

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **COMPARAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO EM VITÓRIA-ES: ANÁLISE ENTRE 1991-2021 E 1994-2023**

*Luca Emanuel da Cunha Costa<sup>1</sup>; Jéssica Macedo Duarte<sup>2</sup>; Marcos Ribeiro de Alcântara<sup>3</sup>; Dhenny Costa da Mota<sup>4</sup>; Isadora Pereira<sup>5</sup>; Henrique Takeda Barbosa<sup>6</sup>; Gercino Ulisses Bonfim Pimenta; Antonio Fabio Silva Santos<sup>7</sup>; Aloha Soutif<sup>8</sup>; Thomas Lascaux<sup>9</sup>*

**Abstract:** The climatological water balance (CWB) is a fundamental tool for understanding water dynamics in specific regions, assisting in water resource management in the face of climate change. This study presents and compares CWB results for Vitória, ES, between 1991–2020 and 1994–2023. Temperature and precipitation data from INMET/BDMEP were used, processed to calculate potential evapotranspiration (Thornthwaite, 1948) and the CWB (Thornthwaite and Mather, 1955), using a water holding capacity (WHC) of 100 mm. For the 1994–2023 period, the average annual precipitation was 1,381.79 mm, while the potential evapotranspiration remained around 1,399.83 mm. It was observed that, throughout the year, the water deficit (139.44 mm) predominates from January to September, reaches balance in October, and turns into a surplus (121.40 mm) between November and December, highlighting the strong seasonality of the water regime. Thus, when comparing the two water balances, the consistency of Vitória's water regime and the effectiveness of the methodology used for the analysis and management of water resources in the face of climate challenges were confirmed.

#### **Resumo:**

O balanço hídrico climatológico (BHC) é ferramenta fundamental para compreender a dinâmica da água em regiões específicas, auxiliando na gestão de recursos hídricos frente às mudanças climáticas. Este estudo apresenta e compara resultados do BHC em Vitória, ES, entre 1991-2020 e 1994-2023. Utilizaram-se dados de temperatura e precipitação do INMET/BDMEP, processados para cálculo da evapotranspiração potencial (Thornthwaite, 1948) e do BHC (Thornthwaite e Mather, 1955), com capacidade de armazenamento disponível (CAD) de 100 mm. Para o intervalo de 1994–2023, a precipitação anual média foi de 1.381,79 mm, enquanto a evapotranspiração potencial permaneceu em torno de 1.399,83 mm. Observou-se que, ao longo do ano, o déficit hídrico (139,44 mm) predomina de janeiro a setembro, alcança o equilíbrio em outubro e transforma-se em superávit (121,40 mm) entre novembro e dezembro, evidenciando a forte sazonalidade do regime hídrico. Assim, ao comparar os dois balanços hídricos, constatou-se a

<sup>1</sup>Bolsista (PIBITI/CNPQ) Laboratório de Hidráulica e Climatologia, IFNMG, Fazenda São Geraldo, Bom Jardim, Januária - MG; (31)9.95931852; [ledcc@aluno.ifnmg.edu.br](mailto:ledcc@aluno.ifnmg.edu.br)

<sup>2</sup>Bolsista (PIBIC/FAPEMIG) Laboratório de Hidráulica e Climatologia, IFNMG Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; (38) 9.92268685; [jmd2@aluno.ifnmg.edu.br](mailto:jmd2@aluno.ifnmg.edu.br)

<sup>3</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000;

<sup>4</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000; [dcdm@aluno.ifnmg.edu.br](mailto:dcdm@aluno.ifnmg.edu.br)

<sup>5</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000;

<sup>6</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000;

<sup>7</sup>Docente, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) - campus Januária; [antonio.santos@ifnmg.edu.br](mailto:antonio.santos@ifnmg.edu.br);

<sup>8</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000;

<sup>9</sup>Fazenda São Geraldo, S/N Km 06 - 39480-000 - Bom Jardim, Januária - MG; 39480-000;

consistência do regime hídrico de Vitória e a eficácia da metodologia empregada para a análise e gestão dos recursos hídricos frente aos desafios climáticos.

**Palavras-Chave** – Normais Climatológicas; Thornthwaite e Mather; Gestão de Recursos Hídricos.

## 1.0 INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade, o clima tem exercido uma influência significativa no comportamento humano, na distribuição populacional e nas transformações da paisagem (Pinto, 2022). A observação das características climáticas, portanto, é de suma importância para a sociedade como um todo. No entanto, a partir da década de 2000, a vulnerabilidade do clima tornou-se uma preocupação crescente, especialmente diante das mudanças climáticas globais, impulsionadas por atividades naturais e antrópicas (Inmet, 2022).

Com o avanço dos instrumentos meteorológicos e o estabelecimento de estações de observação, a meteorologia moderna tem se concentrado em análises estatísticas de variáveis isoladas, como temperatura, precipitação, umidade e velocidade dos ventos. Essa abordagem, embora valiosa, tem sido criticada por se resumir a uma mera meteorologia estatística, conforme apontado por Thornthwaite (1948).

A climatologia, por sua vez, vai além, estudando a variabilidade climática e os extremos meteorológicos, além de suas influências em setores cruciais para a segurança e o bem-estar humano, como o agronegócio, meio ambiente e geração de energia (INMET, 2022). No entanto, ainda existem lacunas significativas no entendimento de como essas variáveis interagem e afetam o balanço hídrico de uma região.

É aqui que o balanço hídrico climatológico (BHC) se destaca como uma ferramenta agrometeorológica essencial. Desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), o BHC permite determinar o regime hídrico de uma região sem a necessidade de medições diretas do solo, avaliando a disponibilidade de água para as plantas e identificando períodos de excesso ou déficit hídrico (Tremocoldi et al., 2008). Apesar de sua importância, a aplicação do BHC ainda enfrenta desafios, como a necessidade de dados precisos sobre a capacidade de água disponível (CAD), precipitação total (P) e evapotranspiração potencial (ETp).

Este trabalho teve por objetivo apresentar e comparar os resultados do balanço hídrico climatológico para o município de Vitória - ES, utilizando dados de dois intervalos distintos de normais climatológicas: 1991-2000 e 1994-2023. Essa análise busca não apenas preencher lacunas no conhecimento atual, mas também oferecer soluções práticas para a gestão hídrica em um contexto de mudanças climáticas.

## 2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com dados coletados no município de Vitória (ES), localizado no estado do Espírito Santo, Brasil, nas coordenadas geográficas aproximadas de 20°27' de latitude sul e 40°18' de longitude oeste. Vitória é caracterizada por uma variação de altitudes que vão desde o nível do mar, nas regiões litorâneas, até cerca de 300 metros nas áreas mais interiores do município, apresentando um relevo diversificado.

O clima da região é tropical, com uma temperatura média anual de aproximadamente 24,9°C. A precipitação média anual é de cerca de 1384 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, especialmente entre os meses de outubro e abril (INMET, 2025). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante em Vitória é do tipo Af, que se caracteriza por uma estação mais chuvosa no verão. Embora o inverno não apresente períodos de seca, há uma redução nos volumes de precipitação (Xavier et al., 2021).

Para a construção dos balanços hídricos climatológicos (BHC) e das normais climatológicas, foram utilizados dados mensais médios de temperatura máxima, mínima e média do ar, além da precipitação total mensal. Esses dados foram registrados pela estação meteorológica convencional de Vitória (código 83389), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As medições referentes à normal climatológica do período de 1991 a 2020 foram diretamente obtidas do site oficial do INMET, já tratados e organizados. Esses dados foram utilizados sem necessidade de processamento adicional. Para o intervalo de 1994 a 2023, as observações mensais foram obtidas através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP, 2025). Esses dados, já tabulados, foram organizados e processados com o auxílio de uma planilha eletrônica Excel®, permitindo a determinação dos valores mínimos, máximos e médios mensais (de janeiro a dezembro) de cada variável para o período analisado.

De acordo com os critérios estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2017), é aceitável a presença de lacunas (valores nulos) nos registros desde que estas permaneçam dentro de 80% do intervalo de tempo total e não ocorram consecutivamente por três anos. Durante o tratamento da série histórica (1994-2023), identificamos lacunas que atenderam a essas condições. Dessa forma, tais ausências foram desconsideradas na construção da normal climatológica e na elaboração do balanço hídrico climatológico (BHC), e os dados foram considerados aptos para representar a climatologia do local durante o período.

Após o tratamento dos dados e a construção das normais climatológicas, procedeu-se à elaboração dos balanços hídricos climatológicos para os períodos de interesse.

A evapotranspiração potencial (ETp) representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria nas condições térmicas de um mês padrão de 30 dias, com cada dia tendo 12 horas de fotoperíodo. Para calcular a ETp, optou-se pela equação de Thornthwaite (1948), devido à disponibilidade contínua de valores de temperatura média mensal e latitude durante o período analisado.

Com a ETp calculada, procedeu-se à estimativa do balanço hídrico climatológico (BHC), utilizando o método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955). Este método permitiu a apresentação gráfica do excesso, déficit e as alterações hídricas. Para o cálculo do BHC, foi adotado um valor de Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm, conforme recomendado pelos autores.

Os parâmetros hídricos mensais foram então determinados, incluindo a diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência (P-ETp), o negativo acumulado (NAC), o armazenamento de água no solo (ARM), a alteração (ALT), a evapotranspiração real (ETR), a deficiência hídrica (DEF) e o excesso hídrico (EXC). Esses parâmetros são descritos através das equações propostas no estudo de Thornthwaite e Mather (1955):

Por fim, realizou-se a comparação entre os valores obtidos para os diferentes parâmetros do balanço hídricos, utilizando a seguinte fórmula para calcular a variação percentual (Equação 1):

$$\text{Variação (\%)} = ((BH_{1994a2023} - BH_{1991a2020}) / BH_{1991a2020}) * 100 \quad (1)$$

Nesta análise, os valores referentes ao balanço hídrico de 1991-2020 foram considerados como BH1991a2020, enquanto os valores de 1994-2023 foram considerados como BH1994a2023. Os parâmetros avaliados incluíram precipitação, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, déficit hídrico e excesso hídrico.

### 3.0 RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados do Balanço Hídrico Climatológico de Vitória-ES no período entre 1991 e 2020. É possível observar uma precipitação média anual de 1384,4 mm e uma evapotranspiração potencial de 1399,83 mm anuais, evidenciando um déficit anual (136,38 mm/ano) superior ao excedente hídrico (104,09 mm/ano).

A Tabela 2 apresenta o balanço hídrico calculado para Vitória-ES no período de 1994 a 2023. Com valores anuais de precipitação de 1381,79 mm/ano e evapotranspiração potencial de 1399,83 mm/ano. Novamente há um déficit anual (139,44 mm/ano) superior ao excedente hídrico (121,40 mm/ano).

Tabela 1 - Balanço hídrico climatológico para o município de Vitória-ES no período entre 1991 e 2020.

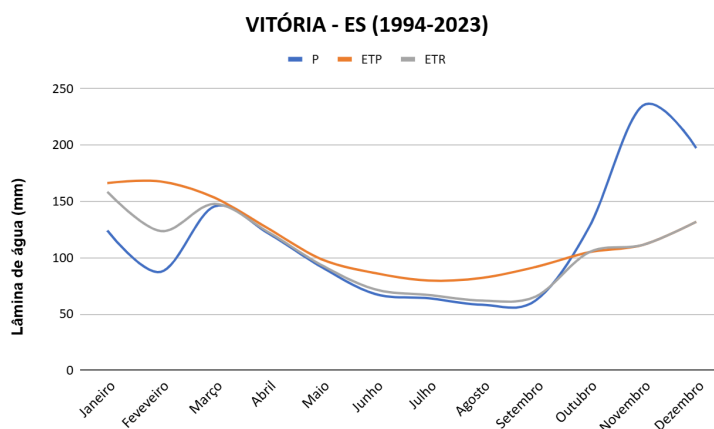
Meses	P (mm)	ETp (mm)	Tmed (C°)	P-ETP (mm)	NAC (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	131,20	166,32	27,12	-35,12	-35,12	70,39	-29,61	160,81	5,5	0,00
FEV	79,40	167,65	27,49	-88,25	-123,37	29,12	-41,26	120,66	46,99	0,00
MAR	139,50	153,35	27,13	-13,85	-137,22	25,36	-3,77	143,27	10,09	0,00
ABR	122,90	126,07	25,93	-3,17	-140,39	24,56	-0,79	123,69	2,38	0,00
MAI	92,40	98,63	24,03	-6,23	-146,62	23,08	-1,48	93,88	4,75	0,00
JUN	70,00	86,34	23,06	-16,34	-162,92	19,6	-3,48	73,48	12,86	0,00
JUL	67,50	79,68	22,5	-12,18	-175,15	17,35	-2,25	69,75	9,93	0,00
AGO	59,90	82,03	22,7	-22,13	-197,28	13,91	-3,45	63,35	18,69	0,00
SET	63,10	91,76	23,5	-28,66	-225,94	10,44	-3,46	66,56	25,19	0,00
OUT	123,90	104,85	24,49	19,05	-206,89	12,63	2,19	104,85	0,00	0,00
NOV	233,60	111,28	24,94	122,32	0,00	100,00	87,37	111,28	0,00	34,95
DEZ	201,00	131,86	26,29	69,14	0,00	100,00	0,00	131,86	0,00	69,14
<b>TOTAIS</b>	<b>1384,40</b>	<b>1399,83</b>	<b>299,19</b>	<b>-15,43</b>	<b>-1550,93</b>	<b>446,44</b>	<b>0,00</b>	<b>1263,45</b>	<b>136,38</b>	<b>104,09</b>
<b>MÉDIAS</b>	<b>115,37</b>	<b>116,65</b>	<b>24,93</b>	<b>-1,29</b>	<b>-129,24</b>	<b>37,20</b>	<b>0,00</b>	<b>105,29</b>	<b>11,36</b>	<b>8,67</b>

Tabela 2 - Balanço hídrico climatológico para o município de Vitória-ES no período de 1994 a 2023.

Meses	P (mm)	ETp (mm)	Tmed (C°)	P-ETP (mm)	neg. acum (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	124,14	166,31	27,12	-42,18	-42,18	65,59	-34,41	158,55	7,76	0,00
FEV	87,39	167,65	27,49	-80,26	-122,44	29,39	-36,19	123,58	44,07	0,00
MAR	145,57	153,35	27,13	-7,80	-130,22	27,19	-2,20	147,77	5,58	0,00
ABR	121,76	126,07	25,93	-4,31	-134,53	26,05	-1,15	122,91	3,17	0,00
MAI	91,70	98,63	24,03	-6,93	-141,46	24,30	-1,74	93,44	5,19	0,00
JUN	67,78	86,34	23,06	-18,56	-160,02	20,18	-4,12	71,90	14,44	0,00
JUL	63,99	79,68	22,50	-15,69	-175,72	17,25	-2,93	66,92	12,76	0,00
AGO	58,21	82,03	22,70	-23,82	-199,54	13,60	-3,66	61,87	20,17	0,00
SET	61,95	91,75	23,50	-29,81	-229,35	10,09	-3,50	65,45	26,30	0,00
OUT	126,98	104,85	24,49	22,13	-207,22	32,22	22,13	104,85	0,00	0,00
NOV	234,95	111,27	24,94	123,67	0,00	100,00	65,78	101,28	0,00	55,89
DEZ	197,37	131,86	26,29	65,51	0,00	100,00	0,00	131,86	0,00	65,51
<b>TOTAIS</b>	<b>1381,79</b>	<b>1399,83</b>	<b>299,19</b>	<b>-18,04</b>	<b>-1542,67</b>	<b>465,87</b>	<b>0,00</b>	<b>1260,39</b>	<b>139,44</b>	<b>121,40</b>
<b>MÉDIAS</b>	<b>115,15</b>	<b>116,65</b>	<b>24,93</b>	<b>-1,05</b>	<b>-128,56</b>	<b>38,82</b>	<b>0,00</b>	<b>105,03</b>	<b>11,62</b>	<b>10,12</b>

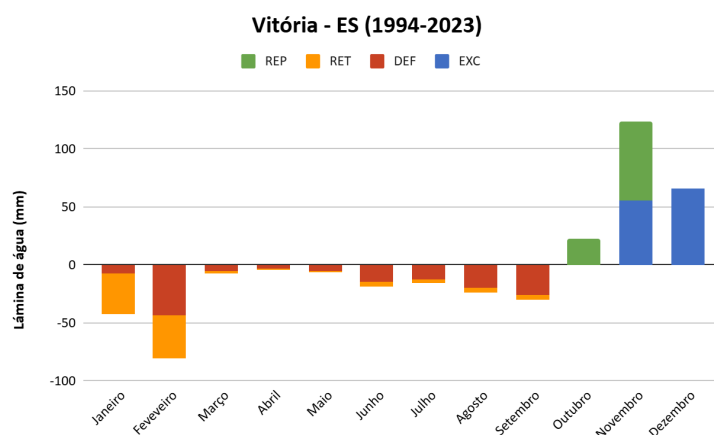
A Figura 1 mostra que durante o período entre 1994 e 2023 houve frequência de precipitação em Vitória ao longo de todo o ano, porém chove abaixo dos 100 mm mensais entre maio a setembro, retomando níveis mais elevados apenas a partir de outubro e se estendendo até abril. Nesse mesmo período a evapotranspiração potencial (ETP) supera a precipitação de janeiro a setembro, indicando um déficit hídrico persistente na maior parte do ano (Figura 1).

Figura 1 – Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Evapotranspiração Real (todos em mm) para Vitória-ES entre 1994 e 2023.



Na Figura 2 é possível observar que o balanço se equilibra em outubro ( $DEF = EXC = 0$  mm) e apresenta superávit hídrico ( $EXC$ ) de novembro a dezembro. O maior déficit ocorreu em fevereiro (44,07 mm), enquanto o maior excedente aconteceu em dezembro (65,51 mm).

Figura 2 – Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica (todos em mm) para Vitória-ES entre 1994 e 2023.



Embora sejam observadas reduções nos valores de precipitação anual (P), a comparação entre os balanços hídricos dos períodos de 1991–2021 e 1994–2023 não revela grande variação nos dados dessa variável (-0,19%). A Evapotranspiração Real (ETr) total anual apresentou um ligeiro decréscimo (-0,24%), enquanto a evapotranspiração potencial (ETp) permaneceu inalterada (0,00%). O déficit hídrico apresentou uma variação positiva discreta (+2,17%), enquanto o excedente hídrico teve um incremento de 16,63%.



Tabela 3- Variação percentual dos parâmetros do Balanço Hídrico Climatológico para o município de Vitória-ES em diferentes períodos.

Período analisado	P Anual (mm)	ETr total anual (mm)	ETp total anual (mm)	Déficit hídrico (mm)	Excedente hídrico (mm)
1991-2020	1384,40	1263,45	1399,83	136,48	104,09
1994-2023	1381,79	1260,39	1399,83	139,44	121,40
<b>Variação (%)</b>	-0,19	-0,24	0,00	+2,17	+16,63

Os resultados deste estudo evidenciam que, embora a precipitação ocorra durante todo o ano em Vitória-ES, os balanços hídricos revelam prolongados períodos de déficit, que se estendem do verão até o final do inverno. Em contraste, o excedente hídrico foi observado apenas na primavera.

#### 4.0 CONCLUSÃO

A análise comparativa entre os balanços hídricos climatológicos (BHC) de 1991–2021 (INMET) e o calculado entre 1994–2023 para a região de Vitória-ES não revelou mudanças significativas nos resultados obtidos. A validação dos dados, utilizando as aferições propostas por Thornthwaite, confirmou a precisão do BHC para ambos os períodos.

A realização do BHC permite compreender o comportamento da água no solo em Vitória-ES, identificando claramente os períodos de excesso e deficiência hídrica. A análise mensal evidenciou uma forte sazonalidade no regime hídrico da região, com períodos prolongados de estresse hídrico que são interrompidos apenas no final do ano, quando chuvas mais intensas restabelecem o armazenamento do solo e geram excedentes.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) do IFNMG Campus Januária.

#### REFERÊNCIAS

- BORGES, P. H. M. et al. (2023). “Balanço hídrico climatológico normal na microrregião do Alto Teles Pires - MT”. *Brazilian Applied Science Review*, 7(2), pp. 429–447.
- CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather. *Bragantia*, Campinas, v.52, p.169- 172, 1993.
- FERREIRA, Heitor Renan; TRES, Andressa; TETTO, Alexandre França; SOARES, Ronaldo Viana; WENDLING, William Thomaz; BATISTA, Antonio Carlos. Classificação climática para o estado de Minas Gerais segundo as zonas de vida de Holdridge. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, [S. l.], v. 7, n. 2, 2019.
- FERREIRA, Heitor Renan; TRES, Andressa; TETTO, Alexandre França; SOARES, Ronaldo Viana; WENDLING, William Thomaz; BATISTA, Antonio Carlos. Classificação climática para o estado de Minas Gerais segundo as zonas de vida de Holdridge. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, [S. l.], v. 7, n. 2, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Disponível em . Acesso em: 3 abr. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2023). *Normais Climatológicas do Brasil (1991–2020)*. Brasília – DF: INMET.

OMM, Organização Meteorológica Mundial. (2017). “WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals”, WMO-TD No. 1203, Genebra, Suíça.

PINTO, J. E. S. de S. O clima local de Aracajú-SE. In: SANTANANETO, J. L. Org. O clima das cidades brasileiras. Presidente Prudente. 2002

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W; MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, v.8, n. 1, p. 1-104, 1955.

TREMOCOLDI, W. A.; BRUNINI, O. Caracterização agroclimática das unidades da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo: Capão Bonito e região. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008.30p. (Série Tecnologia APTA, Boletim Técnico IAC, 205)