofauna na área de influência do reservatório de Chapéu d’Uvas, bacia do rio Paraíba do Sul (MG), pouco depois da sua implantação. **Revista Brasileira de Zootecias**, v.6, n.1, p.45-60, 2004.

OLIVEIRA, R. R. V. de M. Perda de água por evaporação em um pequeno reservatório do semiárido - 2017. 15 f.: il.

PALMER. W. C; HAVENS, A. V. A Graphical technique for determining Evapotranspiration by the Thornthwaite Method. **Monthly Weather Review**, 1958, v.86, p.123-128.

PEREIRA, Antônio Roberto. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. abr./ju, p. 311-313, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0006-87052005000200019&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt > DOI: 10.1590/s0006-87052005000200019.

PEREIRA. A. R; PRUITT, W. O. ADAPTATION OF THE THORNTHWAITE SCHEME

FOR ESTIMATING DAILY REFERENCE

EVAPOTRANSPIRATION. **Agricultural Water Management**. v.66, 2004, p. 251-257.

PEREIRA, C. S; TARGA, M. S; ALMEIDA, A. A. S. EVAPORAÇÃO LÍQUIDA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, 2019, 7p. Disponível em: <https://www.bing.com/search?q=EVAPORA%C3%87%C3%83O+L%C3%8DQUIDA+EM+RESERVAT%C3%93RIOS+ARTIFICIAIS&cvid=467231d79eb444acb21ccefef0657139&aqs=edge.0.69i59.1036j0j1&pglt=43&FORM=ANNTA1&PC=DCTS>. Acesso em: 25/02/2021.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no Lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004, 123p.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.

PERTILLE, I; LANZER, R. TURISMO EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS – UMA REFLEXÃO SOBRE O MÚLTIPLO USO E OS POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS. In IV SeminTUR – Seminário de Pesquisa em Turismo do MERCOSUL, Caxias do Sul, 2006, 11p.

PORTO, R. L; PORTO, M. F. A; PALERMO, M. A ressurreição do volume morto do Sistema Cantareira na Quaresma. **Revista DAE**, n.197, São Paulo, 2014, p.18-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.131>

RODRIGUES, A. L; VILLA, P. M; MATA, R. A; MARTORANO, L. G. BALANÇO HÍDRICO DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA MATA ATLÂNTICA: IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, 2020, p.614-628.

RODRIGUES, M.L.G.; CANÔNICA, E. Análise preliminar do impacto do reservatório de Itá no clima local. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.

ROQUE, R.O.; SANSIGOLO, C.A. Estimativas de Evaporação do Lago de Taquaruçu, SP pelo Modelo Conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6 n.1 Jan/Mar 2001, 21-28.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. **Acta Amazonica**, vol. 35 n.1, 2005.

SANCHES, F.O.; BIAVATTI, A.; SOUZA, D.O.; SILVA, R.V.; FERREIRA, R.V. Chuvas e Marcelino Ramos (RS): influência do lago da UHE de Itá ou do ENOS? **Revista Ciências Humanas**, Viçosa, v.15, n.2, p.338-348, 2015.

SANCHES, F.O.; FERRAZO, S.T., SILVA, R.V., CHECHI, L., FERREIRA, R.V. Influence o the Hydroelectric Power Plant of Passo Fundo Lake (RS, Brazil) on local rainfall pattern. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v.20, 2017.

SANCHES, F.; ROCHA, V.M.; FERREIRA, C.C.M; OLIVEIRA, T. A.; FRAUCHES, M.S.; VIEIRA, A.T.; SOALHEIRO JUNIOR, G. PCH Autódromo (RS): um estudo sobre a umidade relativa do ar no entorno de seu reservatório hídrico. **Caminhos de Geografia**, v. 23, p. 424-439, 2022.

SANTOS, L. F; GARCIA, S. R. Início e Fim da Estação Chuvosa em Minas Gerais: Comparação de Duas Metodologias Diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31, n.1, 2016, p 92-104.

SIEFERT, C. A. C.; NETTO, N. D.; MARANGON, F. H. S.; SCHULTZ, G. B.; dos REIS SILVA, L. M.; FONTENELLE, T. H.; dos SANTOS, I. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 689-701, 2021.

SENTELHAS, P. C; SANTOS, D. L; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Revista Ambiente e Água**, v.3, n.3, 2008, p.28-42.

SILVA FILHO, V.; RABELO, J.K.L. Detecção de possíveis diferenças ocorridas no comportamento da atmosfera local, como consequência da introdução do lago Castanhão no estado do Ceará. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Gramado-RS, 2012.

SHADMANI, M; MAROFI, S; ROKNIAN, M. TREND ANALYSIS IN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION USING MANN-KENDALL AND SPEARMAN'S RHO TESTS IN ARID REGIONS OF IRAN. **Water Resource Management**, v.26, 2012, p.211-224.

SCHUSTER, R. C; FAN, F. M; COLLISCHONN, W. SCENARIOS OF CLIMATE CHANGE EFFECTS IN WATER AVAILABILITY WITHIN THE PATOS LAGOON BASIN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.25, e.9, 2020, 15p.

SOARES, L. L; BURIOL, G. A; ESTEFANEL, V. PERDA D'ÁGUA POR EVAPORAÇÃO EM REPRESAS E LAGOS NA REGIÃO DE SANTA MARIA, RS. **Disciplinarum Scientia**, v.16, n.1, Santa Maria, 2015, p.33-44.

SOUSA, M. C. L; MEIRELES, A. C. M; FÉ, M. M. M. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DE GRANDES BACIAS HIDROGRÁFICAS NO CEARÁ. In X Encontro Nacional da ANPPAS, **Anais...** Campinas, 2021, 18p.

SOUZA, M.B.; GALVANI, E. Formação de reservatórios e influências no microclima: estudo da cidade de Presidente Epitácio, Estado de São Paulo, Brasil. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Anais...** Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, 8 (1), 104-114, 1955.

VIEIRA, N. P. A. **ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS DE TRÊSMARIAS – MG E SOBRADINHO – BA**. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa, 2015, 111p.

VIEIRA, N.P.A.; PEREIRA, S.B.; MARTINEZ, M.A.; DA SILVA, D.D.; SILVA, F.B. Estimativa da evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias usando

diferentes modelos. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural, Engineering**, v.36, n.3, p.433-448, mai./jun. 2016.

VILLA NOVA, N. A; MIRANDA, J. H; PEREIRA, A. B; OLIVEIRA, K. Estimation of Evapotranspiration by a simplified Penman-Method. **Engenharia Agrícola**, v.26, Jaboticabal, 2006, p.713-721.

WANG, Z. Y., LEE, J. H. W., MELCHING, C. S. **River dynamic and integrated River management**. Springer Heidelberg Dordrecht London NY, 2015. 855p.