

# BALANÇO HÍDRICO DE CUIABÁ UTILIZANDO MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR TEMPERATURA

*Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>; Alexandre Silveira<sup>2</sup>*

**RESUMO** – O balanço hídrico identifica os períodos de excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantifica as deficiências hídricas para cultivos agrícolas, geração de energia elétrica, abastecimento humano, recarga de aquíferos, entre outros. O objetivo deste trabalho foi o de apresentar um estudo de balanço hídrico utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura. A coleta dos dados ocorreu no ano de 2007, na estação climatológica do INMET do município de Cuiabá/MT, localizada na latitude 15°37'S e longitude 56°06'W e a uma altura de 145 metros acima do nível do mar. Como resultados são apresentados gráficos do comportamento dos diferentes métodos de evapotranspiração estudados e as respectivas análises detalhadas dos diferentes componentes dos balanços hídricos calculados. Conclui-se que, para os dados climatológicos da região de Cuiabá, a metodologia para estimativa de evapotranspiração a ser selecionada possui grande influência no resultado final de cálculos de excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada.

**ABSTRACT** – The water balance identifies periods of excess or shortage of water and especially quantifying the water deficit for crops, power generation, water supply for humans, aquifer recharge, among others. The objective was to present a study of water balance using six different methods of estimating evapotranspiration by temperature. Data collection occurred in 2007, the INMET climatological station in the city of Cuiaba/MT, located at latitude 15°37'S and longitude 56°06'W and an altitude of 145 meters above sea level. Results are presented graphs of the behavior of different methods of evapotranspiration studied and their detailed analysis of the different components of water balance calculated. It is concluded that for the climatological data from the region of Cuiaba, the methodology for estimating evapotranspiration to be selected has great influence on the final result of calculations of water surplus, reinstatement, disability, removal, precipitation and potential evaporation estimated.

**Palavras-chave:** Thornthwaite, Kharrufa, Hamon.

---

<sup>1</sup> Engº, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM – Ministério de Minas e Energia - Rua 148, nº485 - Setor Marista Goiânia - CEP 74170-110, Tel.:(62) 3240-1434 – Goiânia/GO. [fmarcuzzo@go.cprm.gov.br](mailto:fmarcuzzo@go.cprm.gov.br).

<sup>2</sup> Engº, Professor Doutor, UNIFAL/Poços de Caldas/MG, BR-267, km 533, CEP 37706-000. [alexandresilveira@ufmt.br](mailto:alexandresilveira@ufmt.br).

## 1 - INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos disponíveis no Brasil são abundantes, mas nem sempre bem distribuídos e estudados nas diferentes regiões do país. Trata-se de melhor distribuí-los no espaço e no tempo, e principalmente de preservá-los planejando e projetando de forma a aperfeiçoar os sistemas de aproveitamento de recursos hídricos. Para isto, deve-se em primeiro lugar conhecer-se a hidrologia de sistemas. Deve-se antes de tudo observar os fenômenos hidrológicos peculiares às bacias em estudo e a partir dos dados observados, elaborarem estudos compreensivos de forma a caracterizar e prever seu comportamento objetivando a sua melhor utilização (Swami & Mattos, 1975).

Em ambiente de múltiplos usos, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão; entretanto, as incertezas hidrológicas, as variações das demandas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos (Carvalho *et al.*, 2009).

Medeiros 2002, em um projeto de irrigação a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) é a variável mais importante, pois indica a quantidade de água a ser repostada a cultura de modo a garantir um retorno satisfatório ao produtor. O mesmo autor também cita que, sendo a ET<sub>c</sub> função da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), a determinação desta passa a ser importante nos projetos, no planejamento e no manejo da irrigação.

De acordo com Pereira *et al.* (1997) o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento de perda da água do solo e resulta da aplicação do princípio de conservação da massa em um volume de solo vegetado. A variação do armazenamento representa o balanço entre as entradas (precipitação) e saídas (evaporação e transpiração) de água do volume de controle, em um intervalo de tempo. Os resultados de evapotranspiração, precipitação e o respectivo balanço hídrico podem ser utilizados no zoneamento agro climático, na determinação da demanda hídrica potencial das culturas irrigadas, no planejamento da pesquisa e para identificar o regime hídrico de uma região (Aguilar *et al.*, 1986).

Mello *et al.* (1996) averiguaram que existem entre 50 a 60 equações para a simulação da evapotranspiração. As equações são baseadas em dados meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Como constatou Bernardo *et al.* (2005) alguns dos métodos mais precisos são de difícil aplicação, não só pela complexidade dos cálculos, mas, também, por exigirem um grande número de dados meteorológicos, nem sempre disponíveis.

O objetivo deste trabalho foi o de apresentar um estudo do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura. Executa-se, no final do trabalho, uma análise dos resultados

com base no princípio de conservação de massa, de modo a se aferir se a metodologia de estimativa de evapotranspiração se enquadrou no balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955).

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Dados utilizados e a localização da estação climatológica

A coleta dos dados climatológicos (Tabela 1) ocorreu no ano de 2007, no município de Cuiabá/MT, na estação climatológica do INMET, localizada na latitude 15°37'S e longitude 56°06'W e a uma altura de 145 metros acima do nível do mar.

Tabela 1 - Dados climatológicos da estação climatológica do INMET de Cuiabá, em 2007.

Mês	T <sub>máxima</sub>	T <sub>mínima</sub>	T <sub>média</sub>	UR	u <sub>2</sub>	n	n	E <sub>Piche</sub>	P
	----- °C -----	----- °C -----		%	m.s <sup>-1</sup>	h.mês <sup>-1</sup>	h.dia <sup>-1</sup>	----- mm.mês <sup>-1</sup> -----	
Jan	36,2	22,9	27,6	78,7	1,2	149,9	4,8	134,0	266,3
Fev	36,4	21,0	26,9	80,0	1,2	131,5	4,5	124,0	315,7
Mar	36,8	21,3	27,4	76,5	1,0	227,2	7,3	89,0	174,3
Abr	36,7	19,7	27,4	74,4	1,1	229,0	7,6	117,1	140,4
Mai	35,7	10,9	23,6	74,8	1,0	238,7	7,7	116,0	31,1
Jun	35,6	15,3	23,9	71,6	1,1	78,5	2,6	166,7	0,4
Jul	36,1	11,1	23,5	65,9	1,7	223,9	7,2	156,0	22,8
Ago	38,5	11,7	24,2	58,5	1,5	245,0	7,9	184,8	0,0
Set	40,4	12,4	28,6	53,0	1,0	159,1	5,3	208,6	5,0
Out	39,8	20,3	28,2	68,0	1,2	143,0	4,6	169,2	188,2
Nov	36,6	21,9	27,1	76,8	1,5	168,2	5,6	123,3	285,2
Dez	35,4	20,3	27,1	77,0	1,3	197,7	6,4	122,1	188,7

UR - Umidade relativa média diária; u<sub>2</sub> - Velocidade do vento média diária a 2m de altura; n - Número de horas de insolação; E<sub>Piche</sub> - Evaporação pelo evaporímetro de Piche; P - Precipitação.

O clima do município de Cuiabá é do tipo tropical quente e úmido. As chuvas se concentram de outubro a abril, enquanto que no restante do ano as massas de ar seco sobre o centro do Brasil dificultam as formações de chuvas. A precipitação anual do ano de 2007 foi 1.618mm, com intensidade máxima em fevereiro, com 315,7mm. A temperatura máxima média, em 2007, chegou a 37,0°C. A temperatura mínima média em julho, o mês mais frio, foi de 11,1°C.

### 2.2 - Metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura

#### 2.2.1 - Thornthwaite (1948)

O método correliona informações de latitude e mês do ano com a variável temperatura e possibilita a estimativa da evapotranspiração com a seguinte equação:

$$ETP = Fc 16 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad (1)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial para meses de 30 dias e comprimentos de 12 horas ( $\text{mm.mês}^{-1}$ );  $T$  – temperatura média mensal do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $Fc$  – fator de correção em função da latitude e mês do ano (Quadro 1);

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514} \quad (2)$$

$$a = 67,5 \cdot 10^{-8} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-6} I^2 + 0,01791 I + 0,492 \quad (3)$$

em que,  $T$  – média das temperaturas dos meses analisados ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_i$  – temperatura média do mês ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Quadro 1 - Fator de correção para a evapotranspiração potencial de Thornthwaite em função da latitude 15 e mês do ano (Tucci *et al.*, 2004 - Pág. 286).

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12

Berlato & Molion (1981) citam que em regiões onde o clima difere daquele onde a equação foi desenvolvida, os resultados obtidos não são satisfatórios. Pressupõe-se que isso ocorra porque o método não contempla explicitamente a umidade do ar. Assim, deve-se ter muita cautela ao utilizar este método, particularmente em climas de verões úmidos e invernos secos. Apesar de tudo, a equação de Thornthwaite ganhou popularidade mundial, mais pelo fato de necessitar somente de dados de temperatura do ar, informação disponível em grande número de estações meteorológicas, do que pela sua precisão.

### 2.2.2 - Blaney-Criddle (1950)

Descrito por Kijne (1978), este método foi desenvolvido originalmente para estimativas de uso consultivo em regiões semi-áridas, baseado na suposição de que a disponibilidade de água para a planta em crescimento não é um fator limitante. A equação é apresentada a seguir:

$$ETP = (0,457 T + 8,13)p \quad (4)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  – temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $p$  – porcentagem diária de horas de luz, tabulada no Quadro 2 (Tucci *et al.*, 2004).

Quadro 2 - Proporção média diária ( $p$ ) de horas de luz na latitude 15 (Tucci *et al.*, 2004 - Pág. 286).

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29

### 2.2.3 - Hamon (1961)

O método desenvolvido por Hamon (1961) é expresso pela equação abaixo:

$$ETP = 0,55 \left( \frac{N}{12} \right)^2 \left( \frac{4,95 \exp^{0,062 T}}{100} \right) 25,4 \quad (5)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  – temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $N$  – insolação máxima diária teórica em função da latitude e época do ano, calculada pela seguinte equação:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (6)$$

em que,  $\omega_s$  é o ângulo horário do pôr do sol (radianos), obtido por:

$$\omega_s = \arccos \left[ -tg(\varphi) \cdot tg(\delta) \right] \quad (7)$$

em que,  $\varphi$  – latitude local (radianos);  $\delta$  – declinação solar (radianos), localizado pela equação:

$$\delta = 0,4093 \text{sen} \left( \frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (8)$$

em que,  $J$  é a ordem dos dias do calendário Juliano no ano (1 a 365 ou 366).

### 2.2.4 - Linacre (1977)

A evapotranspiração pelo método de Linacre (1977) é obtida pela seguinte equação:

$$ETP = \frac{700 \frac{(T + 0,006z)}{100 - \varphi} + 15(T - T_d)}{(80 - T)} \quad (9)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  – temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $z$  – altitude do local, (m);  $\varphi$  – latitude do local (graus);  $T_d$  – temperatura de ponto de orvalho, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.2.5 - Hargreaves-Samani-T (1985)

O modelo proposto por Hargreaves & Samani (1982; 1985) para estimar a evapotranspiração considera as variáveis latitude, temperatura diária máxima, média e mínima, e é expresso pela seguinte equação:

$$ETP = 0,0023(T + 17,8)(T_{\max} - T_{\min})^{0,5} R_a \quad (10)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  – temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\max}$  – temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\min}$  – temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $R_a$  – radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ), obtida por:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[ \cos(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s) \right] \quad (11)$$

em que,  $G_{sc}$  – constante solar = 0,0820 (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>);  $d_r$  – distância relativa do Sol a Terra (radianos), cuja equação é:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (12)$$

### 2.2.6 - Kharrufa (1985)

O método desenvolvido por Kharrufa (1985), a partir da relação entre evapotranspiração e a porcentagem de insolação máxima diária, é descrito segundo a equação:

$$ETP = 0,34 p T^{1,3} \quad (13)$$

em que,  $ETP$  – evapotranspiração potencial (mm.d<sup>-1</sup>);  $p$  – porcentagem diária de horas de luz, tabulada no Quadro 2 (Tucci *et al.*, 2004);  $T$  – temperatura média diária do ar (°C).

### 2.3 - Balanço hídrico pela metodologia de Thornthwaite-Matter (1955)

Thornthwaite e Matter (1955) desenvolveram o balanço hídrico climatológico para determinar o regime hídrico de um local, sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir, para uma determinada região ou local a Capacidade de Água Disponível (CAD) no solo, os valores de Precipitação ( $P$ ) e Evapotranspiração ( $ET$ ) para um período considerado. Com essas informações básicas, a metodologia permite estimar, para o mesmo período, o Armazenamento da Água no solo ( $ARM$ ), a Evapotranspiração Real ( $ER$ ), Deficiência ( $DEF$ ) e Excedente Hídrico ( $EXC$ ) (Ometto, 1981; Pereira *et al.*, 1997). Toda a metodologia utilizada neste estudo é descrita em Thornthwaite e Matter (1955) e Pereira *et al.*, (1997).

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 - Evapotranspiração

Observando-se as curvas de evapotranspiração (Figura 1), no decorrer dos meses do ano de 2007, nota-se que tanto nos meses mais chuvosos (Tabela 1), que vai de outubro a abril, como no período seco, que vai de maio a setembro, o método Kharrufa (1985) obteve os maiores valores de evapotranspiração. Neste método de estimativa de evapotranspiração, além da temperatura, tem maior peso a quantidade de horas de luz durante o dia (equação 13), o que pode ser observado pela Tabela 1. O método que, em média, obteve os maiores valores de estimativa de evapotranspiração depois de método Kharrufa (1985), foi o de Blaney-Criddle (1950), que também usa a quantidade de horas de luz durante o dia e a temperatura (equação 4), contudo, este método foi desenvolvido para regiões com baixa temperatura e pouca pluviosidade (Kijne, 1978).

O método que, em média, obteve os menores valores de estimativa de evapotranspiração para os meses chuvosos, de outubro a abril (Tabela 1), foi o método Linacre (1977), que além da X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

temperatura média do ar leva em consideração a temperatura do ponto de orvalho, a altitude e a latitude do local (equação 9). Já nos meses mais secos, de maio a setembro (Tabela 1), o método de Hamon (1985), em média, obteve os menores valores de estimativa de evapotranspiração, sendo que este método, além da temperatura utiliza a insolação máxima diária teórica em função da latitude e época do ano (equação 5).

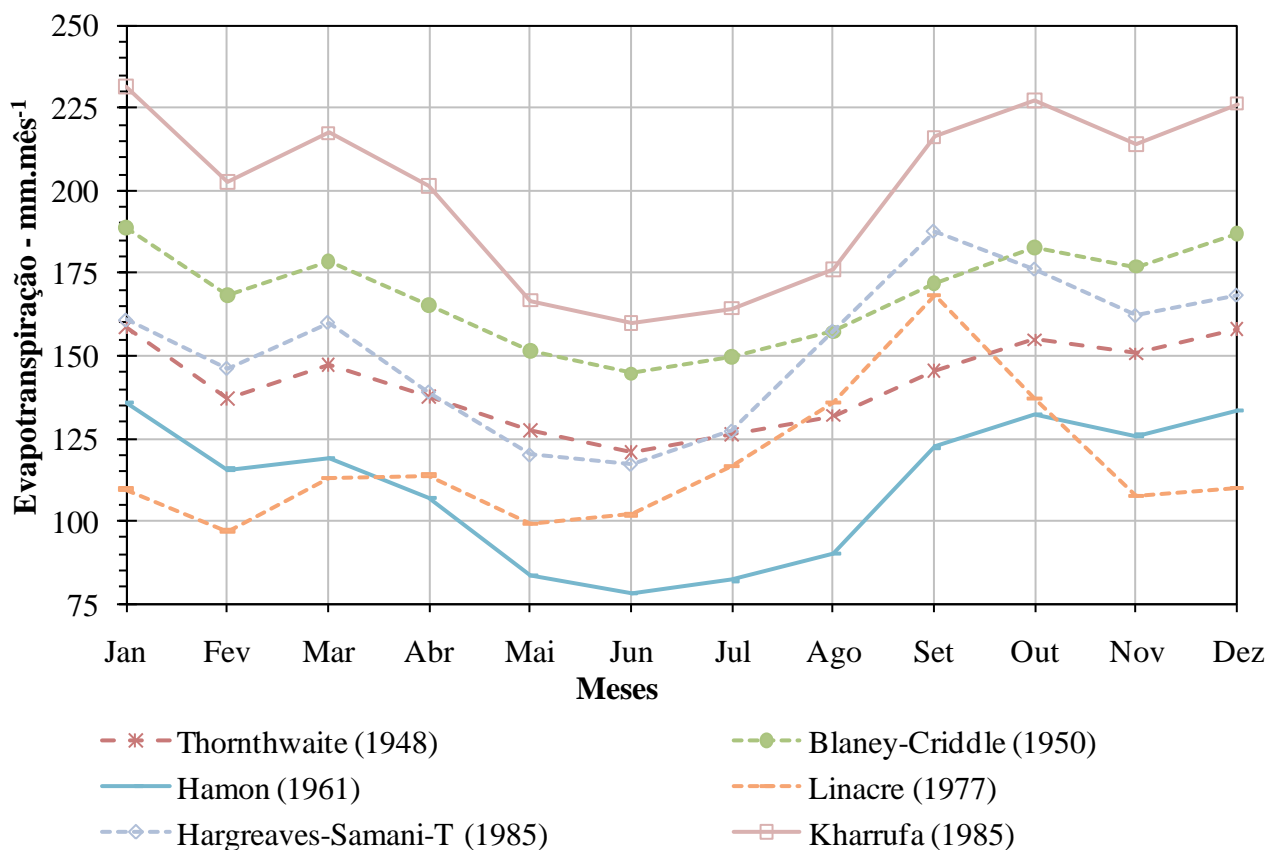


Figura 1 – Evolução das estimativas de evapotranspiração mensal, em Cuiabá, no ano de 2007.

### 3.2 - Balanço hídrico

A implicação de grande importância, nos gráficos analisados a seguir, é a deficiência de água, que, por exemplo, pode causar problemas para o abastecimento urbano e/ou agricultura, e o excesso de água, que, por exemplo, pode fomentar a recarga de aquífero.

São apresentados para cada método de estimativa de evapotranspiração estudado, de forma complementar, três tipos diferentes de gráfico. O primeiro mostra o extrato simples do balanço hídrico, ou seja, se há deficiência ou excedente hídrico no decorrer do ano. O segundo mostra a precipitação, evapotranspiração potencial estimada pelos diferentes métodos estudados e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo. No terceiro obtém-se o excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e a evapotranspiração potencial estimada.

### 3.2.1 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Thornthwaite (1948)

Analisando as Figuras 2, 3 e 4 nota-se que a grande influencia no extrato do balanço hídrico, calculada pela evapotranspiração por Thornthwaite (1948), foi provocada pela baixa pluviosidade (Tabela 1, Figuras 3 e 4), entre os meses de maio a setembro.

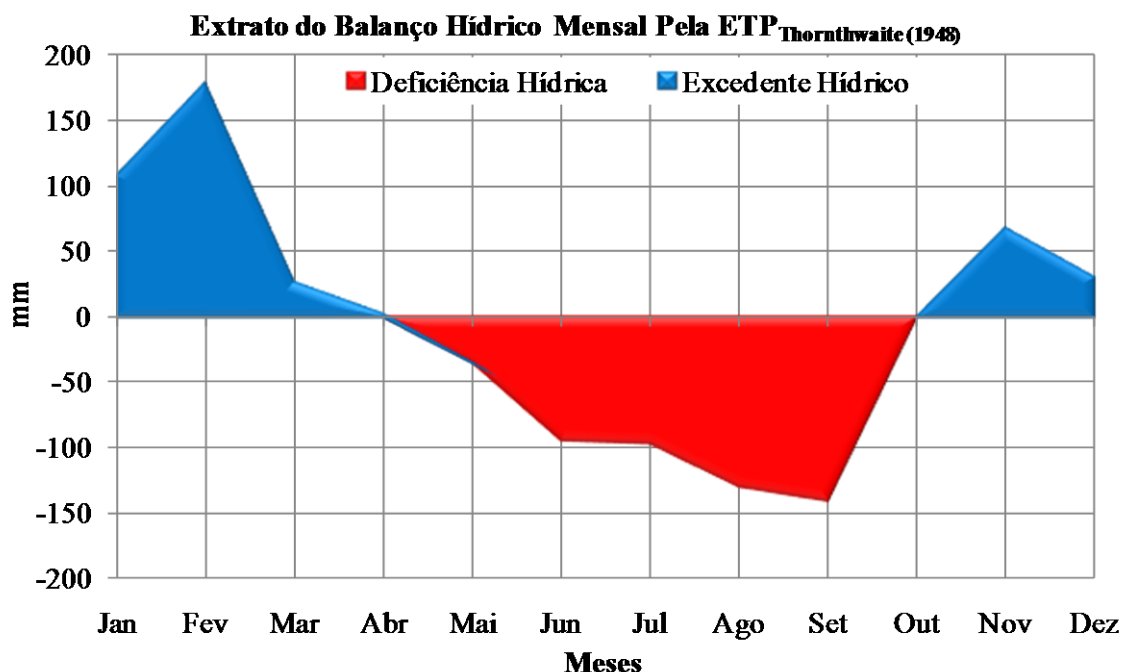


Figura 2 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948), para o ano de 2007.

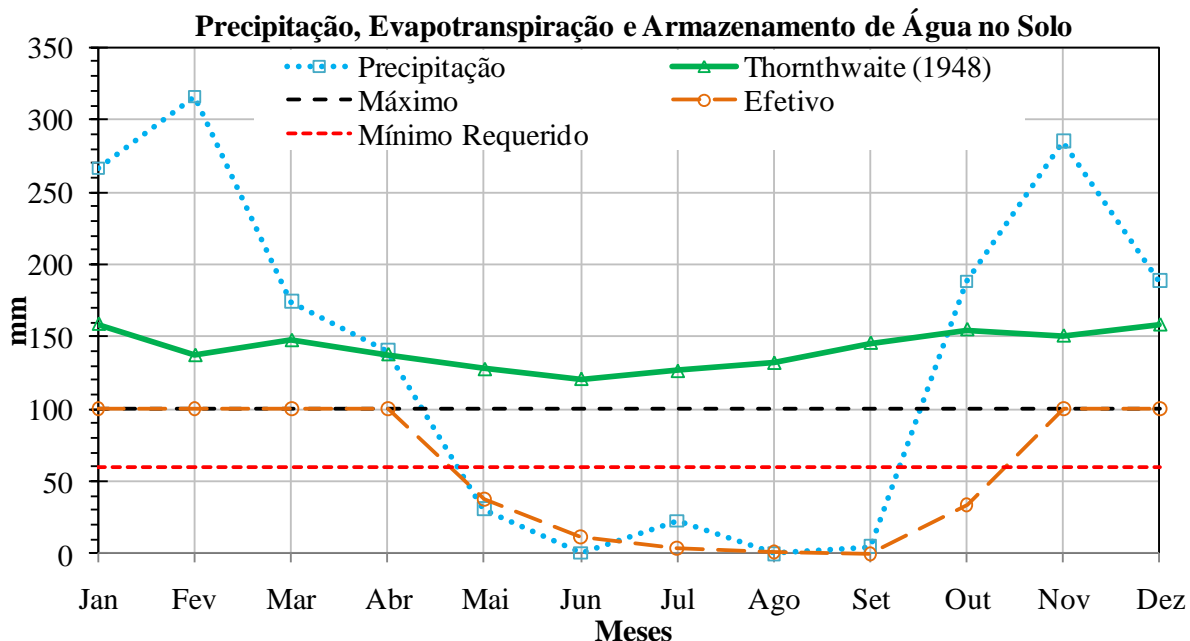


Figura 3 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.



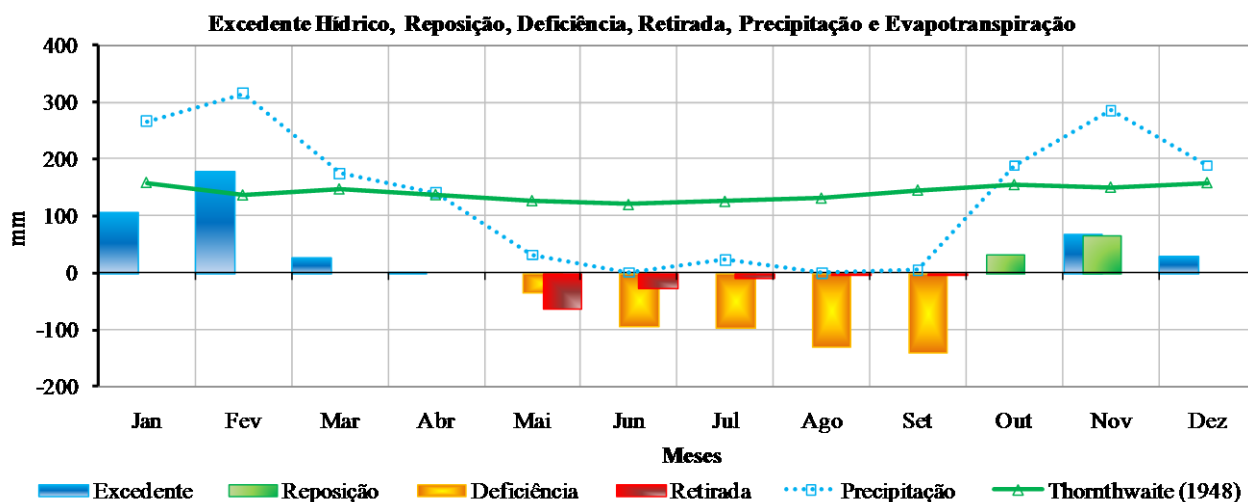


Figura 4 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948), para o ano de 2007.

### 3.2.2 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Blaney-Criddle (1950)

Avaliando as Figuras 5, 6 e 7 verifica-se que a queda acentuada da pluviosidade a partir do mês de maio, atrelada aos elevados valores médios da estimativa de evapotranspiração pelo método de Blaney-Criddle (1950), provocou a maior deficiência hídrica no extrato do balanço hídrico dentre os outros métodos de estimativa de evapotranspiração testados.

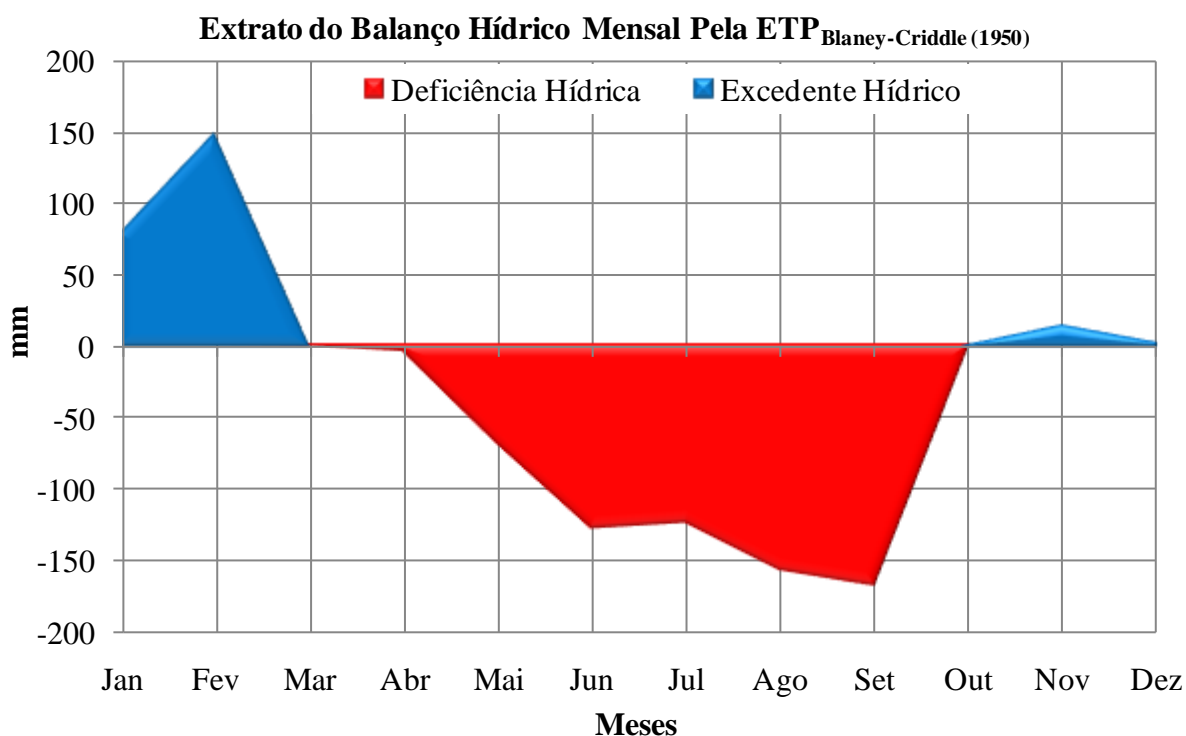


Figura 5 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950), para o ano de 2007.

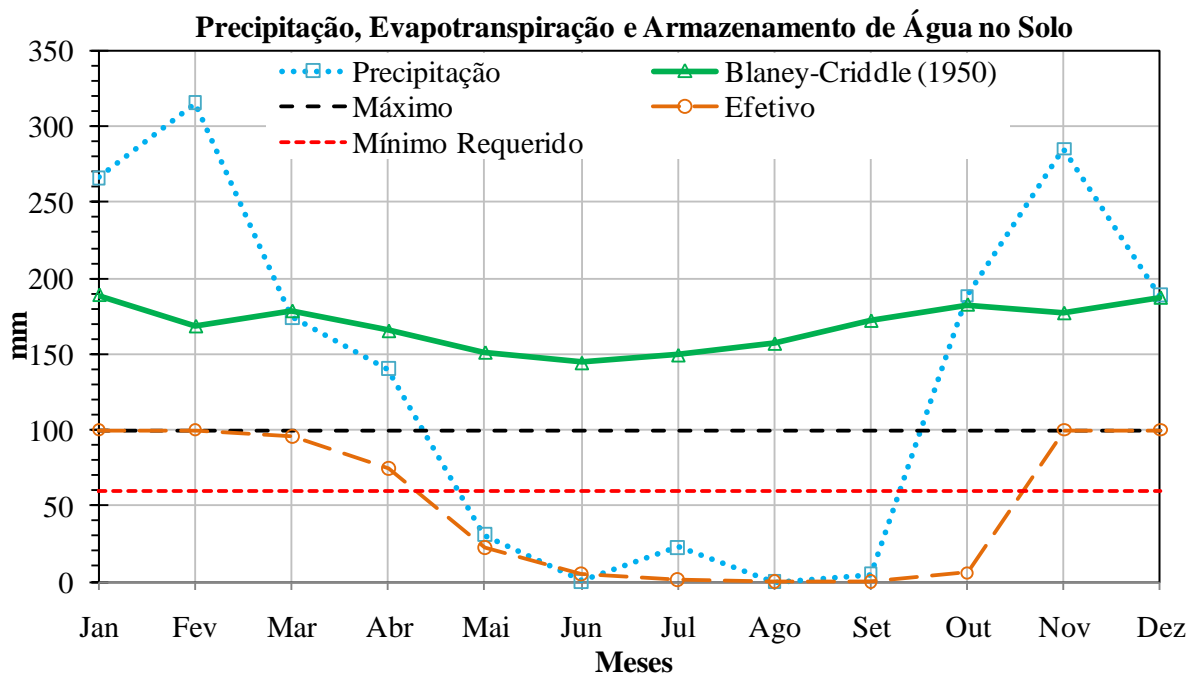


Figura 6 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.

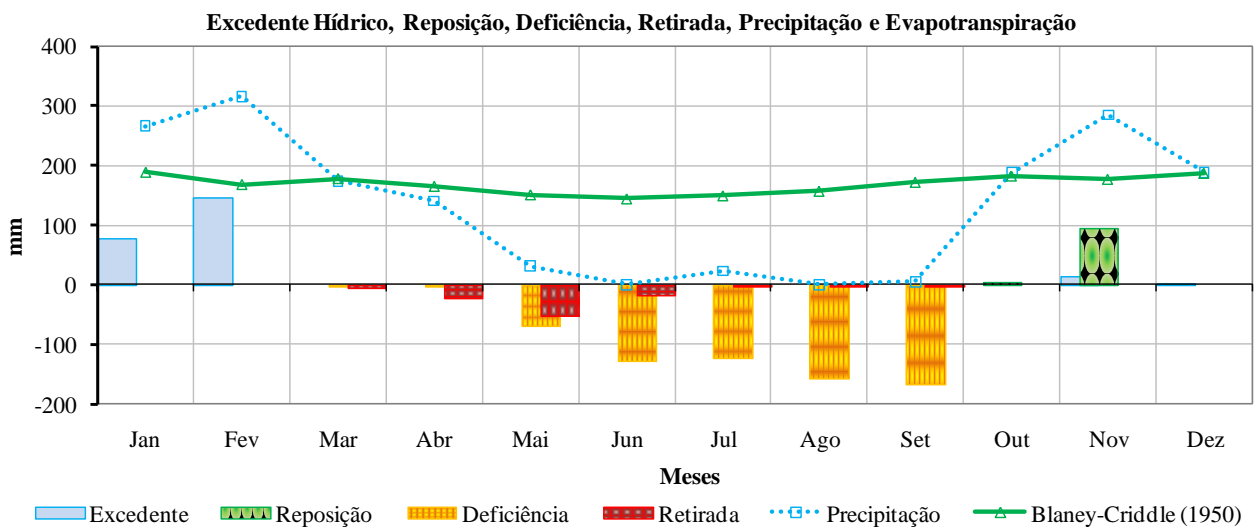


Figura 7 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950), para o ano de 2007.

### 3.2.3 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Hamon (1961)

As Figuras 8, 9 e 10 mostram que, mesmo com a queda acentuada da pluviosidade a partir do mês de maio, devido aos baixos valores médios da estimativa de evapotranspiração pelo método de Hamon (1961), este método provocou a menor deficiência hídrica no extrato do balanço hídrico dentre os outros métodos de estimativa de evapotranspiração estudados.

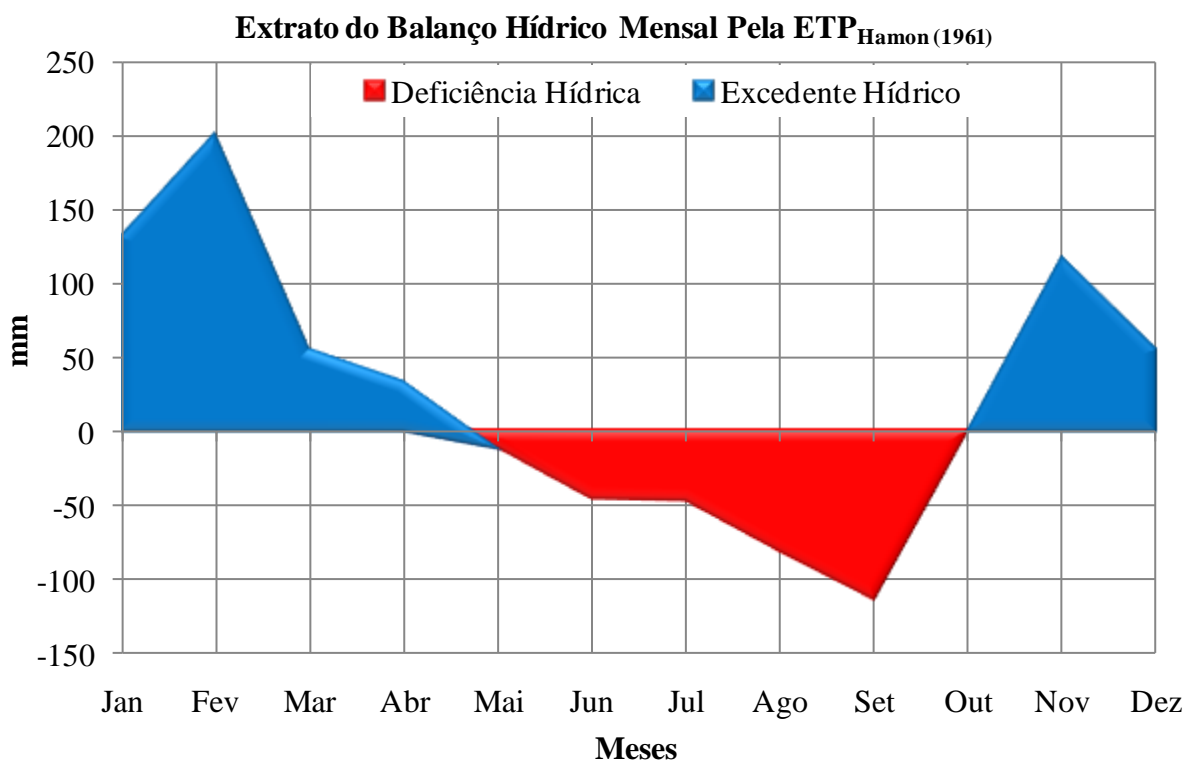


Figura 8 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961), para o ano de 2007.

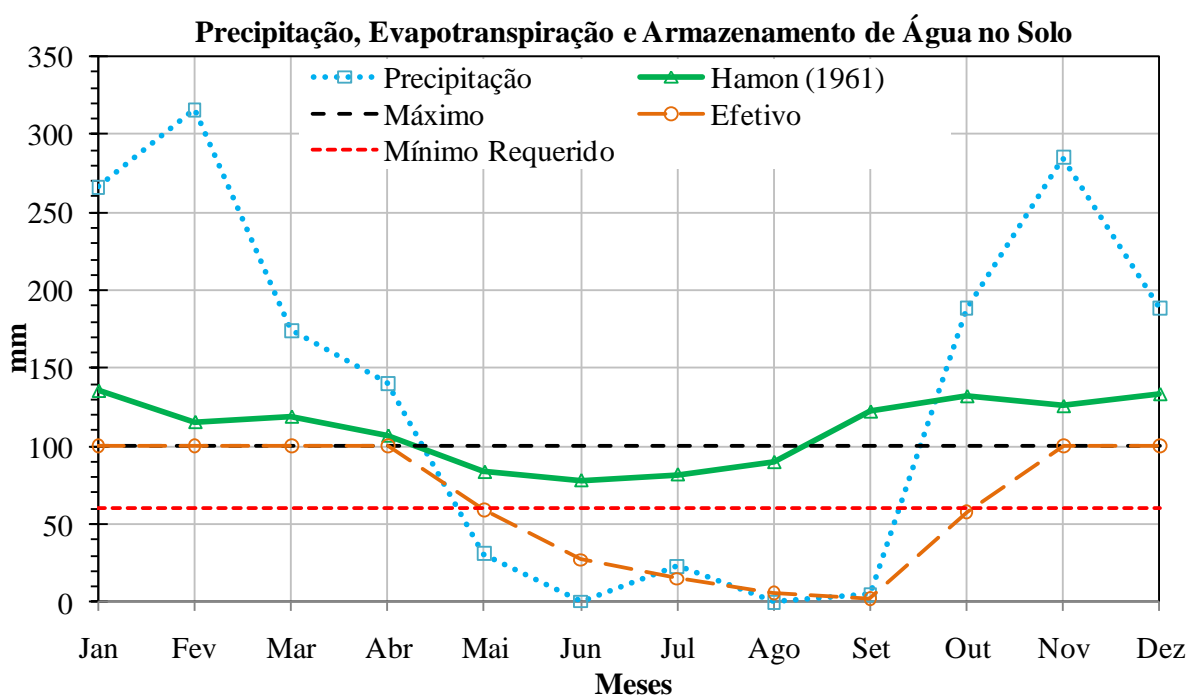


Figura 9 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.

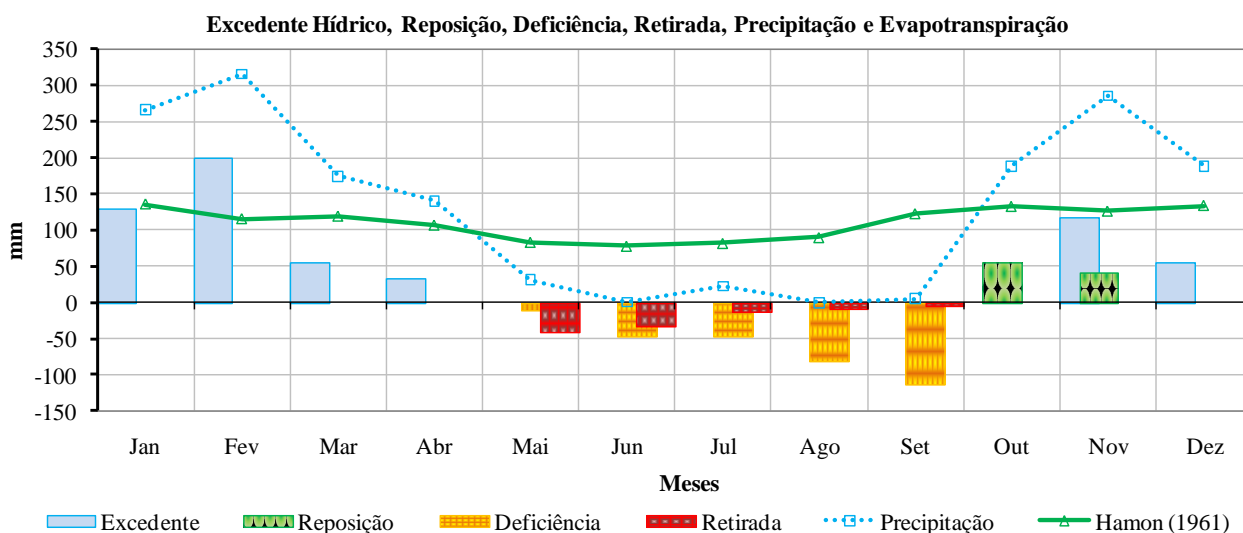


Figura 10 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961), para o ano de 2007.

### 3.2.4 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Linacre (1977)

As Figuras 11, 12 e 13 mostram os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Linacre (1977). Conforme o comportamento da evapotranspiração durante o ano nota-se que este método foi o que acarretou menor influência no extrato do balanço hídrico durante o ano estudado, tendo, portanto, maior influência no déficit hídrico a baixa pluviosidade nos meses secos do ano (Tabela 1), que vai de maio a setembro.

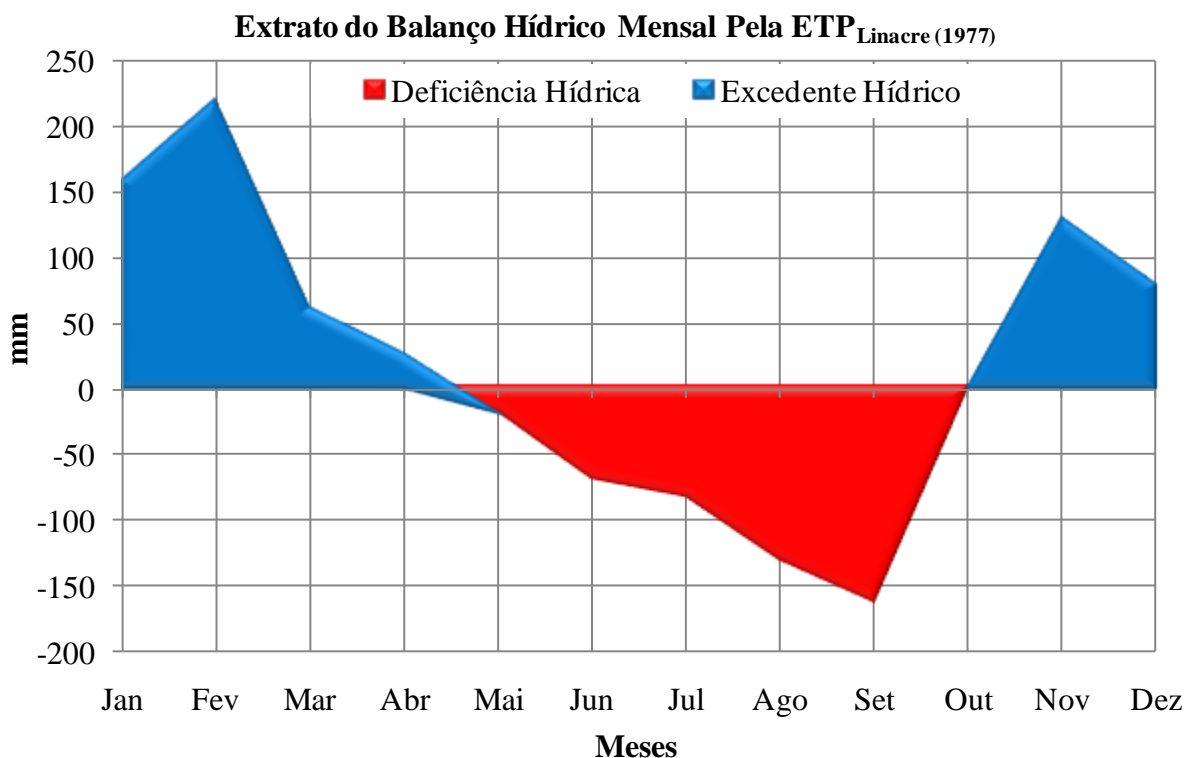


Figura 11 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977), para o ano de 2007.

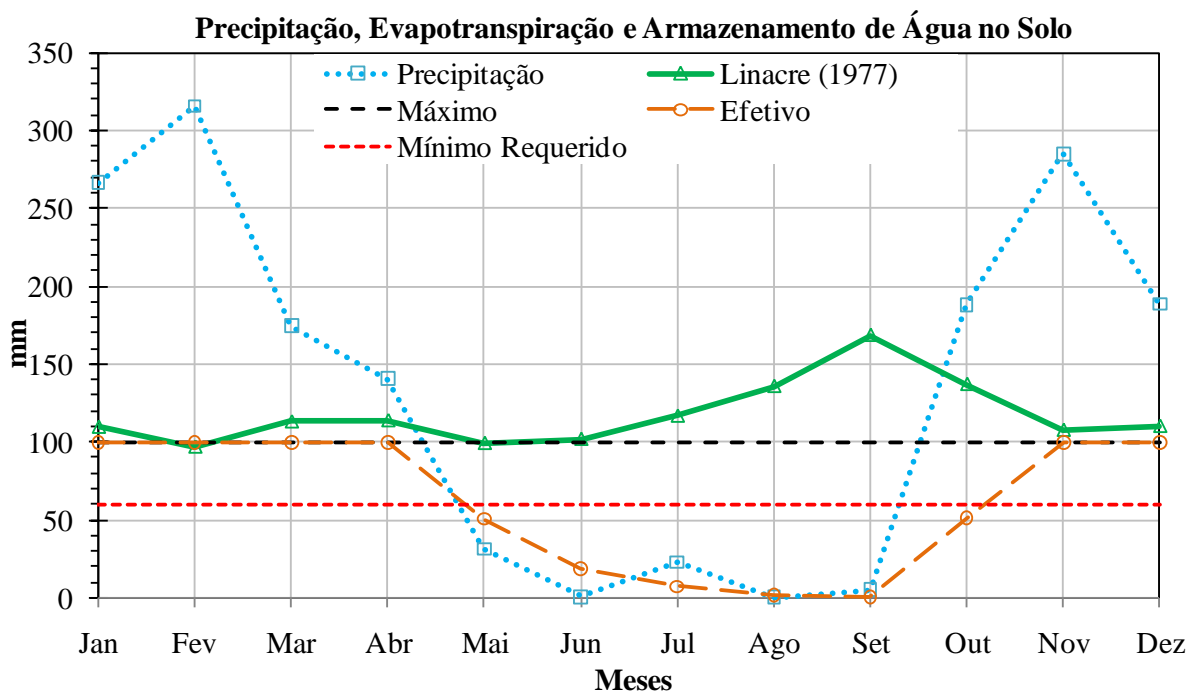


Figura 12 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.

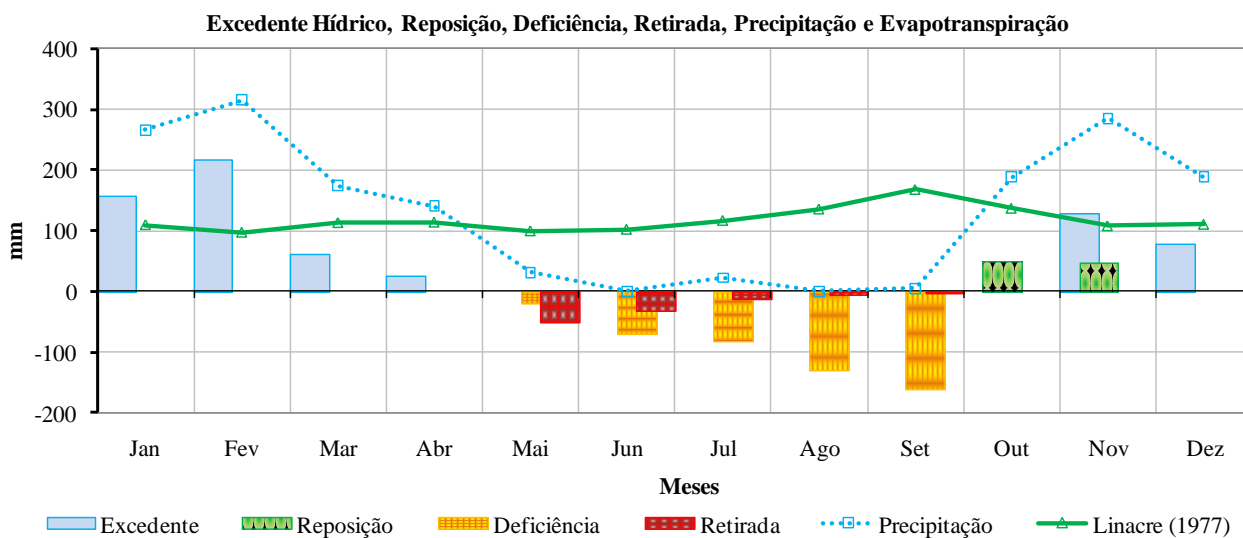


Figura 13 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977), para o ano de 2007.

### 3.2.5 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Hargreaves-Samani-T (1985)

As Figuras 14, 15 e 16 expõem os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Hargreaves-Samani-T (1985). Devido ao comportamento da evapotranspiração durante o ano, e a lenta recuperação dos valores de pluviosidade (Tabela 1) no segundo semestre do ano, nota-se que este método acarretou um baixo armazenamento efetivo de água no solo.

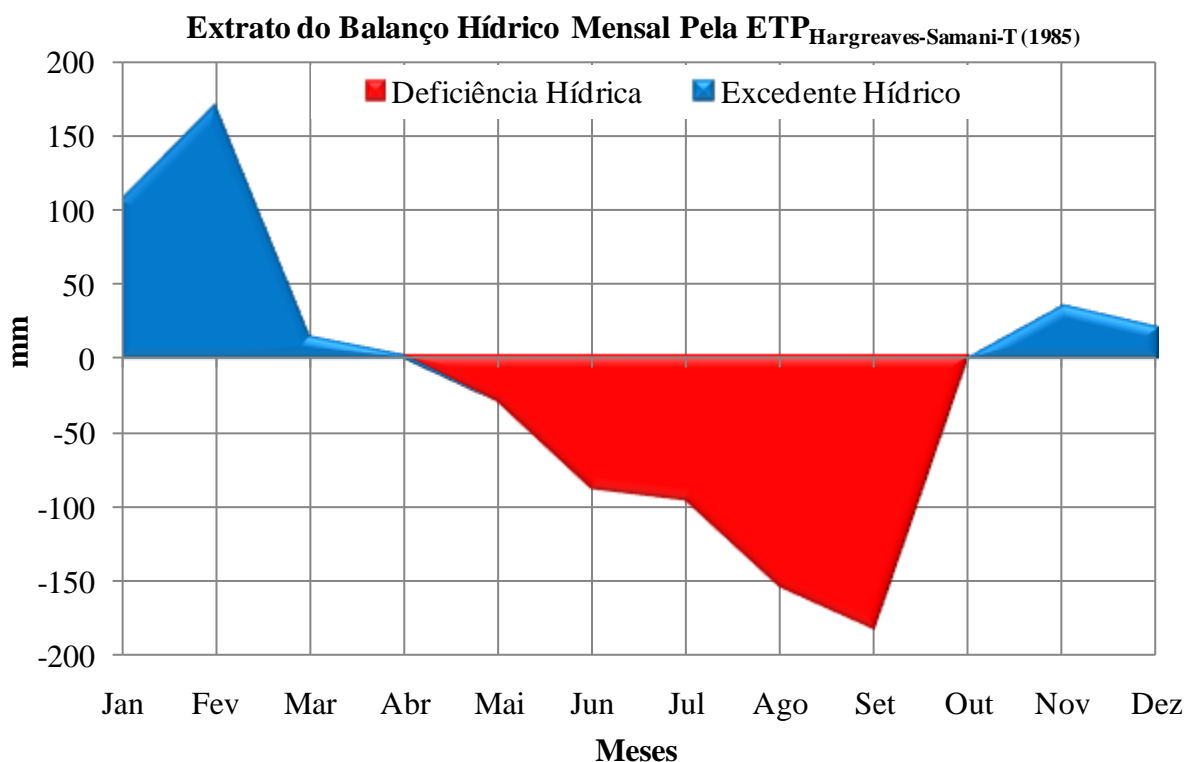


Figura 14 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985), para o ano de 2007.

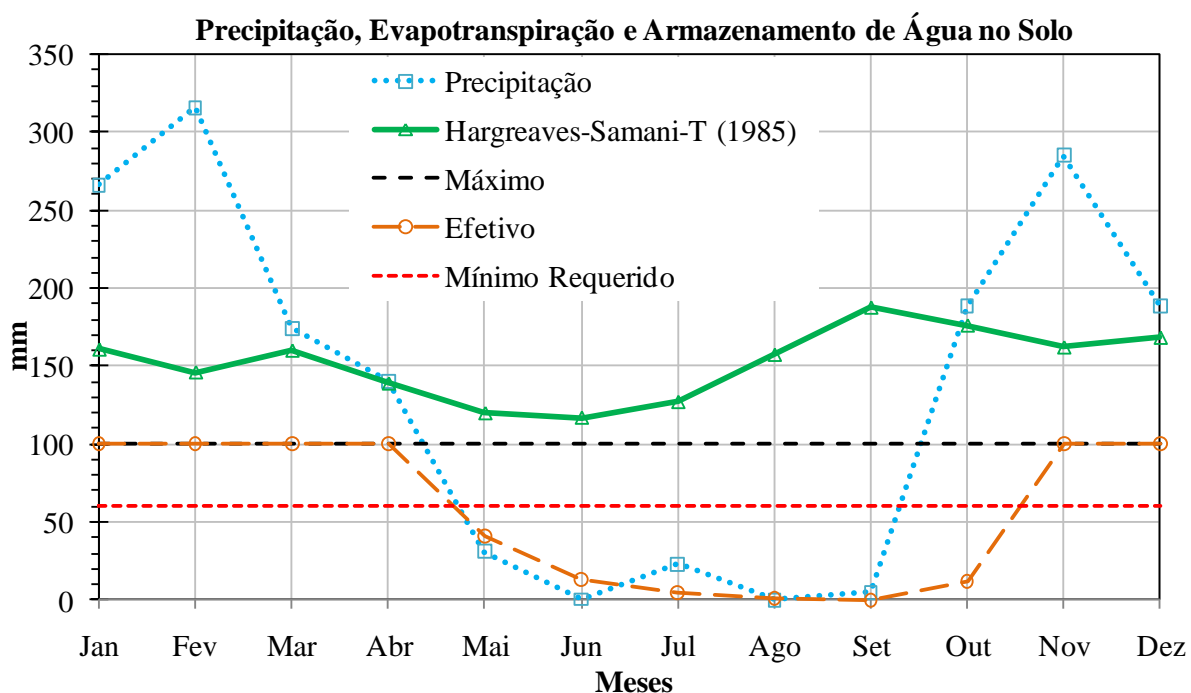


Figura 15 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.

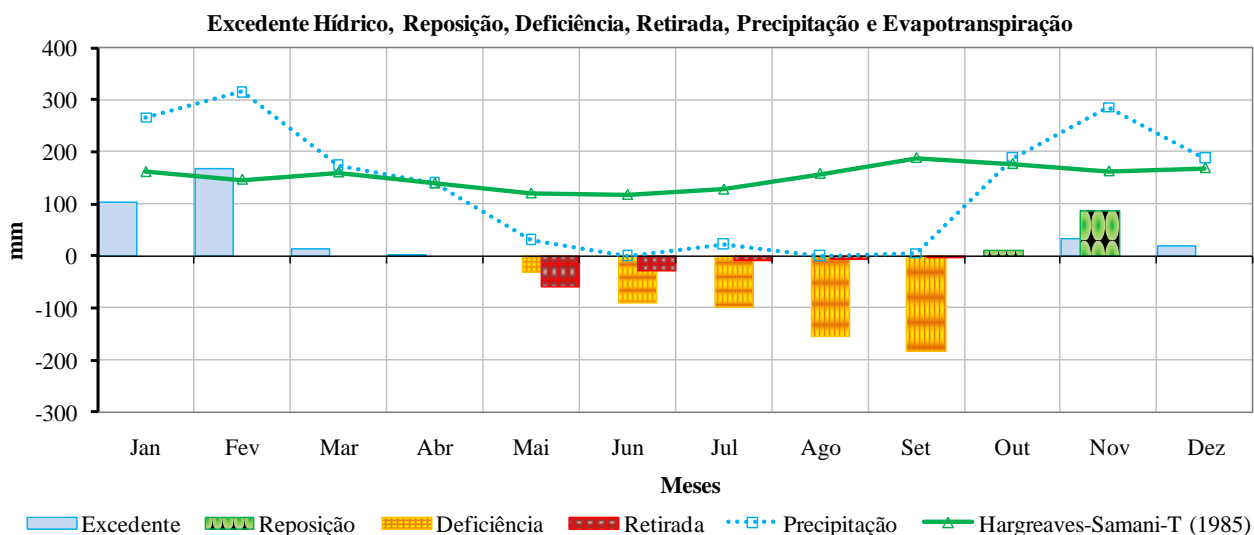


Figura 16 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985), para o ano de 2007.

### 3.2.6 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Kharrufa (1985)

As Figuras 17, 18 e 19 expõem os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Kharrufa (1985). Os elevados números mensais da estimativa de evapotranspiração, principalmente nos meses chuvosos (Tabela 1), atrelados a elevada reposição de água ao solo em janeiro, acarretaram a maior média anual de deficiência hídrica e o menor armazenamento efetivo de água no solo dentre os métodos de evapotranspiração estudados.

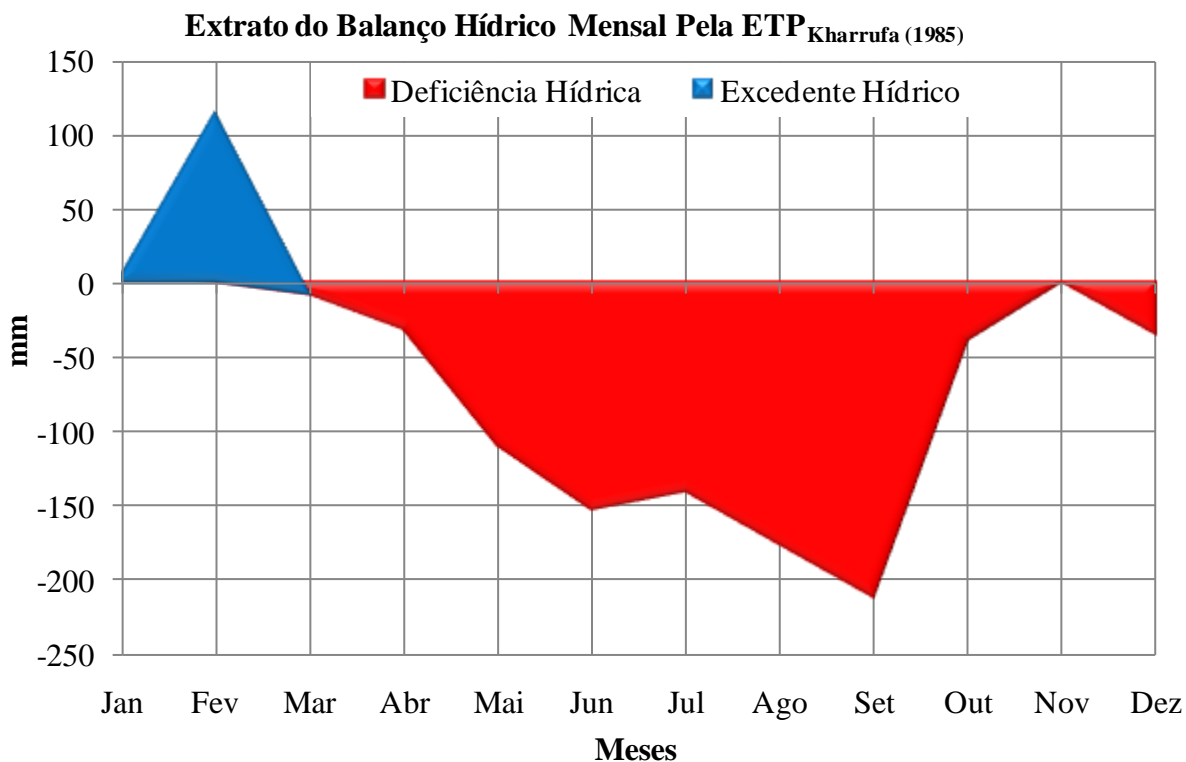


Figura 17 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985), para o ano de 2007.

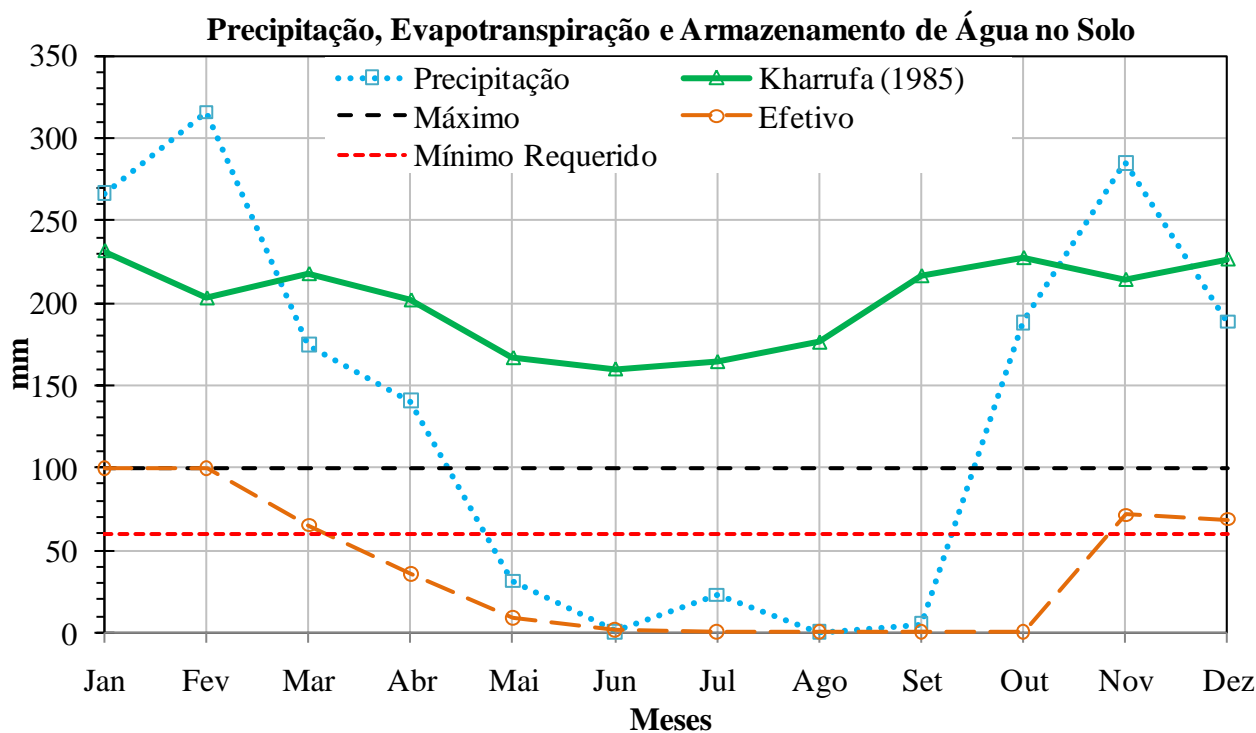


Figura 18 – Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2007.

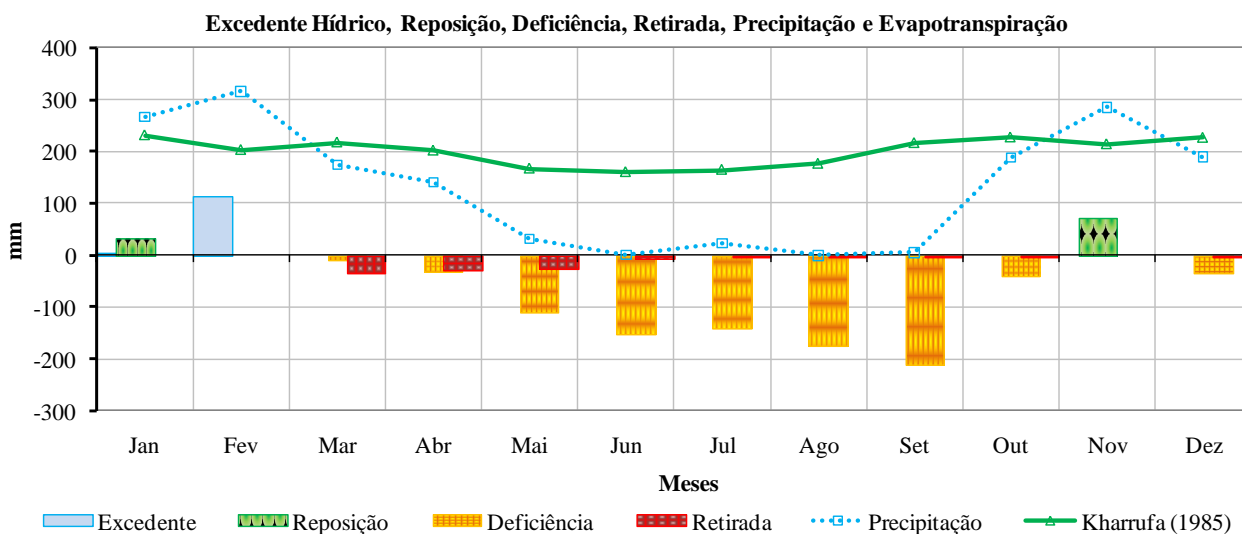


Figura 19 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985), para o ano de 2007.

### 3.3 - Aferição dos resultados de balanço hídrico

O balanço hídrico é um produto do princípio da conservação de massa da água, ou seja, nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Pode-se averiguar ou aferir a exatidão dos cálculos executados através do profundo conhecimento dos componentes físicos do balanço hídrico e do princípio fundamental da conservação de massa (Lei de Lavoisier).

São mostradas, na Tabela 2, as aferições dos balanços hídricos obtidos pelos diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração pelo princípio de conservação de massa. Nota-se que



todos os valores obtidos com os métodos de estimativa de evapotranspiração se adequaram ao balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) segundo o princípio da conservação de massa aplicado à água.

Tabela 2 – Aferição dos balanços hídricos obtidos pelos diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração para Cuiabá, em 2007, pelo princípio de conservação de massa.

Aferição do Balanço Hídrico	Thornthwaite (1948)	Blaney-criddle (1950)	Hamon (1961)	Linacre (1977)	Hargreaves-Samani-T (1985)	Kharrufa (1985)
	----- mm.ano <sup>-1</sup> -----					
ETP=	1697	2023	1326	1410	1823	2404
ETR+DEF=	1697	2023	1326	1410	1823	2404
ET=ETR+DEF=	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>
P=	1618	1618	1618	1618	1618	1618
ETR+EXC=	1618	1618	1618	1618	1618	1618
P=ETR+EXC	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>
P-ETP=	-79	-405	293	208	-205	-786
EXC-DEF=	-79	-405	293	208	-205	-786
P-ETP=EXC-DEF	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>
Σ(ALT)=	0	0	0	0	0	0
=0	0	0	0	0	0	0
Σ(ALT) = 0	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>
P=	1618	1618	1618	1618	1618	1618
ETP+(P-ETP)=	1618	1618	1618	1618	1618	1618
P=ETP+(P-ETP)	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>	<b>Verdadeiro</b>

P - Precipitação; ETR - Evapotranspiração Real; ETP - Evapotranspiração Potencial; DEF - Deficiência; EXC - Excedente Hídrico; ALT – Alteração no Armazenamento.

#### 4 - CONCLUSÕES

Realizou-se um estudo do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração que utiliza a temperatura.

Os métodos de estimativa de evapotranspiração utilizados como componente do balanço hídrico climatológico que resultaram em maiores excedentes hídricos, em ordem decrescente, foram: Linacre (1977), 670,8 mm.ano<sup>-1</sup>; Hamon (1961), 591,5 mm.ano<sup>-1</sup>; Thornthwaite (1948), 414,3 mm.ano<sup>-1</sup>; Hargreaves-Samani-T (1985), 345,7 mm.ano<sup>-1</sup>; Blaney-Criddle (1950), 240,0 mm.ano<sup>-1</sup>; Kharrafu (1985) 116,5 mm.ano<sup>-1</sup>.

Para os dados climatológicos da região de Cuiabá, conclui-se que a metodologia para estimativa de evapotranspiração a ser selecionada possui grande influência no resultado final do extrato do balanço hídrico.

A avaliação dos resultados do balanço hídrico com base no princípio de conservação de massa, de modo a se aferir se a metodologia de estimativa de evapotranspiração se encaixou no balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo apoio e ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pelo fornecimento dos dados.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, D.J.; KRUKER, J.M.; CALHEIROS, R. DE O.; SILVA, C.A.S. (1986). “*Determinação da vapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS*”. Dourados: EMBRAPA-UEPAE Dourados, 150p.
- BERLATO, M.A., MOLION, L.B. (1981). *Evaporação e evapotranspiração*. Boletim Técnico IPAGRO. Porto Alegre, n.7, pp.3-95.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. (2005). *Manual de irrigação*. 7ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 611p.
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D. (1950). “*Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data*”. Washington. USDA Soil Conserv. Serv. TP-96, 48 p.
- CARVALHO, M.A. de; MELLO JUNIOR, A.V.; SCHARDONG, A.; PORTO, R.L.L. (2009). “*Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação*”. Rev. bras. eng. agríc. ambient. v.13, n.1, pp. 10-17 .
- HAMON, W. R. (1961). “*Estimating potential evapotranspiration*”. Journal of Hydraulics Division ASCE, New York, v.87, n.3, pp.107-120.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1982). “*Estimation of potential evapotranspiration*”. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE, New York, v.108, n.3, p.225-230.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). “*Reference crop evapotranspiration from temperature*”. Journal of Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99.
- KHARRUFA, N. S. (1985). “*Simplified equation for evapotranspiration in arid regions*”. Beiträge zur Hydrologie, Kirchzarten, Sonderheft 5.1, p.39-47.
- KIJNE, J.W. (1978). Determinación de la evapotranspiración. In: ILRI. “*Principios y aplicaciones del drenaje*”. Wageningen. v.3, cap. 19, pp.59-108.
- LINACRE, E. T. (1977). “*A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone*”. Agricultural Meteorology, v.18, pp.409-424.
- MEDEIROS, A.T. (2002). “*Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE*”. Tese Doutorado. Piracicaba: ESALQ, 103p.
- MELLO, J.L.P.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. (1996). *Evaporação e evapotranspiração*. Viçosa: UFV. 62p.
- X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

- OMETTO, J.C. (1981). *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres, 425p.
- PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183p.
- SWAMI, M.V.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 246p.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948). “*An approach toward a rational classification of climate*”. Geogr. Review, New York, v. 38, n. 1, pp. 55-94.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). “*The water balance*”. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, v. 8, n. 1. 104p.
- TUCCI, C. E. M. (org.) (2004). *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 3<sup>a</sup> ed., ABRH. 944p.