

HidroBH 1.0

Software para estimativa do balanço hídrico e da necessidade de irrigação





Governador do Estado
Jorginho dos Santos Mello

Secretário de Estado da Agricultura e Pecuária
Carlos Chiodini

Presidente da Epagri
Dirceu Leite

Diretores

Andréia Meira
Ensino Agrotécnico

Jurandi Teodoro Gugel
Desenvolvimento Institucional

Fabírcia Hoffmann Maria
Administração e Finanças

Gustavo Gimi Santos Claudino
Extensão Rural e Pecuária

Reney Dorow
Ciência, Tecnologia e Inovação



Boletim Técnico Nº 228

HidroBH 1.0 – Software para estimativa do balanço hídrico e da necessidade de irrigação

Álvaro José Back

Charles Seidel

Éverton Blainski

Juliane Justen Knapick



Epagri

Florianópolis

2025

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) Rodovia
Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502
CEP 88034-901, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
Fone: (48) 3665-5000
Site: www.epagri.sc.gov.br

Editado pelo Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (DEMC) /Epagri

Assessoria técnico-científica:

Dr. Gustavo Trentin

Dr. Paulo Ivonir Gubiani

Dr. Sergio Ricardo Rodrigues de Medeiros

Editoração técnica: Andrey Martinez Rebelo

Revisão textual: Laertes Rebelo e Maria Luíza Chaves

Diagramação: Victor Berretta

Figura da capa: Hélen Bernardo Pagani. Imagens: Freepik. Sugestões: ChatGPT (OpenAI).

Edição: CorelDraw.

Tiragem: on-line

É permitida a reprodução parcial deste trabalho desde que a fonte seja citada.

Ficha catalográfica

H632h HidroBH 1.0: Software para estimativa do balanço hídrico
e da necessidade de irrigação / Álvaro José Back ... [et al.]. –
Florianópolis: Epagri, 2025.
58p. ; (Boletim técnico, 228).

Inclui Bibliografia
ISSN 2674-9513 *On-line*

1. Climatologia. 2. *Software* HidroBH. 3. Modelos matemáticos. 4.
Hidrologia. 5. Epagri. I. Back, Álvaro José. II. Seidel, Charles. III. Blainski,
Éverton. IV. Knapick, Juliane Justen. VII. Título.

CDD: 551.6

AUTORES

Álvaro José Back

Engenheiro-agrônomo, Estatístico, Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Ms. em Engenharia Agrícola

Dr. em Engenharia

Pesquisador – Epagri/Estação Experimental de Urussanga

Rodovia SC 108 – km 353 - Bairro Estação.

Urussanga, SC.

(48) 3403-1400 / ajb@epagri.sc.gov.br, alvarojoseback@gmail.com

Charles Seidel

Engenheiro-agrônomo

Ms. em Engenharia Agrícola,

Extensionista Rural Epagri, EM Rio das Antas

Rua Mato Grosso, 71, Bairro dos Estados,

Rio das Antas, SC

(49)3561 6458, seidel@epagri.sc.gov.br

Éverton Blainski

Engenheiro-agrônomo

Dr. em Solos e Nutrição de Plantas

Coordenador de Programa de Pesquisa - DEGPI/Epagri

Rodovia Admar Gonzaga, 1347 - Itacorubi.

Florianópolis, SC

(48) 3665-5144 / evertonblainski@epagri.sc.gov.br

Juliane Garcia Knapik Justen

Engenheira Florestal

Ms. em Ciências Florestais

Coordenadora Programa Desenvolvimento e Sustentabilidade Ambiental

Rua 6 de Junho, 420 - Centro

Agronômica, SC

(47) 35263083 / julianeknapik@epagri.sc.gov.br

SUMÁRIO

Apresentação	7
1 Balanço Hídrico.....	9
1.1 Armazenamento de água no solo	11
1.1.1 Água Facilmente Disponível (AFD) ou Água Prontamente Disponível (APD)	16
1.2 Dados de precipitação	19
1.3 Irrigação	19
1.4 Evapotranspiração	20
1.4.1 Evapotranspiração de Referência (ET _o)	21
1.4.2 Método de Penman-Monteith	21
1.4.3 Equação de Thornthwaite	22
1.4.4 Estimativas por regressão	23
1.4.5 Evapotranspiração da cultura (ET _c)	24
1.4.6 Evapotranspiração real (ET _r)	27
1.4.7 Dados médios de ET no Balanço Hídrico Seriado	27
2 Modelo de Balanço Hídrico Thornthwaite e Mather	28
3 Efeito do déficit hídrico no rendimento das culturas	32
4 HidroBH 1.0 – Programa de computador para cálculo do balanço hídrico	34
Considerações finais	55
Referências	56

Apresentação

A crescente escassez dos recursos hídricos e as demandas por maior produtividade no campo impõem desafios ao uso racional da água na agricultura. Nesse cenário, o balanço hídrico se destaca como uma abordagem técnica indispensável, permitindo o mapeamento de períodos de déficit e excesso hídrico, o cálculo da evapotranspiração real da cultura e a definição de estratégias de irrigação baseadas em critérios técnicos e ambientais.

A adoção de práticas irrigantes baseadas no balanço hídrico contribui diretamente para a otimização do uso da água, evitando desperdícios e promovendo maior eficiência na aplicação hídrica. Essa abordagem é crucial para a sustentabilidade dos sistemas de produção, especialmente em tempos de emergência climática e de maior ocorrência de eventos extremos.

Este documento apresenta a base conceitual e um conjunto de equações empregadas no cálculo da Evapotranspiração de Referência (ET_o), Evapotranspiração da Cultura (ET_c), Evapotranspiração Real (ET_r) e os componentes do balanço hídrico (precipitação, armazenamento e déficit hídrico). Também são abordados os principais atributos do solo relacionados à retenção de água, como Capacidade de Campo (CC), Disponibilidade Total de Água (DTA), Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Capacidade de Água Disponível (CAD), além de conceitos operacionais como Água Facilmente Disponível (AFD) e Profundidade Efetiva das Raízes. A abordagem teórica sobre balanço hídrico e os cálculos relacionados foram agrupados no software HidroBH 1.0. Esse software apresenta uma estrutura simples e eficiente para determinação de variáveis agrometeorológicas que possibilitam diferentes formas de determinação do Balanço Hídrico, concebido para oferecer suporte ao dimensionamento e manejo racional da irrigação com base em critérios agrometeorológicos e físico-hídricos do solo.

O sistema opera a partir de dados climáticos e parâmetros do solo e da cultura, permitindo a simulação da dinâmica da água no perfil edáfico com elevada precisão, tanto para condições naturais quanto sob regime irrigado. A modelagem implementada fundamenta-se em conceitos consagrados do Balanço Hídrico Climático, conforme a metodologia de Thornthwaite e Mather, e no Balanço Hídrico Seriado, amplamente utilizado para análises temporais da disponibilidade hídrica.

Assim, este documento não se limita a instruções operacionais, mas constitui também um compêndio técnico destinado a garantir o uso adequado do HidroBH 1.0 e a correta interpretação dos resultados obtidos.

1 Balanço Hídrico

As metodologias para estimativa de balanço hídrico constituem uma ferramenta estratégica para resolver importantes questões hidrológicas e agrometeorológicas. A partir do balanço hídrico é possível fazer a avaliação quantitativa dos recursos hídricos e de suas variações sob a influência das atividades humanas.

O estudo do balanço hídrico baseia-se na aplicação do princípio de conservação da massa, também conhecido como equação da continuidade. Esse princípio estabelece que para qualquer volume arbitrário, durante qualquer período de tempo, a diferença entre a quantidade de água que entra e a quantidade que sai será equilibrada pela variação da água armazenada no volume. Essa relação pode ser expressa por:

$$I - O = \Delta S \quad (1)$$

Em que:

I = representa as entradas de água;

O = representa as saídas de água;

ΔS = representa a variação no armazenamento de água.

O balanço hídrico aplicado à camada de solo cultivado é uma técnica amplamente empregada na agrometeorologia para simular a variação de conteúdo de água no solo e estimar as ocorrências de deficiência hídrica ao longo do tempo.

Considerando a camada de solo explorada pelas raízes das plantas (Figura 1), a equação do balanço hídrico pode ser expressa da seguinte forma:

$$\Delta S = P + IR + CR - ET - RO - DP \pm SF \pm SW \quad (2)$$

Em que:

ΔS = variação no armazenamento de água no solo (mm);

P = precipitação (mm);

IR = irrigação (mm);

ET = evapotranspiração (mm);

RO = escoamento superficial (mm);

DP = percolação profunda (mm);

CR = ascensão capilar (mm);

SF = fluxo subsuperficial (mm);

SW = conteúdo de água no solo (mm).

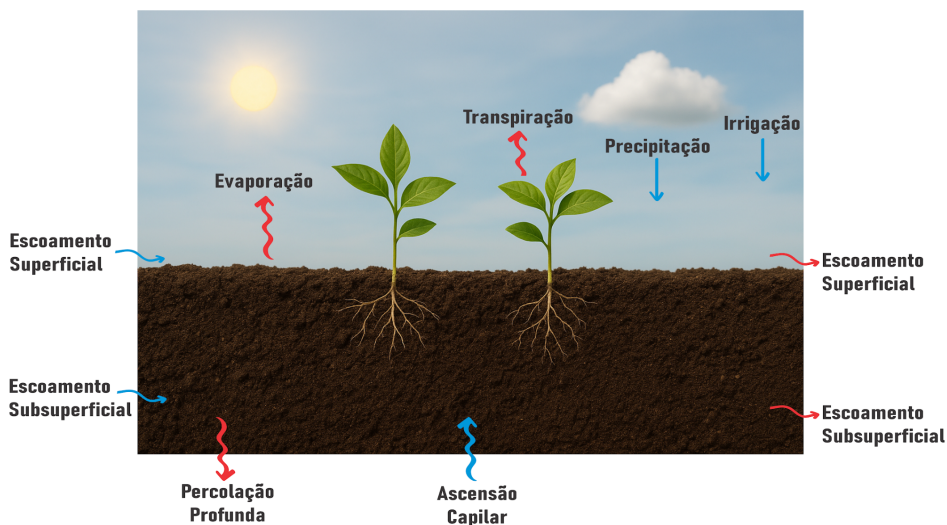


Figura 1. Representação dos componentes do balanço hídrico no solo

Fonte: Arquiteta Helen Bernardo Pagani (2025)

Alguns fluxos, como DP, CR, SF, são difíceis de medir em curtos períodos de tempo e geralmente podem ser desprezados. A estimativa do escoamento superficial exige modelagem matemática mais complexa e requer dados de precipitação em intervalos horários ou menores, por isso também normalmente não é computada. Back (1997) apresentou um modelo de balanço hídrico horário com a inclusão das estimativas das perdas por escoamento superficial. Dessa forma, o balanço hídrico geralmente adotado pode ser simplificado para:

$$\Delta S = P + IR - ET - DP \quad (3)$$

O balanço hídrico pode ser calculado utilizando dados médios anuais de longo período, chamado Balanço Hídrico Climático, ou por meio de dados sequenciais de toda a série histórica disponível, chamado de Balanço Hídrico Seriado. O Balanço Hídrico Climático, desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), é amplamente utilizado para a descrição climática e para correlacionar o clima com a distribuição da vegetação.

Por outro lado, o Balanço Hídrico Seriado tem diversas aplicações na agrometeorologia, como no estudo de zoneamento agroclimático, para estimativas de perdas de produção por déficit hídrico, e na determinação da necessidade de irrigação. A principal vantagem do balanço hídrico seriado é possibilitar a análise das frequências de eventos climáticos, permitindo a determinação da probabilidade de ocorrências de déficits e excessos hídricos (Cunha, 1992).

Na modelagem matemática, o conteúdo de água armazenada no solo pode ser estimado pela equação do balanço hídrico, expressa da seguinte forma:

$$S_i = S_{i-1} + P_i + Ir_i - ET_i - DP_i \quad (4)$$

Em que:

S_i = armazenamento de água no intervalo i (mm);

S_{i-1} = armazenamento de água no intervalo anterior (mm);

P_i = precipitação no intervalo i (mm);

ET = evapotranspiração no intervalo i (mm);

DP = perdas por percolação no intervalo i (mm).

1.1 Armazenamento de água no solo

No contexto do balanço hídrico, a capacidade do reservatório é representada pela Capacidade de Água Disponível (CAD). Para o Balanço Hídrico Climático geralmente adota-se um valor padrão de CAD de 100mm. No entanto, para a estimativa da necessidade de irrigação ou mesmo em estudos agrometeorológicos é essencial utilizar valores de CAD adequados às características físico-hídricas do solo e das especificidades do sistema radicular da cultura estudada. A Água Disponível (AD) no solo representa o conteúdo de água disponível para as plantas, estimada pela diferença de umidade entre a Capacidade de Campo (CC) e o Ponto de Murcha Permanente (PMP).

A CC e PMP são conceitos amplamente utilizados no estudo da água no solo, particularmente em relação à disponibilidade de água para as plantas. A CC representa a quantidade de água que o solo retém após ter drenado o excesso de água devido à gravidade, geralmente 24 a 48 horas após uma chuva ou irrigação intensa (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006). Nesse ponto, o solo não está mais saturado, mas retém uma quantidade de água que é facilmente acessível para as plantas.

O PMP representa o nível de umidade do solo no qual as plantas não conseguem mais extrair água, devido à alta tensão em que a água fica retida às partículas do solo. Assim, considera-se que a água retida nessa tensão é inacessível para os sistemas radiculares das plantas, causando a murcha permanente (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006).

A AD pode ser calculada por:

$$AD = \frac{(CC - PMP)}{10} d_a \quad (5)$$

Em que:

AD = água disponível no solo (mm de água por cm de solo);

CC = conteúdo de água no solo na capacidade de campo (% peso);

PMP = conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente (% peso);

d_s = densidade do solo (g/cm^3).

O ideal é obter os valores de CC e PMP com base nas curvas de retenção de umidade do solo estabelecidas com amostras de solo indeformadas do local onde será realizado o estudo ou projeto de irrigação. Essas curvas possibilitam uma avaliação precisa da capacidade do solo de reter água e da disponibilidade dessa água para as plantas.

No entanto, em situações em que AD do solo não é conhecida, pode-se estimá-la por métodos expeditos. Entende-se por método expedito um método rápido e simplificado para realizar uma tarefa, frequentemente utilizado em situações onde a precisão total não é essencial, mas sim a rapidez e praticidade. Um dos métodos mais comuns é o uso de funções de pedotransferência, que permitem estimar propriedades físicas do solo, como a capacidade de retenção de água a partir de variáveis como densidade, textura e estrutura. Alternativamente, é possível utilizar valores médios de AD baseados nas características médias das classes texturais do solo. Nas Tabelas 1 e 2 constam valores médios de parâmetros físico-hídricos de solos para as diferentes classes texturais (Figura 2).

O primeiro valor representa a média e os valores entre parênteses representam a faixa de variação. ¹VIB = velocidade de infiltração básica; ²CC = umidade do solo na capacidade de campo; ³PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente; ⁴AD = água disponível = (CC – PMP); ⁵AD em lâmina de água por metro de profundidade de solo.

Tabela 1. Valores aproximados para algumas características físico-hídricas dos solos, segundo a sua classe textural

VIB ¹ (cm/h)	Densidade (g/cm^3)	CC ² (% peso)	PMP ³ (% peso)	AD ⁴ (% peso)	AD ⁵ (mm/m)
5 (2,5 -22,5)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	85 (70-100)
2,5 (1,3 -7,6)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	120 (90-150)
1,3 (0,8 -2,0)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	170 (140-190)
0,8 (0,25 -1,5)	1,35 (1,30-1,40)	27 (25-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	190 (170-220)
0,25 (0,03 -0,5)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	210 (190-230)
0,05 (0,01 -0,1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	230 (200-250)

Fonte: Vermeiren e Jobling (1997)

Tabela 2. Valores orientativos dos conteúdos de água do solo na saturação (θ_{sat}), na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e água disponível (AD)

Textura do solo	Umidade			AD (mm /m)
	θ_{sat} (m³/m³)	θ_{cc} (m³/m³)	θ_{PMP} (m³/m³)	
Arenoso	0,32 - 0,42	0,10 - 0,15	0,03 - 0,06	60 - 70
Areia-franca	0,32 - 0,47	0,12 - 0,19	0,05 - 0,10	70 - 90
Franco-arenoso	0,34 - 0,51	0,17 - 0,26	0,06 - 0,13	110 - 130
Franco	0,42 - 0,51	0,22 - 0,31	0,09 - 0,19	130 - 150
Franco-siltoso	0,42 - 0,55	0,23 - 0,34	0,08 - 0,15	150 - 190
Siltoso	0,42 - 0,55	0,30 - 0,33	0,10 - 0,11	200 - 220
Franco argilo-siltoso	0,40 - 0,49	0,20 - 0,30	0,12 - 0,18	80 - 120
Franco argilo	0,47- 0,51	0,28 - 0,38	0,16 - 0,22	120 - 160
Franco argilo-arenoso	0,49 - 0,53	0,32 - 0,40	0,16 - 0,22	160 - 180
Argilo arenoso	0,47 - 0,53	0,28 - 0,40	0,19 - 0,30	90 - 100
Argilo siltoso	0,49 - 0,55	0,38 - 0,50	0,23 - 0,34	150 - 160
Argiloso	0,51 - 0,58	0,40 - 0,55	0,30 - 0,42	100 - 130

Fonte: Pereira *et al.* (2010)



Figura 2. Triângulo textural
 Fonte: Adaptado de Santos et al. (2025)

Outra importante variável calculada é a CAD – Capacidade de Água Disponível no solo. A CAD representa a quantidade total de água disponível para as plantas armazenadas na camada de solo efetivamente explorada pelas raízes, e é calculada multiplicando-se a AD pelo valor da profundidade efetiva considerada. A CAD pode ser calculada por:

$$CAD = AD \cdot Z \tag{6}$$

Em que:

CAD = capacidade de água disponível (mm);

AD = água disponível no solo (mm/cm);

Z = profundidade efetiva das raízes (cm).

A profundidade efetiva do sistema radicular (Z) é a camada de solo que concentra 80% do total de raízes finas ou absorventes, e varia conforme a idade da planta, o tipo de cultivo e outros fatores como as propriedades físicas e químicas do solo. Na Tabela 3 constam alguns valores indicativos de Z que podem ser usados nos projetos quando não se tem informação local disponível.

Tabela 3. Profundidade efetiva média (Z) do sistema radicular de algumas culturas

Cultura	Z (cm)	Cultura	Z (cm)
Abacaxi	20	Culturas perenes	50-70
Algodão	30	Feijão	20-30
Amendoim	50-60	Melancia, Melão	30
Arroz	20-30	Milho	40-50
Banana	40	Pastagem	30
Batata	20-30	Soja	40-50
Café	50	Tomate, Fumo	20-50
Cana-de-açúcar	50-70	Trigo	30-40
Cebola	20	Videira	50

Fonte: Arruda (1987) e Moreira (1993)

Para Santa Catarina, Blainski *et al.* (2016) elaboraram mapas com os valores de CAD considerando cinco grupos de culturas com respectivas profundidades do solo exploradas pelas raízes (Tabela 4). Na Figura 3 consta o mapa de CAD para a cultura do Milho/Soja.

Tabela 4. Profundidade do solo para determinação da CAD em Santa Catarina

Grupo de culturas	Profundidade do solo
Hortaliças	20
Arroz/Batata	30
Trigo	40
Milho/Soja	50
Perenes	100

Fonte: adaptado de Blainski *et al.* (2016)

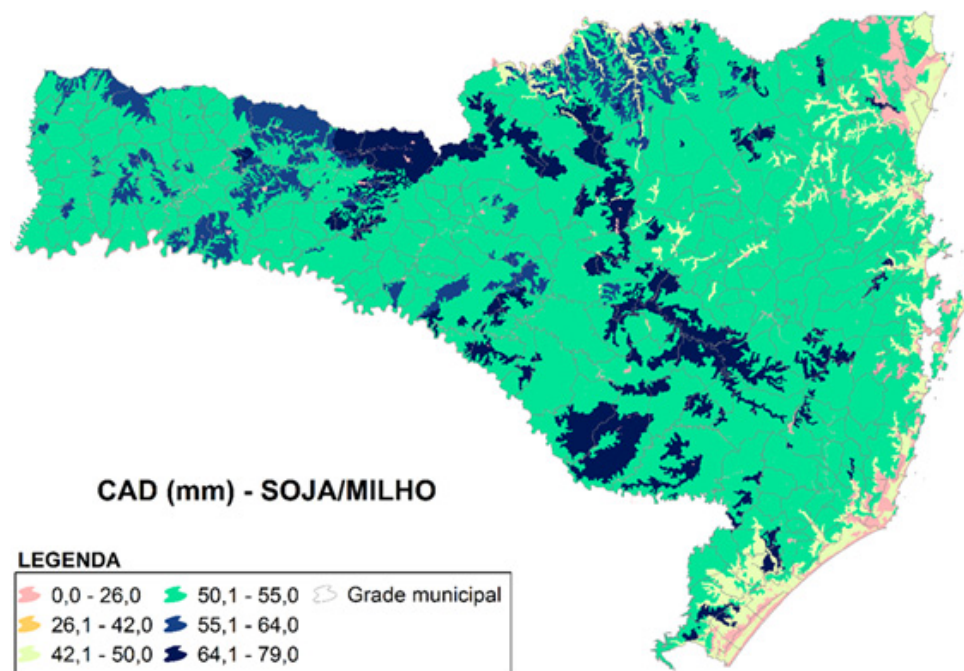


Figura 3. Valores de CAD para a camada de 1m dos solos de Santa Catarina

Fonte: Blainski *et al.* (2016)

Teixeira *et al.* (2021) propuseram uma função de pedotransferência para estimar a AD do solo em função da granulometria baseada nos dados de solos do Brasil.

$$AD = \{1 + [0,35941*(-0,02128887*AT - 0,01005814*SIL - 0,01901894*ARG + 0,0001171219*(AT*SIL) + 0,0002073924*(AT*ARG) + 0,00006118707*(SIL*ARG) - 0,000006373789 * (AT*SIL*ARG))]\wedge 2,78474\} * 10 \quad (7)$$

Em que:

AD = água disponível (mm/cm);

AT = conteúdo de areia (%);

SIL = conteúdo de silte (%);

ARG = conteúdo de argila (%).

1.1.1 Água Facilmente Disponível (AFD) ou Água Prontamente Disponível (APD)

Apesar de o conceito de AD definir que toda a água em sua faixa está disponível para a planta, na realidade a água é mais facilmente disponível quando está próxima da capacidade de campo (CC). Na medida em que há extração de água pelo sistema radicular das plantas, o potencial da água no solo diminui e a água restante torna-se mais difícil de ser retirada, tendo em vista que está retida com maior sucção.

Como as plantas apresentam maior grau de dificuldade para a extração de água em potencial menor (menores teores de umidade) se definiu o termo *Água Prontamente Disponível* (APD) ou também chamada de *Água Facilmente Disponível* (AFD). No manejo da irrigação deve-se evitar que o conteúdo de água no solo atinja valores inferiores à APD, evitando assim o estresse hídrico. Por isso, em função da cultura, das condições de clima e de solo, é estabelecido o fator de disponibilidade (f), tendo em vista o maior ou menor grau de dificuldade que a planta poderá ter para extrair água do solo. Dessa forma, a APD pode ser estimada por:

$$APD = AD \cdot f \quad (8)$$

Em que:

APD = água prontamente disponível (mm/cm);

AD = água disponível (mm/cm);

f = fator de disponibilidade ($0 \leq f \leq 1$).

O fator de disponibilidade f representa a fração de esgotamento de água no solo, sem que ocorra déficit hídrico para a cultura. Este fator depende do tipo de cultura e da Evapotranspiração máxima (ET_m). Doorenbos e Kassam (1979) apresentam o fator f (Tabela 5) para quatro grupos de cultura, conforme a Tabela 6. Allen *et al.* (1998) apresentam valores da máxima fração de esgotamento da água disponível do solo (f) para fins de irrigação sem estresse hídrico e evapotranspiração de cultivo (ET_c) de 5mm d⁻¹ (Tabela 7).

Tabela 5. Fator de disponibilidade (f) para grupos de cultura em função da evapotranspiração máxima (ETm)

Grupo de cultura	ETm (mm)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,30
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

Tabela 6. Fator de disponibilidade de água no solo (f) em função do grupo de culturas

Grupo	Culturas
1	Cebola, pimenta e batata
2	Banana, repolho, uva, ervilha e tomate
3	Alfafa, feijão, cítricas, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo
4	Algodão, milho, azeitona, açafraão, sorgo, soja, beterraba, cana e fumo

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

Tabela 7. Fator de disponibilidade de água no solo (f) para fins de irrigação sem estresse hídrico e evapotranspiração de cultivo de 5mm d⁻¹

Cultura	Fator f	Cultura	Fator f
(A) Hortaliças de pequeno porte		(F) Hortaliças perenes	
Brócolis	0,45	Alcachofra	0,45
Couve-de-bruxelas	0,45	Aspargo	0,45
Repolho	0,45	Hortelã	0,40
Cenoura	0,35	morango	0,20
Couve-flor	0,45	(G) Plantas fibrosas	
Aipo	0,20	Algodão	0,65
Alface	0,30	(H) Plantas oleaginosas	
Cebola-seca	0,30	Mamona	0,50
Cebola-semente	0,35	Canola	0,60
Espinafre	0,20	Gergelim	0,60
Rabanete	0,30	Girassol	0,45
(B) Hortaliças – Solanáceas		(I) Cereais	
Berinjela	0,45	Cevada	0,55
Pimentão	0,30	Aveia	0,55
Tomate	0,40	Trigo	0,55

Continua...

(continuação)

Cultura	Fator f	Cultura	Fator f
(C) Hortaliças – Cucurbitáceas		Milho	0,55
Melão-cantalupo	0,45	Milheto	0,55
Pepino	0,50	Sorgo-grão	0,55
Abóbora	0,35	Arroz	0,20
Abobrinha	0,50	(J) Plantas forrageiras	
Melão	0,40	Pasto	0,60
Melancia	0,40	Gramado estação fria	0,40
(D) Raízes e Tubérculos		Gramado estação quente	0,50
Mandioca 1° ano	0,35	(K) Cana-de-açúcar	0,65
Mandioca 2° ano	0,40	(L) Frutas tropicais e árvores	
Beterraba	0,50	Banana	0,35
Batata	0,35	Cacau	0,30
Batata-doce	0,65	Café	0,40
Nabo	0,50	Palmáceas	0,65
(E) Leguminosas		Abacaxi	0,50
Feijão-vagem	0,45	Chá sem sombreamento	0,40
Feijão	0,45	Chá sombreado	0,45
Feijão-mungo e feijão-caupi	0,45	(M) Uva	
Grão-de-bico	0,50	Uva de mesa ou passa	0,35
Amendoim	0,50	Uva para vinho	0,45
Lentilha	0,50	(M) Árvores frutíferas	
Ervilha fresca	0,35	Maça, cerejeira, pera, Pêssego e citrus	0,50
Ervilha seca	0,40	Abacate	0,70
Soja	0,50	Kiwi	0,35

Fonte: Allen *et al.* (1998)

Os valores da Tabela 7 foram sugeridos por Allen *et al.* (1998) para cultivos sem estresse hídrico sob ET_c de 5mm dia^{-1} . Para clima quente e seco, com elevada ET, os valores da Tabela 7 são 10 a 25% menores. Para baixos valores de ET, podem ser acrescidos em 20%. Para solos argilosos, devem ser reduzidos de 5 a 10% e, para solos arenosos, devem ser acrescidos em 5 a 10%. Para valores de ET_c diferentes de 5mm d^{-1} os valores da Tabela 7 podem ser ajustados pela equação:

$$f = f_{tab} + 0,04(5 - ET_c) \quad (9)$$

sendo f_{tab} o valor do fator f apresentado na Tabela 7.

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) comentam que o fator de disponibilidade (f) varia entre 0,2 e 0,8, sendo os menores valores usados em culturas mais sensíveis ao déficit de água no solo, enquanto que os maiores são indicados para culturas mais resistentes. Os autores destacam ainda que de modo geral podem-se dividir as culturas irrigadas em três grandes grupos de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8. Fator de disponibilidade de água no solo (f)

Grupo de culturas	Valores de f
Verduras e legumes	0,2 a 0,6
Frutas e forrageiras	0,3 a 0,7
Grãos e algodão	0,4 a 0,8

Fonte: Bernardo, Soares e Mantovani (2006)

1.2 Dados de precipitação

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas com maior quantidade de dados disponíveis, com longas séries históricas observadas. No Brasil, as estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) são fontes de dados diários de precipitação que podem ser acessados diretamente (ANA, 2025). Também o INMET disponibiliza dados de precipitação e outras variáveis meteorológicas que permitem estimar a evapotranspiração (Inmet, 2025). Além dessas redes nacionais, a maioria dos estados tem redes de estações meteorológicas que podem ser utilizadas. Cada estado ou órgão responsável tem sua política própria de acesso aos dados históricos. Em Santa Catarina, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural (Epagri) possui uma rede automática de estações meteorológicas operadas pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia - Ciram (Epagri, 2020).

O Balanço Hídrico Seriado pode ser calculado a partir desses dados históricos, entretanto, é fundamental garantir a qualidade dos dados, principalmente verificando e eliminando as falhas nas séries consideradas.

1.3 Irrigação

O Balanço Hídrico é uma ferramenta estratégica para avaliar a necessidade de irrigação em sistemas agrícolas. Para isso, é possível incorporar à modelagem um limite crítico de umidade do solo, que, ao ser atingido, aciona a simulação da irrigação, elevando o teor de umidade até a CC. Esse limite crítico é representado pela APD, que corresponde à

fração da água do solo mais facilmente acessada pelas plantas, antes do início do estresse hídrico.

Outra abordagem consiste em determinar o balanço hídrico sem considerar a irrigação, permitindo a quantificação dos déficits hídricos ocorridos ao longo do período analisado. Essa estratégia é útil para avaliar a vulnerabilidade das culturas frente à escassez hídrica e para o planejamento de práticas de manejo em regiões onde o fornecimento de água é limitado ou ausente.

1.4 Evapotranspiração

De modo geral, água necessária a uma determinada cultura é equivalente à evapotranspiração (Albuquerque, 2007). Vários estudos agrometeorológicos, como zoneamento agrícola, estimativa da necessidade de irrigação, balanço hídrico, estimam a evapotranspiração das culturas (ET_c) com base na evapotranspiração de referência (ET_o) corrigida pelo coeficiente da cultura (K_c) (Santos *et al.*, 2021). Como a determinação de evapotranspiração é difícil e trabalhosa (Cruz *et al.*, 2017), e considerando que os principais fatores que atuam sobre a evapotranspiração são fatores meteorológicos, a prática comum adotada é estimar a ET_o a partir das variáveis climáticas. Nesse sentido, foram desenvolvidos vários métodos para estimar a ET_o e a escolha do método a ser usado depende principalmente da disponibilidade de séries históricas do local de estudo (Shiri *et al.*, 2014).

A evapotranspiração é fortemente influenciada pelos parâmetros meteorológicos, como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa e radiação solar (Assis *et al.*, 2021). A variabilidade diária, sazonal e anual destes parâmetros implica em uma grande variação dos valores de evapotranspiração.

Em diversas aplicações agrônômicas, os dados diários de evapotranspiração são agrupados em períodos, geralmente variando de cinco dias até mensais. A variação dos dados de ET_o também depende da duração do período em que os dados são agrupados. Back (2007) constatou que a ET_o média não é diferente estatisticamente quando calculada com intervalos de um, cinco, dez, 15 dias ou mensais. No entanto, a ET_o com 75% de probabilidade, calculada em intervalo diário foi em média 17% superior aos valores calculados em intervalo mensal. Essa diferença diminui à medida que aumenta o intervalo, sendo respectivamente de 8,4% e 4,8% para os intervalos de cinco e dez dias.

1.4.1 Evapotranspiração de Referência (ET₀)

Doorenbos e Pruitt (1984) definem a Evapotranspiração de Referência como aquela que ocorre em uma extensa superfície de grama com altura de 0,08 a 0,15m, em pleno desenvolvimento, cobrindo totalmente o terreno e sem restrição hídrica do solo. Para Pereira *et al.* (1997), a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, sem restrição de umidade, é chamada de Evapotranspiração de Referência, representada por ET₀. A superfície de referência é uma grama hipotética com algumas características específicas. Outras denominações como Evapotranspiração Potencial (ETP) não são mais recomendadas devido à ambiguidade nas definições (Pereira *et al.*, 1997; Carvalho *et al.*, 2011).

O conceito de Evapotranspiração de Referência foi introduzido no estudo da demanda evaporativa da atmosfera independente do tipo de planta, estágio de desenvolvimento e prática de manejo. Como a umidade é abundante, os fatores de solo não afetam a evapotranspiração. Os únicos fatores que afetam a ET₀ são os parâmetros meteorológicos. Dessa forma, a ET₀ é um parâmetro climático que pode ser calculado a partir de dados meteorológicos. ET₀ expressa o poder evaporante da atmosfera num local específico ou em determinada época do ano e não considera as características da planta nem do solo. (Allen *et al.*, 1998).

1.4.2 Método de Penman-Monteith

Visando à padronização nas estimativas de ET₀, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda a equação de Penman-Monteith (PM-FAO 56) como padrão, pois os resultados indicaram que o método de PM-FAO 56 apresenta estimativas mais seguras comparadas aos dados de lisímetros (Allen *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 2021).

Segundo Allen *et al.* (1998) a ET₀, pelo método de Penman-Monteith-FAO, possui a seguinte notação:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (10)$$

Em que:

ET₀ = evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹);

R_n = saldo de radiação à superfície (MJ.m⁻².d⁻¹);

G = fluxo de calor sensível no solo (MJ.m⁻².d⁻¹);

T = temperatura média do ar (°C);

U₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹);

(e_s - e_a) = déficit de pressão de vapor (kPa);

δ = declividade da curva de pressão de saturação (kPa.°C⁻¹);

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Para o cálculo da ETo pelo método PM-FAO há necessidade de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar ou insolação. Essas informações geralmente somente estão disponíveis em estações meteorológicas mais completas. Na ausência desses dados podem-se utilizar métodos empíricos baseados em dados mais facilmente disponíveis, onde se destacam os métodos baseados na temperatura, como o método de Hargreaves-Samani, Camargo, Thornthwaite (Pereira *et al.*, 1997).

1.4.3 Equação de Thornthwaite

A Evapotranspiração Potencial média mensal padrão para um mês de 30 dias e cada dia com 12 horas de foto período são estimados pelas equações:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a fc \quad (11)$$

Em que:

ETo = evapotranspiração (mm mês⁻¹);

T = temperatura média mensal (°C);

I = índice de calor obtido a partir de dados normais da região, calculados por:

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

Em que:

T_i = temperatura média mensal mês i (°C).

Segundo Camargo (1966), nos meses em que a temperatura média mensal for inferior a 0°C não devem ser incluídos no cálculo de I.

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 + 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,46239 \quad (13)$$

Como Thornthwaite considerou o mês com 30 dias e os dias com 12 horas, o fator de correção para o número de dias do mês e para o comprimento do dia conforme:

$$fc = \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (14)$$

Em que:

N = duração média mensal do fotoperíodo do mês (h);

ND = número de dias do mês (dias).

Este método tem sido extensivamente utilizado em todo o mundo, principalmente

pelo fato de requerer somente dados de temperatura, os quais, juntamente com a precipitação, são as informações meteorológicas mais disponíveis. Também é muito utilizado para classificação climática, pela facilidade de calcular e possibilidade de comparar dados de diferentes regiões.

1.4.4 Estimativas por regressão

Massignam e Pandolfo (2006) propuseram, para o estado de Santa Catarina, a equação para estimar a ETo média mensal correlacionada com a ETo média mensal estimada pelo método de Thornthwaite em função das coordenadas geográficas e altitude conforme:

$$ETo = a + b \text{ Lat} + c \text{ Lon} + d \text{ Alt} \quad (15)$$

Em que:

ETo = evapotranspiração de referência;

Alt = altitude (metros);

Lon = longitude (graus e décimos positiva);

Lat = latitude (graus e décimos positiva);

a, b, c e d são os parâmetros do modelo (Tabela 9).

Tabela 9. Coeficiente de determinação (r^2) e valores dos coeficientes das equações de regressão da estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual em função da altitude, latitude e longitude no estado de Santa Catarina

Período	Coeficientes da equação 15				r^2
	Intercepto (a)	Altitude (b)	Longitude (c)	Latitude (d)	
Janeiro	7,57	-0,0360	3,40	-1,61	0,89
Fevereiro	66,32	-0,0306	2,07	-2,02	0,93
Março	123,89	-0,0287	1,03	-2,44	0,92
Abril	178,66	-0,0188	-0,68	-2,52	0,84
Mai	152,99	-0,0120	-1,16	-1,49	0,77
Junho	126,27	-0,0064	-1,07	-1,22	0,64
Julho	107,11	-0,0052	-0,46	-1,69	0,53
Agosto	78,41	-0,0056	0,46	-2,02	0,58
Setembro	40,45	-0,0085	1,21	-1,63	0,77
Outubro	43,75	-0,0147	2,26	-2,88	0,77
Novembro	19,15	-0,0210	2,87	-2,43	0,82
Dezembro	1,59	-0,0303	3,70	-2,37	0,86
Anual	834,40	-0,2255	15,90	-24,28	0,91

Fonte: Massignam e Pandolfo (2006)

Wrege *et al.* (2012) ajustaram a equação 16 para estimativa da evapotranspiração válida para os três estados do sul do Brasil, expressa por:

$$ETP = a + b \text{ Lat} + c \text{ Long} + d \text{ Alt} \quad (16)$$

Em que:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês);

Lat = latitude em graus e décimos, negativo para o hemisfério sul;

Long = longitude em graus e décimos, negativo para o hemisfério sul;

Alt = altitude em metros;

a, b, c, d são os coeficientes obtidos da regressão múltipla, para cada mês (Tabela 10).

Tabela 10. Coeficientes para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) para a Região Sul do Brasil

Período	a	b	c	d
Janeiro	22,459	2,032	-3,341	-0,035
Fevereiro	93,443	1,825	-1,444	-0,03
Março	113,89	2,719	-1,406	-0,028
Abril	137,3	3,132	-0,525	-0,019
Maiο	129,31	1,502	0,691	-0,012
Junho	110,02	1,686	0,505	-0,006
Julho	103,84	1,956	0,226	-0,006
Agosto	99,165	2,762	-0,48	-0,006
Setembro	106,1	4,118	-1,29	-0,011
Outubro	84,589	3,753	-1,733	-0,014
Novembro	70,348	3,649	-2,557	-0,022
Dezembro	13,594	2,765	-3,725	-0,029
Anual	1084,1	31,898	-15,09	-0,219

Fonte: Wrege *et al.* (2012)

1.4.5 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Evapotranspiração da cultura em condições padrão (ETc) é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura bem fertilizada, livre de pragas e doenças, que cobre completamente o solo e cresce sob condições ótimas de disponibilidade hídrica, de forma a alcançar seu máximo potencial produtivo nas condições climáticas locais.

O valor de ETc representa, portanto, a demanda hídrica real da cultura em um ambiente ideal, sendo uma referência fundamental para o manejo eficiente da água na agricultura.

O conhecimento da ETc é essencial em projetos de irrigação, pois permite estimar com acurácia a quantidade de água que deve ser reposta no solo para que as plantas

mantenham seu crescimento e produtividade em condições ideais, sem sofrer estresse hídrico. Isso contribui para o uso racional dos recursos hídricos e para o aumento da eficiência no sistema de irrigação.

A ETc pode ser relacionada com a ETo:

$$ETc = Kc \text{ ETo} \quad (17)$$

Em que:

Kc = coeficiente de cultura;

ETo = evapotranspiração de referência.

O coeficiente de cultura varia de acordo com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento. Na Tabela 11 constam valores de Kc apresentados por Doorenbos e Kassam (1979). Deve-se observar ainda que Kc varia de acordo com o método para a estimativa de ETo.

Tabela 11. Coeficiente de cultura (Kc) de algumas culturas em vários estádios de desenvolvimento

Cultura	Estádios de desenvolvimento da cultura					Período total de crescimento
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	
Alfafa	0,30-0,40				1,05-1,20	0,85-1,05
Algodão	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,90	0,65-0,70	0,80-0,90
Amendoim	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,75-0,85	0,55-0,60	0,75-0,8
Arroz	1,10-1,15	1,10-1,50	1,10-1,3	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Banana tropical	0,40-0,50	0,75-0,85	1,00-1,10	0,90-1,00	0,75-0,85	0,70-0,80
subtropical	0,50-0,65	0,80-0,90	1,00-1,20	1,00-1,15	1,00-1,15	0,85-0,95
Batata	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,02	0,85-0,95	0,70-0,75	0,75-0,90
Beterraba	0,40-0,50	0,75-0,85	1,05-1,20	0,90-1,00	0,60-0,70	0,80-0,90
Cana-de-açúcar	0,40-0,50	0,70-1,00	1,00-1,30	0,75-0,80	0,50-0,60	0,85-1,05
Cebola seca	0,40-0,60	0,70-0,80	0,95-1,10	0,85-0,90	0,95-0,85	0,80-0,90
Cebola verde	0,40-0,60	0,60-0,75	0,95-1,05	0,95-1,05	0,95-1,05	0,65-0,80
Citros com controle de ervas						0,65-0,75
sem controle de erva						0,85-0,90
Ervilha (fresca)	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	1,00-1,15	0,95-1,10	0,80-0,95
Feijão						
vagem	0,30-0,40	0,65-0,75	0,95-1,05	0,90-0,95	0,85-0,95	0,85-0,90
p/ grãos	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,25-0,30	0,70-0,80
Fumo	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,20	0,90-1,00	0,75-0,85	0,85-0,95
Girassol	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,20	0,70-0,80	0,35-0,45	0,75-0,85
Melancia	0,30-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80-0,90	0,65-0,75	0,75-0,85
Milho verde	0,30-0,50	0,70-0,90	1,05-1,20	1,00-1,15	0,95-1,10	0,80-0,95
Milho grãos	0,30-0,50	0,80-0,85	1,05-1,20	0,80-0,95	0,55-0,60	0,75-0,90
Pimenta (fresca)	0,30-0,40	0,60-0,75	0,95-1,10	0,85-1,00	0,80-0,90	0,70-0,80
Repolho	0,30-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,90-1,00	0,80-0,95	0,70-0,80
Soja	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,15	0,70-0,80	0,40-0,50	0,75-0,90
Sorgo	0,30-0,40	0,70-0,75	1,00-1,15	0,75-0,80	0,50-0,55	0,75-0,85
Tomate	0,30-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,95	0,60-0,65	0,75-0,90
Trigo	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,20-0,25	0,80-0,90
Videira	0,35-0,55	0,60-0,80	0,70-0,90	0,60-0,80	0,55-0,70	0,55-0,75

Primeiro número: sob alta umidade (Urmin > 70%) e vento fraco (V < 5m/s).

Segundo número: sob baixa umidade (Urmin < 20%) e vento forte (V > 5m/s).

Caracterização dos estádios:

- Estádio I – emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (DV)
- Estádio II – 10% do DV até 80% do DV
- Estádio III – 80% do DV até 100% do DV (inclusive frutos formados)
- Estádio IV – maturação
- Estádio V – colheita

Fonte: (Doorenbos; Kassam, 1979)

Com os dados da Tabela 11 pode-se estabelecer as curvas de Kc ao longo do ciclo da cultura. Por exemplo, para o plantio do milho na data de 15 de setembro, com início do florescimento previsto para 1º de dezembro e a maturação em 10 de janeiro, pode-se obter da Tabela 11 os valores de Kc = 0,5 para o estágio I, Kc = 1,1 para o estágio II e Kc = 0,6 para final do estágio IV. Com essas informações pode-se determinar os seguintes valores de Kc para o ciclo de 115 dias, conforme Tabela 11 e Figura 4.

Tabela 12. Fases da cultura do milho e Kc

Fase		Duração	Data	Kc
Inicial	P – P20	20	15/09 a 04/10	0,5
Desenvolvimento	P20 - F	56	05/10 a 30/11	Interpolação
Floração	F - EG	21	01/12 a 22/12	1,1
Maturação	EG - MF	18	23/12 a 10/01	Interpolação
Colheita	MF- C	-	11/01	0,6

P = Plantio; P20 = 20 dias após o plantio; F = Floração; EG = Enchimento do grão. MF = Maturação fisiológica; C = Colheita

Fonte: Dos autores (2025)

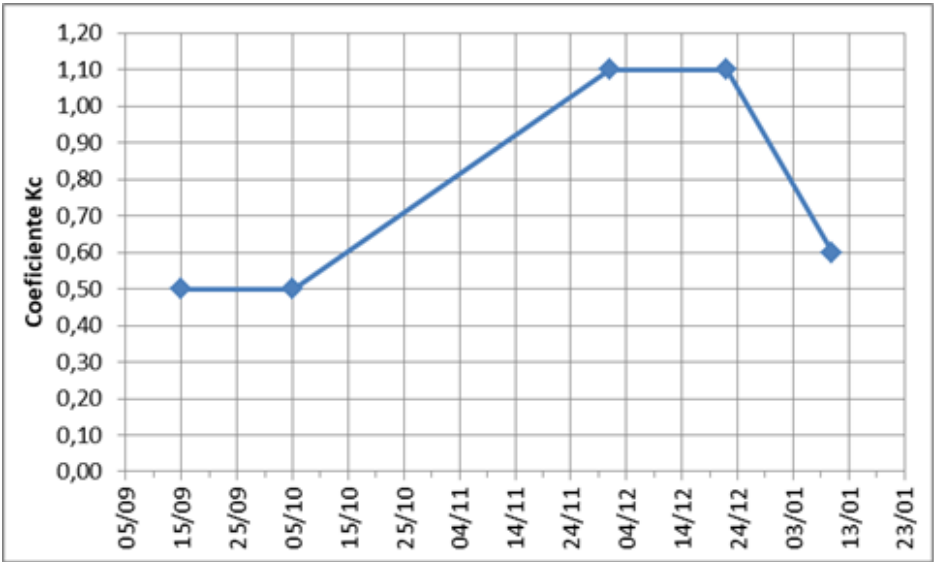


Figura 4. Curva de Kc para a cultura do milho, elaborada com os dados das tabelas 11 e 12

Fonte: Dos autores (2025)

1.4.6 Evapotranspiração real (ETr)

A evapotranspiração real (ETr) é a quantidade de água que realmente é transferida para a atmosfera a partir de uma superfície vegetada. Este processo é limitado pela umidade do solo, ou seja, quando o solo não tem água suficiente, a ETr é menor do que a evapotranspiração da cultura (ETc), resultando em um déficit hídrico para a planta. Dessa forma, se a umidade não é limitante, a ETr é igual à ETc. No entanto, quando o armazenamento de água no solo é inferior a AFD, ocorre déficit hídrico e a ETr será inferior à ETc.

1.4.7 Dados médios de ET no Balanço Hídrico Seriado

Como normalmente se dispõem de séries de precipitação maiores que as séries de dados de ETo, tem sido comum usar os valores médios de ETo para simular o balanço hídrico. Dessa forma, pode-se usar os dados de ETo médios por mês, ou por períodos menores como decêndios e pântadas. Back e Vieira (2007) mostraram que o uso da ETo média condicionada para dias secos e chuvosos pode melhorar a acurácia da estimativa de déficit hídrico no BH seriado. Dufloth e Back (2012) realizaram o balanço hídrico usando a ETo calculada para os dias com chuva e para os dias sem chuva (dias secos) e constataram ganhos nos índices de precisão e desempenho em relação ao balanço hídrico calculado de evapotranspiração média diária.

Valores de ETo médios por pântada, bem como valores de ETo para dias secos e dias chuvosos, foram determinados com dados de algumas estações meteorológicas de Santa Catarina, entre as quais, Urussanga (Back, 2015); Chapecó (Back, 2022); Ituporanga (Back; Soneto, 2025); Videira (Back *et al.*, 2024). Os resultados desses trabalhos destacam alguns aspectos importantes que podem ser usados para melhorar a acurácia nos dados de ETo. Os dados de Chapecó, Ituporanga e Videira mostram que os valores de ETo obtidos pelo método PM-FAO apresentam diferenças superiores a 20% em relação aos valores estimados com as equações propostas por Wrege *et al.* (2012) e Massignam e Pandolfo (2006) nos meses de agosto a novembro, indicando que o uso dos valores médios referenciados pode subestimar a necessidade de irrigação. Back (2022) determinou os valores de ETo para Chapecó pelo método de Penman-Monteith (Figura 5) em que observou que a relação entre a ETo dos dias secos e ETo dos dias chuvosos varia de 1,22 a 1,65, com média de 1,38. Back (2015), analisando dados de ETo de Urussanga, obteve essa relação variando de 1,18 a 1,59. Nas pântadas correspondentes aos meses de outono e inverno, quando ocorre menor proporção de dias chuvosos, observa-se que a ETo média se aproxima mais da ETo dos dias secos.

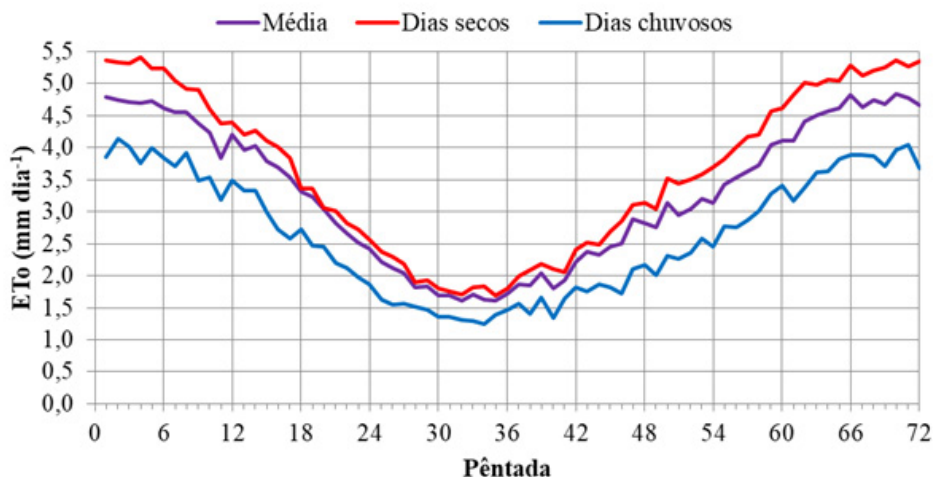


Figura 5. Variação de evapotranspiração de referência por pântada para Chapecó, SC (01/071973 a 30/11/2016)

Fonte: Back (2022)

2 Modelo de Balanço Hídrico Thornthwaite e Mather

O modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather pode ser representado com a equação:

$$ARM_{(i)} = ARM_{(i-1)} - ETr_{(i)} + P_{(i)} + Ir_{(i)} - Dp_{(i)} \quad (18)$$

Em que:

ARM = armazenamento de água no solo no período i (mm);

ETr = evapotranspiração real (mm);

P = precipitação (mm);

Ir = irrigação (mm);

Dp = perdas por percolação profunda (mm);

i = período considerado.

A evapotranspiração real depende da umidade do solo ou do armazenamento de água no solo. Braga (1982) descreveu a metodologia para representar as relações entre evapotranspiração real e o armazenamento de água no solo. Segundo essa metodologia, a evapotranspiração real é igual à evapotranspiração máxima quando o armazenamento de água se encontra acima do limite crítico de umidade. Abaixo do limite crítico, a relação entre a evapotranspiração real e a máxima decresce de forma exponencial com o

decréscimo do armazenamento de água no solo. O limite que define a água remanescente no solo abaixo do qual a ET_r se torna menor que a ET_m foi chamado por Braga (1982) de armazenamento crítico, sendo dado pela expressão:

$$ARM_{cri} = (1 - f) \cdot CAD, \quad (19)$$

Em que:

ARM_{cri} = armazenamento crítico de água no solo (mm);

f = fração de água disponível (ou fator de água disponível) (Tabelas 5 e 7);

CAD = capacidade de água disponível (mm).

Na dinâmica do cálculo do balanço hídrico, faz-se o cotejo entre a precipitação e a ET_c (também denominada como evapotranspiração máxima – ET_m), conforme:

$$Pet_{(i)} = P_{(i)} - ET_{m(i)} \quad (20)$$

Em que:

Pet = saldo entre a precipitação e a evapotranspiração máxima (mm).

Se as diferenças apresentam valores negativos, estes são considerados como negativos acumulados, representando a perda potencial de água, que pode ocorrer em virtude da precipitação não atender à demanda imposta pela evapotranspiração. Os valores de negativo acumulado são obtidos pelo somatório dos valores negativos sequenciais, quando a evapotranspiração supera a precipitação, na equação abaixo:

$$NEG_{(i)} = NEG_{(i-1)} + [P_{(i)} - ET_{m(i)}], \quad \text{quando } Pet_{(i)} < 0 \quad (21)$$

Quando o valor do negativo acumulado for menor que a água facilmente disponível, o valor do armazenamento de água no solo é estimado pela equação:

$$ARM_{(i)} = CAD_{(i)} - NEG_{(i)} \quad (22)$$

Em que:

ARM_(i) = armazenamento de água no solo (mm).

E quando o valor do negativo acumulado for maior que a água facilmente disponível, o armazenamento é definido pela equação:

$$ARM_{(i)} = CAD_{(i)} \exp \left\{ b_{(i)} \left[NEG_{(i)} + \frac{\ln(1-f_{(i)})}{b_{(i)}} - f_{(i)} CAD_{(i)} \right] \right\} \quad (23)$$

Em que:

f = fator de água disponível;

b = coeficiente angular da função entre armazenamento e negativo cumulado.

No cálculo do parâmetro b foi utilizada a expressão ajustada por Cardoso (1995), conforme:

$$b = 6,895 \cdot 10^{-5} + 7,149 \cdot 10^{-7} CAD - \frac{1,025}{CAD} \quad (24)$$

Quando Pet for positivo, isto é, a precipitação que infiltra supera o valor de ETm, interrompendo a sequência de valores negativos, o valor do armazenamento é calculado conforme a equação:

$$ARM_{(i)} = ARM_{(i-1)} + (P_{(i)} - ETm_{(i)}) \quad (25)$$

O valor do negativo acumulado é calculado em função do armazenamento. Se o valor do armazenamento for maior ou igual ao armazenamento crítico, utiliza-se a equação:

$$NEG_{(i)} = CAD_{(i)} - ARM_{(i)}. \quad (26)$$

Se o armazenamento for menor que o armazenamento crítico, utiliza-se a seguinte equação:

$$NEG_{(i)} = \frac{\left[\ln \left(\frac{ARM_{(i)}}{CAD_{(i)}} \right) - \ln(1-f_i) + b_{(i)} f_{(i)} CAD_{(i)} \right]}{b_{(i)}} \quad (27)$$

Considerando que o armazenamento máximo é limitado pela CAD, e que a diferença, quando esse valor é superado, é perdida por percolação profunda, esta perda é estimada como a seguir:

$$Dp_{(i)} = [ARM_{(i-1)} + (P_{(i)} - ETm_{(i)})] - CAD_{(i)} \quad (28)$$

Quando o armazenamento de água no solo é igual à capacidade de água disponível no solo, o valor do negativo acumulado é nulo, isto é:

$$NEG_{(i)} = 0, \quad \text{para } ARM_{(i)} = CAD_{(i)} \quad (29)$$

Uma vez calculado o valor de armazenamento de água no solo para o período considerado, determina-se a alteração no armazenamento em relação ao período anterior com a seguinte expressão:

$$ALT_{(i)} = ARM_{(i)} - ARM_{(i-1)} \quad (30)$$

Em que ALT é a alteração de água no solo (mm).

Com o valor da alteração da umidade do solo pode-se calcular a evapotranspiração real, que depende da condição hídrica do solo. Quando o valor da alteração de armazenamento de água no solo for nulo ou positivo, a evapotranspiração real é igual à evapotranspiração da cultura, isto é:

$$ETr_{(i)} = ETc_{(i)} \quad \text{para } ALT_{(i)} \geq 0. \quad (31)$$

E quando o valor da alteração de água no solo for negativo, a ETr é calculada pela soma do módulo da alteração com o saldo entre a precipitação que infiltra e a ETc, isto é:

$$ETr_{(i)} = ALT + (P_{(i)} - ETm_{(i)}) \quad \text{para } ALT < 0. \quad (32)$$

O déficit hídrico no período é determinado pela diferença entre ETC e a ETr, sendo calculado pela expressão:

$$DEF_{(i)} = ETC_{(i)} - ETr_{(i)} \quad (33)$$

A ETC é dada pela equação:

$$ETC_{(i)} = ETo_{(i)} * Kc_{(i)} \quad (34)$$

Em que:

Etc = evapotranspiração da cultura (mm);

ETo = evapotranspiração de referência (mm);

Kc = coeficiente de cultura.

O modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, assim como qualquer modelo simplificado, apresenta limitações. Algumas limitações do modelo apresentado podem ser destacadas:

- Consideram-se como entradas de água no sistema a precipitação e irrigação, desprezando outras como ascensão capilar. Pereira *et al.* (1997) comentam que o escoamento superficial de entrada e saída, bem como a drenagem lateral de entrada e saída, geralmente tendem a se anular. Os autores destacam também que a ascensão capilar pode ser desprezível em solos profundos;

- O balanço hídrico considera a camada de solo explorada pelas raízes ou onde se encontram aproximadamente 80% do sistema radicular da planta, denominada de profundidade efetiva. Essa, por sua vez, varia ao longo do desenvolvimento das culturas e no espaço. O modelo considera esses valores como constantes e representados pela CAD;

- Todo o excesso de água é computado como drenagem profunda e considera as perdas de água que não retornam ao sistema;

- O modelo considera as entradas (chuva) e saídas (evapotranspiração e percolação), que ocorrem de forma instantânea. Na prática, mesmo com o balanço hídrico diário, a chuva e a evapotranspiração ocorrem distribuídas ao longo do dia. Já a drenagem e as perdas por percolação podem ocorrer durante um período maior e, dessa forma, as perdas podem estar superestimadas;

- O modelo considera que não há restrição à infiltração e que o máximo de água armazenada no solo é dado pela umidade na capacidade de campo. Considera ainda que todo excedente de água é perdido por percolação profunda, não havendo restrição à drenagem.

Mesmo com as limitações, o balanço hídrico tem sido considerado eficiente para o planejamento de atividades agrícolas (Pereira; Camargo, 1989) e um dos métodos mais utilizados para balanço hídrico com fins agrícolas (Camargo; Camargo, 2000).

3 Efeito do déficit hídrico no rendimento das culturas

As relações entre clima, solo, água e as culturas são complexas e dependentes de muitos processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos (Doorenbos; Kassam, 1979). No entanto, para fins de planejamento e manejo de projetos de irrigação é possível estimar as perdas na produtividade em função do déficit hídrico.

A relação entre o rendimento dos cultivos e o fornecimento de água pode ser determinada quando se podem quantificar de um lado, as necessidades de água e os déficits de água de uma cultura e, de outro, seu rendimento máximo e o rendimento real. Doorenbos e Kassam (1979) apresentaram essas relações pela seguinte expressão:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (35)$$

Em que:

Y_r = rendimento real da cultura;

Y_m = rendimento máximo da cultura;

K_y = fator do efeito do déficit hídrico sobre o rendimento;

ET_r = evapotranspiração real;

ET_m = evapotranspiração máxima, dada pela ET_c .

O valor de K_y depende de vários fatores, como a cultura, a fase da cultura, a profundidade do lençol freático e a salinidade do solo. Doorenbos e Kassam (1979) apresentam valores para diversas culturas obtidos de inúmeros trabalhos de pesquisa (Tabela 13).

Tabela 13. Fator do efeito do déficit hídrico sobre o rendimento (Ky)

Cultivo	(Ky)
Alfafa	0,70 – 1,10
Banana	1,20 – 1,35
Feijão	1,15
Repolho	0,95
Cítricos	0,80 – 1,10
Algodão	0,85
Videira	0,85
Amendoim	0,70
Milho	1,25
Cebola	1,10
Ervilha	1,15
Pimenta	1,10
Batata	1,10
Cártamo	0,80
Sorgo	0,90
Soja	0,85
Beterraba	0,60 -1,00
Cana-de-açúcar	1,20
Girassol	0,95
Tabaco	0,90
Tomate	1,05
Melancia	1,10
Trigo inverno	1,15
Trigo primavera	1,00

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

Quanto maior o valor de Ky, mais sensível é a cultura ao déficit hídrico. O valor de Ky =1,25 para a cultura do milho indica que a ocorrência de 30% de déficit hídrico representará 37,5% ($1,25 * 30\%$) de perda de produtividade.

4 HidroBH 1.0 – Programa de computador para cálculo do balanço hídrico

O programa HidroBH 1.0 foi desenvolvido em linguagem Delphi 11.3 para ser executado em ambiente Windows. O programa está disponível para download no endereço eletrônico da Epagri <https://docweb.epagri.sc.gov.br/pub/ProgramaHidroBH1.0.zip>.

O programa está organizado com as seguintes pastas (Figura 6)

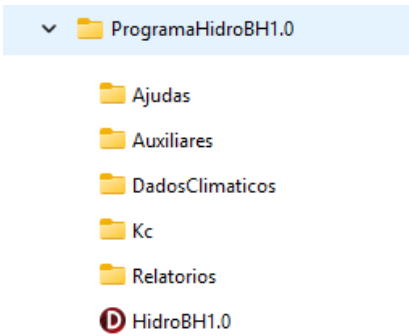


Figura 6. Organização das pastas e programa HidroBH 1.0

Fonte: Dos autores (2025)

A estrutura das pastas contém os seguintes arquivos

Pasta/Diretório	Conteúdo
Auxiliares	Arquivos de ajuda do programa
Dados climáticos	Indicação para arquivar os dados de chuva e evapotranspiração a serem utilizados
Kc	Indicação para os arquivos com os dados do coeficiente Kc
Relatórios	Indicação para armazenar os relatórios do programa

Na Figura 7 consta a tela de configuração do programa, constituído por quinze abas de cálculo/configuração. Na aba inicial, **Dados do clima**, constam as diferentes opções para os arquivos de dados de chuva e de evapotranspiração (ET), que podem estar em arquivos separados ou no mesmo arquivo.

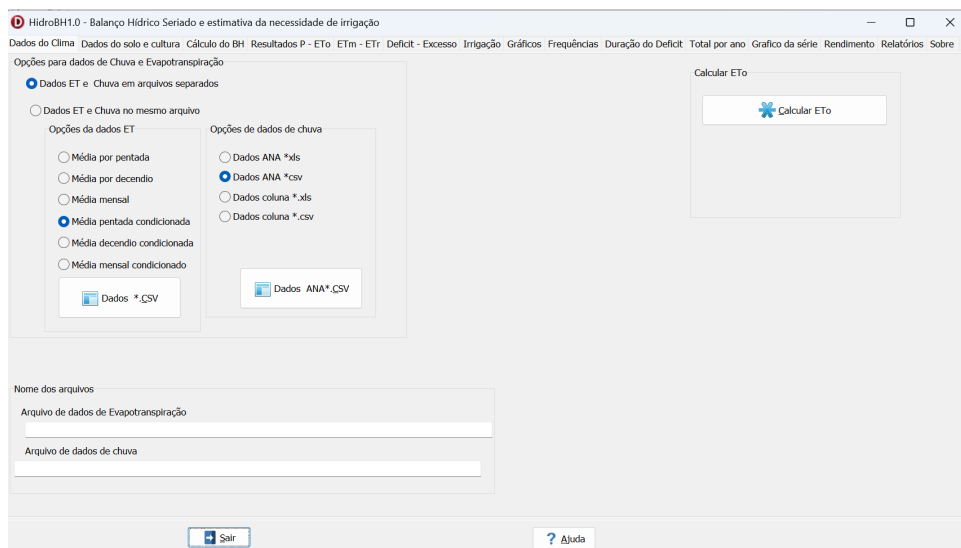


Figura 7. Tela Dados do clima do HidroBH1.0

Fonte: Dos autores (2025)

Para a opção de **Dados de ET e chuva em arquivos separados** existem várias opções de formato dos arquivos. Os dados de evapotranspiração devem estar em arquivo em formato *.csv (separados por ponto e vírgula) e podem ser valores médios por pântadas (5 dias), por decêndios (dez dias) ou por mês (Figura 8).

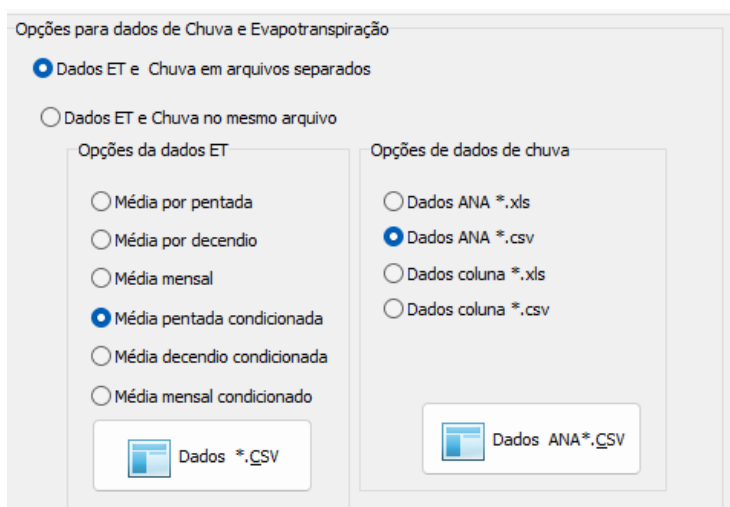


Figura 8. Opções de arquivos de dados climáticos para uso no HidroBH1.0

Fonte: Dos autores (2025)

Também é possível inserir os valores médios de ET condicionados aos dias secos e chuvosos para cada um desses períodos (pêntada, decêndio ou mensal). O arquivo deve ter o formato com valores em quatro colunas (Figura 9) com as seguintes informações:

Coluna 1. Período (pêntada, decêndio ou mês);

Coluna 2. ETm – Evapotranspiração média do período em mm/dia;

Coluna 3. ETs – Evapotranspiração para os dias secos em mm/dia;

Coluna 4. ETc – Evapotranspiração para os dias chuvosos em mm/dia.

	A	B	C	D	E
1	Pêntada	ETm	ETs	ETc	
2	1	3,93	4,45	3,32	
3	2	4,03	4,55	3,58	
4	3	4,03	4,5	3,57	
5	4	3,87	4,44	3,39	
6	5	3,79	4,39	3,32	
7	6	4,06	4,71	3,56	
8	7	3,99	4,57	3,47	
9	8	3,85	4,39	3,45	
10	9	3,65	4,22	3,2	
11	10	3,69	4,21	3,3	
12	11	3,54	3,99	3,19	
13	12	3,59	4,02	3,23	
14	13	3,48	3,95	2,92	
15	14	3,49	3,76	3,08	
16	15	3,23	3,59	2,79	
17	16	3,11	3,53	2,53	

Figura 9. Modelo de arquivo com dados de ET condicionado ao dia ser seco ou chuvoso

Fonte: Dos autores (2025)

Ao clicar em **Dados *.csv** o programa busca o arquivo salvo. Ao selecionar o arquivo o programa indica no quadro **Nome dos arquivos** o respectivo nome e o caminho do arquivo selecionado (Figura 10).

Nome dos arquivos

Arquivo de dados de Evapotranspiração

C:\DadosClimaticos\ETPentada_Ituporanga.csv

Arquivo de dados de chuva

C:\DadosClimaticos\chuvas_Ituporanga.csv

Figura 10. Quadro Nome dos arquivos

Fonte: Dos autores (2025)

Os dados de evapotranspiração e chuva podem ser de locais diferentes, uma vez que existe um número muito maior de estações pluviométricas do que as estações com dados para cálculo da ETo. Recomenda-se utilizar dados mais representativos do local.

No quadro **Opções de dados de chuva** (Figura 11), constam quatro opções para arquivos de dados de chuva, sendo duas para dados em formato ANA e duas para dados em coluna, diferenciados pela extensão, que pode ser *.xls ou *.csv. Quando selecionada a opção *.xls, na leitura dos dados, o programa primeiramente executa o Excel, o que pode gerar demora causada pela abertura do programa. Já a leitura em formato *.csv é mais rápida e pode ser realizada mesmo em computadores que não tenham a planilha Excel instalada.

Para a leitura dos dados da ANA deve-se manter o formato padrão da ANA. No entanto, recomenda-se ao usuário primeiramente fazer uma análise dos dados, avaliar a presença de falhas e selecionar o período de dados a ser utilizado. Destaca-se que as eventuais falhas nos dados de chuva fora da época de cultivo não interferem nos resultados para o período de cultivo e podem ser ignoradas ou substituídas por qualquer valor.

Opções de dados de chuva

☐ Dados ANA *.xls

☒ Dados ANA *.csv

☐ Dados coluna *.xls

☐ Dados coluna *.csv

 Dados ANA*_CSV

Figura 11. Opções de arquivo com dados de chuva

Fonte: Dos autores (2025)

Para a leitura de arquivos em formato coluna (Figura 12), os dados devem ser organizados com a informação da data na primeira coluna e o valor de precipitação na segunda coluna (Figura 13). Nos arquivos *.csv os dados devem estar separados por ponto e vírgula (“;”). Nesses arquivos a primeira linha contém os cabeçalhos e será ignorada na leitura.

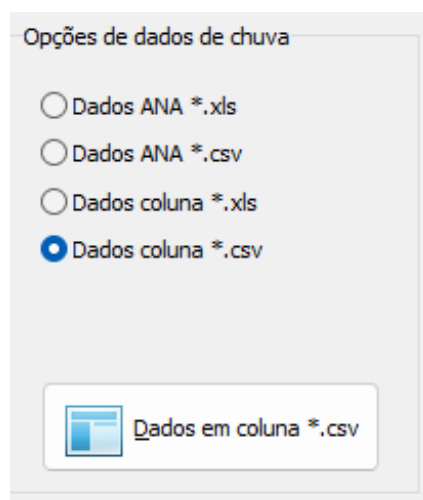


Figura 12. Opção para leitura de dados de chuva em coluna

Fonte: Dos autores (2025)

	A	B	C
1	Data	Chuva	
2	01/01/1980	0	
3	02/01/1980	0	
4	03/01/1980	0	
5	04/01/1980	0	
6	05/01/1980	0	
7	06/01/1980	0	
8	07/01/1980	2,1	
9	08/01/1980	10,3	
10	09/01/1980	2,2	
11	10/01/1980	8,1	
12	11/01/1980	23,8	
13	12/01/1980	0	
14	13/01/1980	0	
15	14/01/1980	2,6	
16	15/01/1980	0	

Figura 13. Exemplo de arquivo com dados de chuva em colunas

Fonte: Dos autores (2025)

Para a opção de **Dados ET e chuva no mesmo arquivo** (Figura 14), deve-se selecionar o formato do arquivo entre as extensões *.csv ou *.xls. Ao clicar no botão **Dados em Coluna *.xls** ou **Dados em coluna *.csv**, deve-se selecionar o arquivo e o programa indica no quadro **Nome dos arquivos** (Figura 15) o nome e caminho do respectivo arquivo.

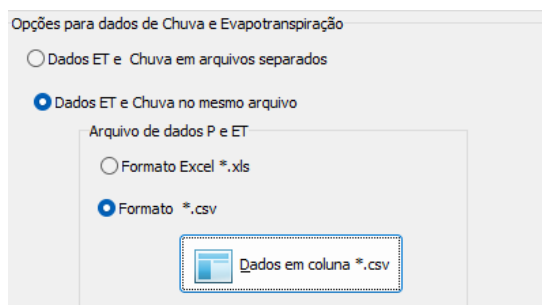


Figura 14. Opções para dados de chuva e ET no mesmo arquivo

Fonte: Dos autores (2025)

Nome dos arquivos

Arquivo de dados de Chuva e Evapotranspiração

C:\DadosClimaticos\Dados_PreET.csv

Figura 15. Indicação do arquivo com dados de Chuva e ET

Fonte: Dos autores (2025)

O arquivo com dados de chuva e ET deve ter a coluna com a data, seguida da coluna com dados de chuva e na terceira coluna os dados de ET, conforme Figura 16.

No quadro **Calcular ETo** (Figura 17), pode-se chamar uma tela adicional para calcular valores de ETo média mensal por meio das equações de regressão.

	A	B	C
1	Data	Plu (mm)	ETo (mm/dia)
2	01/01/1980	0	3,08
3	02/01/1980	0	3,33
4	03/01/1980	0	3,00
5	04/01/1980	0	2,88
6	05/01/1980	0	2,51
7	06/01/1980	0	4,29
8	07/01/1980	2,1	2,52
9	08/01/1980	10,3	2,57
10	09/01/1980	2,2	2,22
11	10/01/1980	8,1	2,18
12	11/01/1980	23,8	2,82
13	12/01/1980	0	2,68
14	13/01/1980	0	2,65
15	14/01/1980	2,6	2,97
16	15/01/1980	0	2,90

Figura 16. Exemplo de arquivo com dados de chuva e ET

Fonte: Dos autores (2025)

Calcular ETo

 Calcular ETo

Figura 17. Quadro para cálculo de ETo

Fonte: Dos autores (2025)

No quadro **Referência** (Figura 18), o usuário poderá optar entre as equações estabelecidas por Massignam e Pandolfo (2006), válidas para Santa Catarina, ou por Wrege *et al.* (2012), válida para os três estados da Região Sul do Brasil.

Referência

☒ Massignan e Pandolfo (2006)

☐ Wrege et al. (2012)

Figura 18. Referências para ET
 Fonte: Dos autores (2025)

Para o modelo de Massignan e Pandolfo (2006), o programa exibe o quadro **Dados do município** (Figura 19) em que o usuário poderá selecionar o município e o programa apresenta sugestões das coordenadas. Destaca-se que esses valores de coordenadas podem ser alterados pelo usuário, mas é recomendável conferir a altitude do local, que poderá influenciar o valor de ETo.

Dados do município

Sombrio

Latitude 29,11

Longitude 49,64

Altitude 50,20

Figura 19. Quadro com dados do município para cálculo da ETo com a equação de Massignan e Pandolfo (2006)
 Fonte: Dos autores (2025)

Para o modelo de Wrege *et al.* (2012), o programa exibe o quadro **Dados do município** (Figura 20) em que o usuário poderá inicialmente selecionar o estado (UF) e em seguida o município. O programa apresenta sugestões das coordenadas.

Dados do município

UF

PR

Antonina

Latitude

25,43

Longitude

48,71

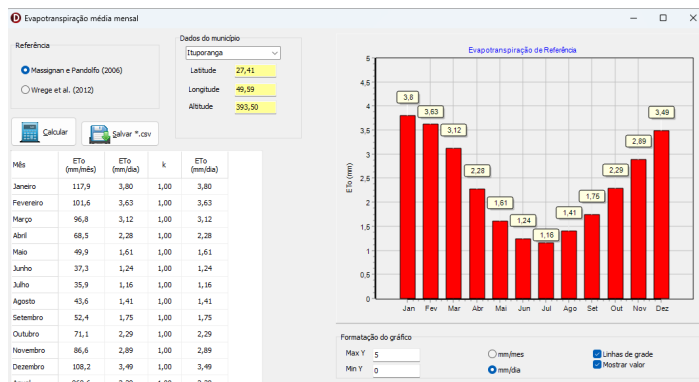
Altitude

20,00

Figura 20. Quadro com dados do município para cálculo da ETo com a equação de Wrege *et al.* (2012)
 Fonte: Dos autores (2025)

Embora na equação estabelecida pelos autores as coordenadas latitude e longitude devam ser usadas com valores negativos, as coordenadas são informadas com valores positivos e o programa as adota com valor negativo para manter a coerência com o método de Massignam e Pandolfo (2006).

Ao clicar em **Calcular** o programa exibe os valores de ETo em mm/mês e mm/dia. Caso o usuário queira fazer alguma correção nos valores, por exemplo, corrigir o valor estimado pelo método de Thornthwaite com o método Penman-Monteith ou outro, pode digitar na coluna k os valores do fator de correção. Ao clicar em **Calcular** o programa exibe na última coluna os valores de ETo corrigidos (Figura 21). Como padrão o programa exibe os valores de k = 1, assumindo que não há correção a ser efetuada.



Para gravar os valores de ETo deve-se clicar **Salvar *.csv** e o programa exibe um arquivo em formato de bloco de notas que deve ser salvo com um nome e local definido pelo usuário.

Na Aba **Dados do solo e cultura** o usuário deverá definir os valores de CAD, fator de disponibilidade e coeficiente Kc. Para o dado de CAD, existe a opção de informar o valor digitando no campo CAD (mm) (Figura 22).

Figura 22. Opções para dados de CAD
Fonte: Dos autores (2025)

Outra opção é calcular o valor de CAD (Figura 23) informando os dados de umidade na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), densidade aparente do solo (Da) e profundidade efetiva das raízes (Z). Ao clicar em **Calcular** o programa exibe o valor de CAD.

Figura 23. Opção para cálculo do valor de CAD
Fonte: Dos autores (2025)

Ao clicar em **Consultar valores de CAD** o programa exibe uma tela adicional, onde se pode estimar a CAD por vários métodos. Na aba **Blainski et al. (2016)** (Figura 24), podem-se consultar os mapas e obter os valores de CAD indicados pelos autores. No campo **Grupo de cultura** deve-se selecionar o respectivo grupo e o programa exibe a figura correspondente com a profundidade do solo considerada.

No quadro **Correção para a profundidade** o usuário deverá informar o valor do CAD de acordo com o local do mapa e a profundidade do solo considerada. Ao clicar em **Calcular** o programa apresenta o valor de CAD corrigido.

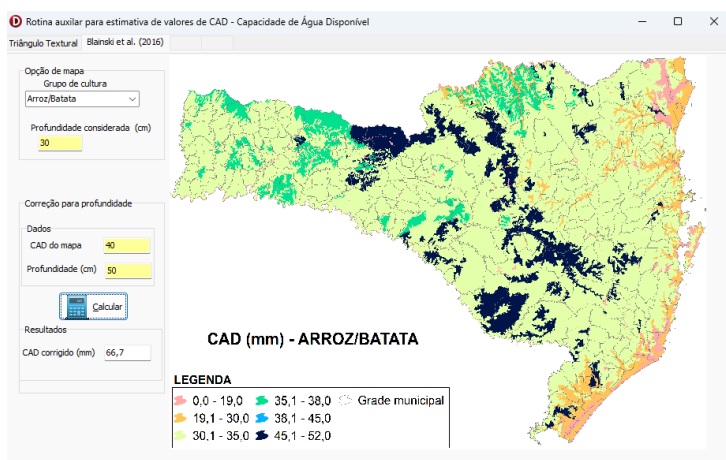


Figura 24. Tela do Método Blainski et al. (2016) para estimativa de CAD
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Triângulo Textural** (Figura 25) constam opções para se obter estimativa da CAD pela textura do solo. O usuário deverá informar os valores do conteúdo de areia (%) e argila (%) e o programa exibe os valores de CAD de acordo com diferentes autores.

No quadro **Resultados** são exibidas várias características do solo inferidas pelas classes texturais de acordo com Pereira et al. (2010). A capacidade de água efetiva corresponde à CAD.

No quadro **Valores orientativos** constam respectivamente os valores de umidade à CC, PMP e CAD ou DTA no solo. No quadro **Embrapa** consta o valor da CAD estimada pela função de pedotransferência apresentada por Teixeira et al. (2021).

No quadro **Definição da CAD** o usuário pode informar os valores de AD em mm/cm e a profundidade do solo considerada. Ao clicar em **Calcular** o programa exibe o valor da CAD em milímetros

Rotina auxiliar para estimativa de valores de CAD - Capacidade de Água Disponível
 Triângulo Textural (Blanksi et al. (2016))

Entrada de dados

% Área: 23
 % Argila: 38

Verificar

Resultados

% Silt: 39,0
 Classe: Franco Argiloso
 Grupo Hidrológico: D
 Porosidade total (cm³/cm³): 0,464
 Porosidade efetiva (cm³/cm³): 0,390
 Sução capilar (cm): 20,88
 K- Cond hid aparente (mm/h): 1,00
 f - Vel mínima de infiltração (mm/h): 2,28
 Cap água efetiva (cm/cm): 0,14
 Cap água efetiva (mm/cm): 1,4

Definição da CAD (mm)

AD (mm/cm): 1,4
 Profundidade do solo (cm): 50
 CAD (mm): 70,0

Verificar

Valores Orientativos (Pereira et al., 2010)

Umidade Saturação (m³/m³): 0,47 - 0,51
 Umidade CC (m³/m³): 0,28 - 0,38
 Umidade PMP (m³/m³): 0,16 - 0,22
 DTA (mm/m): 120 - 160

Enbrapa

AD (mm/cm): 1,44
 AD (mm/m): 143,6

Fechar

Figura 25. Opções de obtenção de CAD de acordo com a textura do solo
 Fonte: Dos autores (2025)

No quadro **Opções de irrigação** (Figura 26), o usuário deverá optar entre realizar o balanço hídrico com ou sem a irrigação. Na opção **Com irrigação** o programa realiza o balanço hídrico e, sempre que o armazenamento de água no solo atinge um valor igual ou inferior à AFD, uma irrigação é simulada e o armazenamento passa a ter o valor da CAD. Na opção de balanço hídrico sem irrigação, sempre que a umidade do solo atinge valores inferiores à AFD, o modelo computa como déficit hídrico.

No quadro **Fator de disponibilidade** deve-se informar o valor do fator f. No quadro **Valores tabelados** podem-se consultar os valores indicados por diferentes autores (Figura 27).

Opções de Irrigação

☐ Com irrigação

☒ Sem Irrigação

Figura 26. Opção de balanço hídrico com ou sem irrigação
 Fonte: Dos autores (2025)

Fator de disponibilidade f

Valores tabelados

☒ Doorembos e Kassan (1979)

☐ Allen et al. (1998)

☐ Bernardo et al. (2008)

Fator de água disponível f: 0,35

Grupo de Cultura

ET_o (mm/dia): 4

1- Cebola

Figura 27. Campo para informar o fator de água disponível
 Fonte: Dos autores (2025)

No quadro **Grupo de cultura** pode-se selecionar o grupo de culturas para visualizar indicações do fator de água disponível (p), que deverá ser informado no campo destacado em amarelo (Figura 28).

Figura 28. Definição do grupo de cultura e ETo para obter o fator f
Fonte: Dos autores (2025)

No quadro **Opções para Kc** (Figura 29), deve-se selecionar entre as opções de informar o valor de Kc por pântada, decêndio ou por mês, informando os valores na coluna destacada em amarelo. Para facilitar, o usuário pode organizar os dados em uma planilha Excel e em seguida copiar e colar os valores na tabela. Ao digitar os dados o programa exibe a figura com a variação do Kc ao longo do ano. No quadro **Formatação do gráfico** o usuário poderá alterar os parâmetros do gráfico para melhorar a visualização.

Pântada	Kc
1	0,70714385
2	0,62857142
3	0,55
4	0,2
5	0,2
6	0,2
7	0,2
8	0,2
9	0,2
10	0,2
11	0,2
12	0,2
13	0,2
14	0,2
15	0,2
16	0,2
17	0,2
18	0,2

Figura 29. Opções para informar dados de Kc
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Cálculo do BH** deve-se primeiramente clicar em **Importar dados de P e ET**, e o programa faz a leitura dos arquivos indicados na aba **Dados do clima** e apresenta os valores nas respectivas primeiras cinco colunas da tabela (Figura 30). Esse procedimento pode demorar alguns segundos, dependendo do tamanho e do formato do arquivo de dados.

Após a importação dos dados deve-se **Calcular o BH** e o programa calcula o balanço hídrico seriado apresentando os valores na tabela, onde as colunas têm os seguintes conteúdos:

- Dia: refere-se ao dia do período analisado;
- Mês: refere-se ao mês do período analisado;
- Ano: refere-se ao ano do período analisado;
- Prec: é a quantidade de chuva no dia (mm);
- ETo: é a evapotranspiração de referência (mm);
- PET: é a diferença entre precipitação e evapotranspiração (mm);
- Neg: é o termo “Negativo” do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather;
- ARM: é o valor de armazenamento de água no solo (mm);
- ADE: refere-se à fração de água facilmente disponível (mm);
- ALT: refere-se à aeração no armazenamento de água no solo (mm);
- Kc: é o valor do coeficiente de cultura Kc para o dia;
- ETm: é o valor da evapotranspiração máxima para a cultura (mm);
- ETr: é o valor da evapotranspiração real (mm);
- Déficit: Valor de déficit hídrico (mm);
- Dp: valor de perdas por percolação (mm);
- IR: Valor da lâmina de irrigação aplicada (mm);
- Dec: é o decêndio.

HidroBH1.0 - Balanço Hídrico Seriado e estimativa da necessidade de irrigação

Dados do Clima

Dados do solo e cultura

Cálculo do BH

Resultados P - ETo

ETm - ETr

Déficit - Excesso

Irrigação

Gráficos

Frequências

Duração do Déficit

Total por ano

Gráfico da série

Rendimento

Relatórios

Sobre

Importar dados de P e ET

Calcular o BH

Lendo dados do mês 12 ano 2022

Dia	Mês	Ano	Prec	ETo	PET	Neg	ARM	ADE	ALT	Kc	ETm	ETr	Déficit	Dp	IR	Dec
1	3	1976	20,6	2,9	20,0	0,0	30,0	25,0	0,0	0,20	0,6	0,6	0,0	20,0	0,0	7
2	3	1976	6,4	2,9	5,8	0,0	30,0	25,0	0,0	0,20	0,6	0,6	0,0	5,8	0,0	7
3	3	1976	0,0	4,0	-0,8	0,8	49,2	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
4	3	1976	0,0	4,0	-0,8	1,6	48,4	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
5	3	1976	0,2	2,9	-0,4	2,0	48,0	25,0	-0,4	0,20	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	7
6	3	1976	0,0	3,8	-0,8	2,7	47,3	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
7	3	1976	0,0	3,8	-0,8	3,5	46,5	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
8	3	1976	0,0	3,8	-0,8	4,3	45,7	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
9	3	1976	0,0	3,8	-0,8	5,0	45,0	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
10	3	1976	0,0	3,8	-0,8	5,8	44,2	25,0	-0,8	0,20	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	7
11	3	1976	0,0	3,6	-0,7	6,5	43,5	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
12	3	1976	0,0	3,6	-0,7	7,2	42,8	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
13	3	1976	21,6	2,8	21,0	0,0	30,0	25,0	7,2	0,20	0,6	0,6	0,0	13,8	0,0	8
14	3	1976	0,0	3,6	-0,7	0,7	49,3	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
15	3	1976	0,0	3,6	-0,7	1,4	48,6	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
16	3	1976	13,4	2,5	12,9	0,0	30,0	25,0	1,4	0,20	0,5	0,5	0,0	11,5	0,0	8
17	3	1976	0,0	3,5	-0,7	0,7	49,0	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
18	3	1976	0,0	3,5	-0,7	1,4	48,6	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
19	3	1976	0,0	3,5	-0,7	2,1	47,9	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
20	3	1976	0,0	3,5	-0,7	2,8	47,2	25,0	-0,7	0,20	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	8
21	3	1976	28,6	2,6	28,1	0,0	30,0	25,0	2,8	0,20	0,5	0,5	0,0	25,3	0,0	9

Ger

Ajuda

Figura 30. Tela **Cálculo do BH**

Fonte: Dos autores (2025)

Opções de intervalo de agrupamento

☐ Pêntada
 ☐ Decêndio
 ☐ Quinzena
 ☒ Mensal

Figura 31. Opções para agrupamento dos resultados

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Resultados P-ETo** deve-se definir no quadro **Opções de intervalo de agrupamento** (Figura 31), o intervalo em que se deseja obter os resultados dos elementos do balanço hídrico. As opções são de intervalo por pêntada, decêndio, quinzena e mensal.

Ao clicar em **Resumo** o programa exibe o resumo estatístico dos valores de precipitação e evapotranspiração de referência (ETo) (e dos demais componentes do balanço hídrico nas abas seguintes). Para cada intervalo são exibidos os valores médios, o desvio padrão, e os valores máximo e mínimo na série analisada (Figura 32).

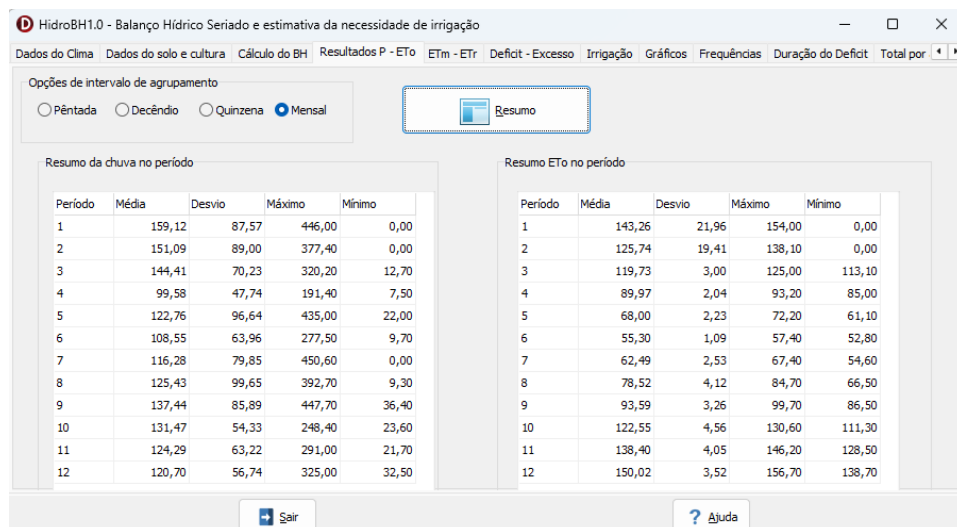


Figura 32. Aba Resultados P-ETo

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **ETm-ETr** (Figura 33) são exibidos os resumos estatísticos da evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real (ETr). Para o balanço hídrico com irrigação esses valores são iguais, uma vez que não há déficit hídrico.

HidroBH1.0 - Balanço Hídrico Seriado e estimativa da necessidade de irrigação

Dados do Clima Dados do solo e cultura Cálculo do BH Resultados P - ETo **ETm - ETr** Déficit - Excesso Irrigação Gráficos Frequências Duração do Déficit Total por

Período	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	59,13	9,07	63,50	0,00
2	24,89	3,85	27,40	0,00
3	24,01	0,50	24,90	22,90
4	18,41	0,52	19,20	17,20
5	13,31	0,55	14,30	11,60
6	11,44	0,24	11,90	10,90
7	12,38	0,58	13,50	10,60
8	15,91	0,94	17,30	13,20
9	38,32	1,51	41,40	34,90
10	86,29	3,23	91,70	78,50
11	140,08	3,92	147,80	131,00
12	144,33	3,35	150,50	133,60

Período	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	49,08	12,55	60,20	0,00
2	24,71	3,89	27,40	0,00
3	23,91	0,74	24,80	20,20
4	18,41	0,52	19,20	17,20
5	13,31	0,55	14,30	11,60
6	11,44	0,24	11,90	10,90
7	12,38	0,58	13,50	10,60
8	15,91	0,94	17,30	13,20
9	38,03	1,54	40,60	34,00
10	77,04	7,91	85,40	52,50
11	95,99	21,94	131,00	42,70
12	85,20	22,75	135,20	44,70

Sair Ajuda

Figura 33. Aba Resultados ETm - ETr

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Déficit-Excesso** (Figura 34) são apresentados os resumos estatísticos dos valores de déficit e excesso hídrico para cada intervalo. Para o BH com irrigação o déficit hídrico será sempre zero (0,0).

HidroBH1.0 - Balanço Hídrico Seriado e estimativa da necessidade de irrigação

Dados do Clima Dados do solo e cultura Cálculo do BH Resultados P - ETo ETm - ETr **Déficit - Excesso** Irrigação Gráficos Frequências Duração do Déficit Total por

Período	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	9,95	11,47	37,50	0,00
2	0,17	0,82	4,20	0,00
3	0,10	0,66	4,50	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,20	1,10	7,20	0,00
10	9,20	9,51	37,60	0,00
11	44,12	24,73	105,10	0,00
12	59,34	24,69	99,90	2,60

Período	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	94,38	79,97	381,70	0,00
2	125,58	86,33	345,50	0,00
3	119,42	68,75	297,60	0,00
4	81,60	47,26	173,90	0,00
5	108,37	96,65	423,80	3,40
6	97,46	64,12	266,40	0,60
7	104,47	79,22	438,60	0,00
8	110,36	99,97	375,50	0,00
9	104,26	83,87	407,40	13,90
10	67,85	50,57	174,60	0,00
11	34,72	41,44	145,70	0,00
12	29,37	36,37	167,30	0,00

Sair Ajuda

Figura 34. Aba Resultados Déficit e Excesso

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Irrigação** (Figura 35) são apresentados os resumos estatísticos relativos à irrigação, onde constam dados da lâmina irrigada (mm), do número de irrigações e do intervalo entre as irrigações (turno de rega, em dias). Estes valores somente devem ser considerados para o BH simulado com irrigação.

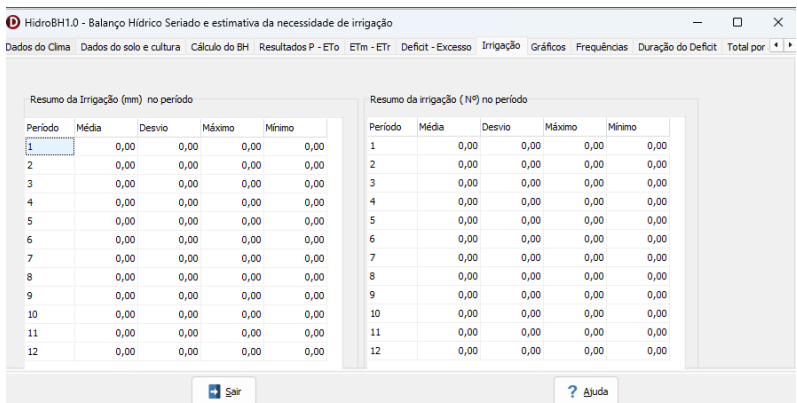


Figura 35. Aba Resultados Irrigação
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Gráficos** (Figura 36) podem-se visualizar os valores médios dos componentes do balanço hídrico ao longo dos intervalos selecionados. No quadro **Opções de séries** podem-se selecionar as variáveis que se deseja visualizar, bem como formatar os valores dos eixos.

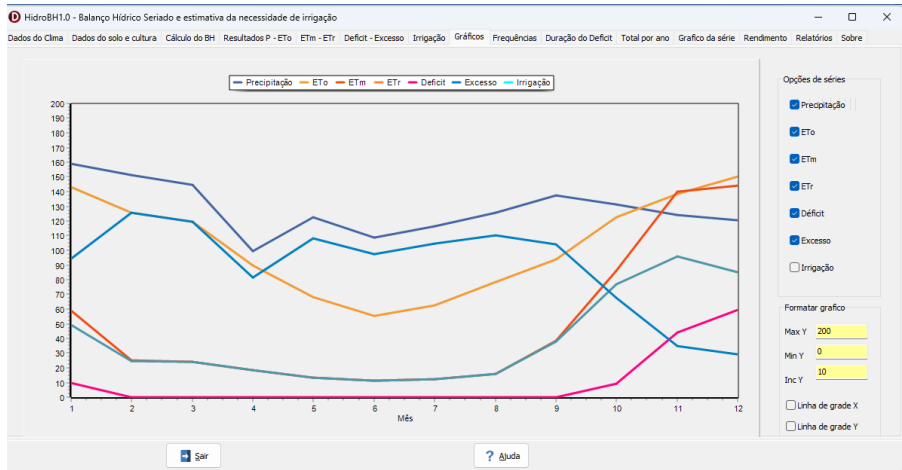


Figura 36. Aba Gráficos
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Frequências** (Figura 37) pode-se verificar a tabela e o gráfico com as frequências de ocorrência de déficit hídrico, de excesso hídrico e de irrigação. No quadro **Formatação do gráfico** podem-se selecionar as variáveis a serem representadas, bem como representar a frequência absoluta ou relativa.

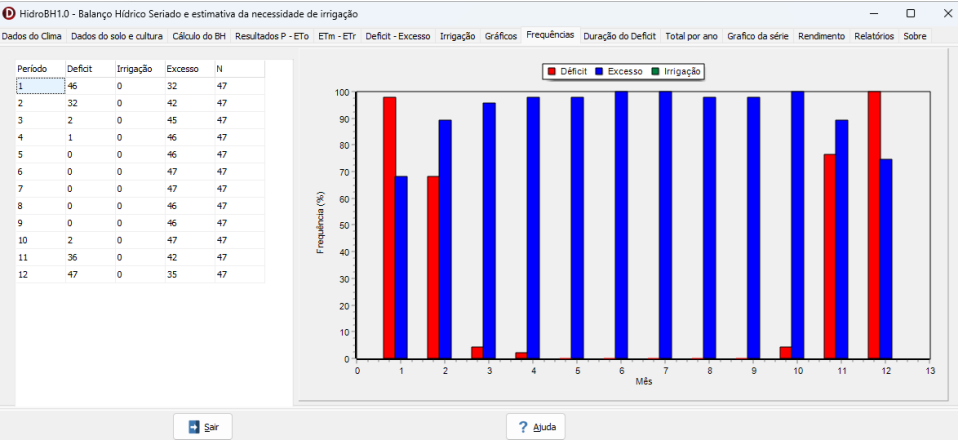


Figura 37. Aba Frequências
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Duração do déficit** (Figura 38) constam os resumos dos dias com déficit hídrico no período e também da duração do déficit (em dias consecutivos).

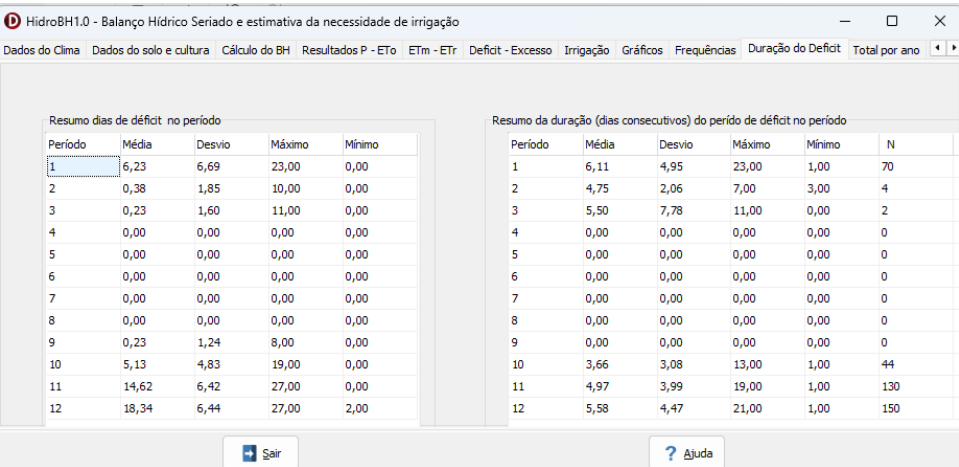


Figura 38. Resultados de déficit hídrico do Balanço Hídrico
Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Total por ano** (Figura 39) podem-se obter os totais por ano agrícola (ano de cultivo) de cada componente do BH. O usuário deverá informar o dia e mês das datas de início (correspondentes ao plantio para as culturas anuais) e final (referentes à colheita ou final do ciclo de cultivo). Ao clicar em **Calcular** o programa exibe os totais dos componentes do BH para cada ano de cultivo.

Ano	Prec	Eto	ETm	ETr	Deficit	Excesso	Irrigação	Nº Irriga
1977	702,0	680,0	468,2	400,1	68,1	295,7	0,0	0,0
1978	533,5	680,5	471,4	340,0	132,0	197,4	0,0	0,0
1979	571,8	696,9	472,8	357,0	116,0	240,3	0,0	0,0
1980	687,8	680,0	466,0	368,7	97,3	319,4	0,0	0,0
1981	774,5	673,9	462,5	415,2	47,5	358,8	0,0	0,0
1982	662,0	693,4	474,2	370,9	102,7	291,6	0,0	0,0
1983	664,3	675,2	458,2	392,9	65,5	280,9	0,0	0,0
1984	859,2	673,6	461,8	387,6	74,3	470,6	0,0	0,0
1985	599,4	691,3	471,7	368,7	102,1	226,3	0,0	0,0
1986	463,3	700,6	482,1	288,0	194,3	175,5	0,0	0,0
1987	1126,0	679,4	469,7	355,5	114,6	762,1	0,0	0,0
1988	984,6	695,4	475,4	408,9	66,8	485,2	0,0	0,0
1989	940,2	698,5	483,7	305,9	177,8	631,2	0,0	0,0
1990	560,2	715,4	493,6	307,6	186,5	265,3	0,0	0,0
1991	679,2	711,0	486,5	360,7	125,1	316,2	0,0	0,0
1992	709,8	708,8	482,5	369,1	112,5	342,5	0,0	0,0
1993	556,3	710,8	491,1	295,5	195,9	256,4	0,0	0,0
1994	781,6	711,0	485,2	359,2	126,6	423,5	0,0	0,0
1995	459,0	707,1	482,2	349,7	132,2	111,8	0,0	0,0
1996	852,6	682,3	471,3	373,5	98,3	475,7	0,0	0,0
1997	845,8	683,9	471,6	384,4	87,0	465,1	0,0	0,0
1998	1106,3	660,7	455,8	411,4	44,4	692,0	0,0	0,0
1999	628,3	684,6	469,2	344,5	124,9	282,2	0,0	0,0

Figura 39. Tela Totais por ano no BH

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Gráficos da série** (Figura 40) são exibidos os valores anuais dos componentes do balanço hídrico. No quadro **Opções do gráfico** o usuário deverá selecionar o componente do BH a ser exibido e também poderá formatar as escalas do gráfico.

Estão disponíveis as opções para visualizar o gráfico com:

- Precipitação;
- Evapotranspiração de referência (ET_o);
- Evapotranspiração da cultura (ET_c);
- Evapotranspiração real (ET_r);
- Déficit hídrico;
- Excesso hídrico;
- Irrigação (mm);
- Número de irrigação.

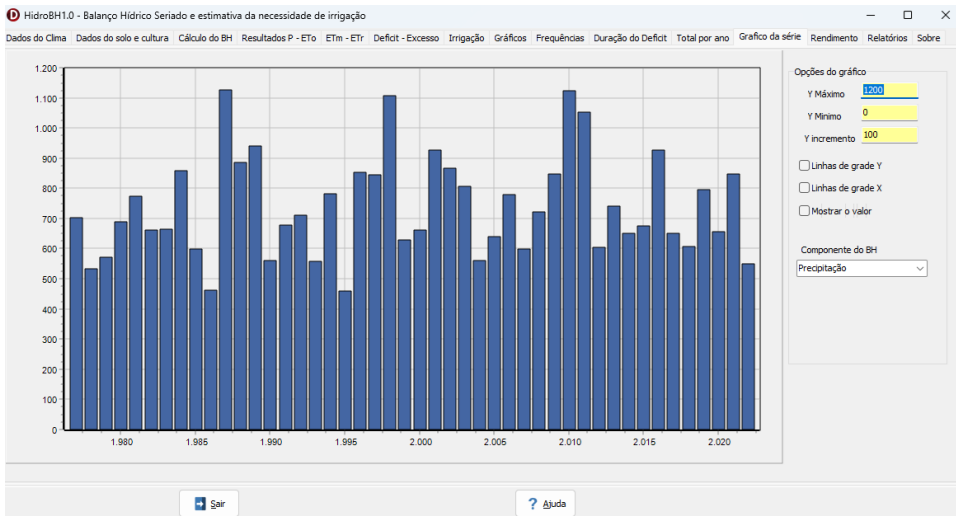


Figura 40. Aba Gráficos da série

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Rendimento** (Figura 41) pode-se calcular o rendimento relativo em função do déficit hídrico. No quadro **Fator Ky** deve-se informar o valor do fator do efeito no rendimento médio do ciclo da cultura a ser considerado. Podem-se consultar os valores indicados por Doorenbos e Kassam (1979).

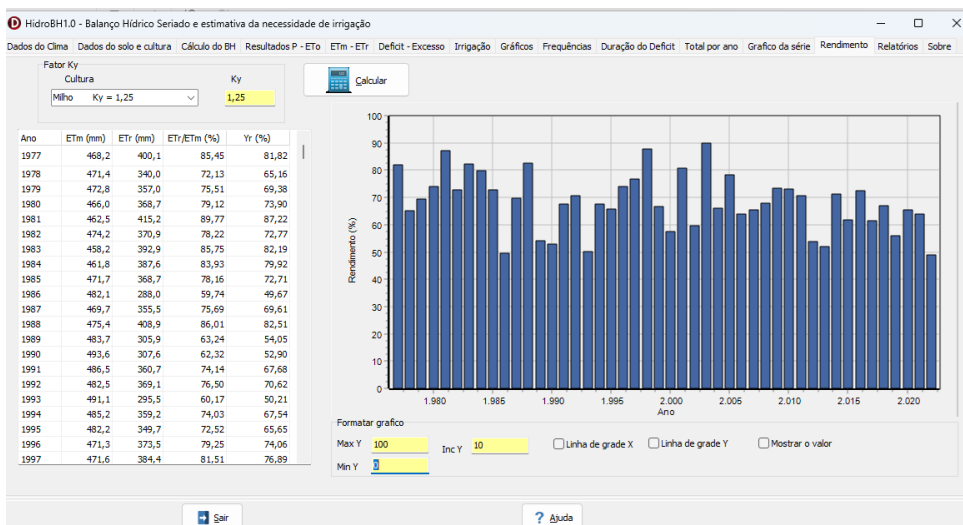


Figura 41. Aba Rendimento

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Relatórios** (Figura 42) constam opções para gerar um arquivo texto (*.txt) com os dados do balanço hídrico. O usuário pode selecionar incluir o Balanço Hídrico, bem como as tabelas dos resumos estatísticos de cada componente do BH.

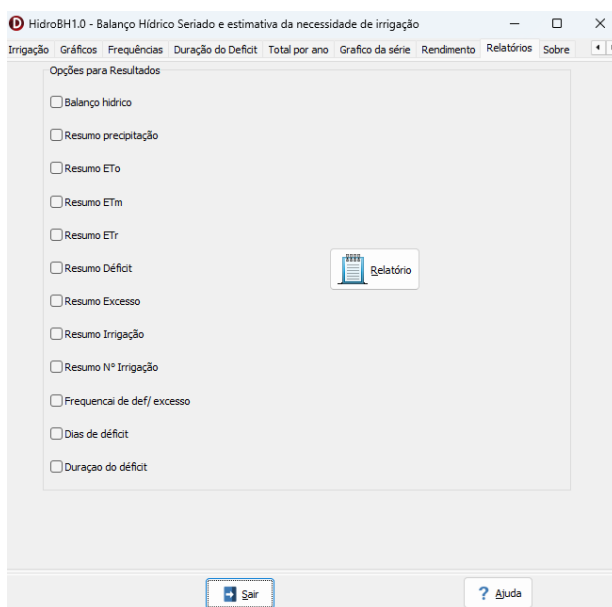


Figura 42. Tela Relatório
Fonte: Dos autores (2025)

Ao clicar em **Relatório** o programa exibe um arquivo do bloco de notas com os dados selecionados (Figura 43), que deverá ser salvo em uma pasta indicada pelo usuário. Importante destacar também que todas as tabelas podem ser selecionadas e copiadas para colar em outro aplicativo usando as teclas Control+C e Control+V.

Arquivo Editar Exibir				
Resumo da precipitação				
Decêndio	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	44,87	45,93	241,80	0,00
2	52,48	39,97	147,20	0,00
3	61,77	49,58	258,00	0,00
4	56,76	44,38	147,30	0,00
5	55,45	50,33	197,20	0,00
6	38,88	35,63	153,00	0,00
7	50,33	38,52	214,00	0,00
8	38,89	39,32	169,40	0,00
9	55,19	46,15	216,60	0,00
10	36,91	38,80	164,30	0,00
11	31,34	30,23	112,20	0,00
12	31,32	30,30	110,60	0,00
13	41,11	62,12	342,10	0,00
14	40,45	57,62	318,80	0,00
15	41,20	47,02	226,60	0,00
16	38,80	51,11	220,80	0,00
17	32,93	32,45	150,60	0,00
18	36,81	40,52	207,80	0,00
19	41,24	42,64	169,40	0,00
20	32,63	34,13	119,30	0,00
21	42,41	39,46	172,60	0,00
22	42,42	52,01	187,70	0,00
23	41,61	47,02	239,20	0,00
24	41,40	48,99	218,90	0,00
25	38,51	47,36	273,70	0,00
26	50,71	58,90	281,40	0,00
27	48,23	44,81	181,40	0,00

Figura 43. Relatórios do programa HidroBH

Fonte: Dos autores (2025)

Na aba **Sobre** (Figura 44) constam as informações sobre o programa e o contato com os autores.

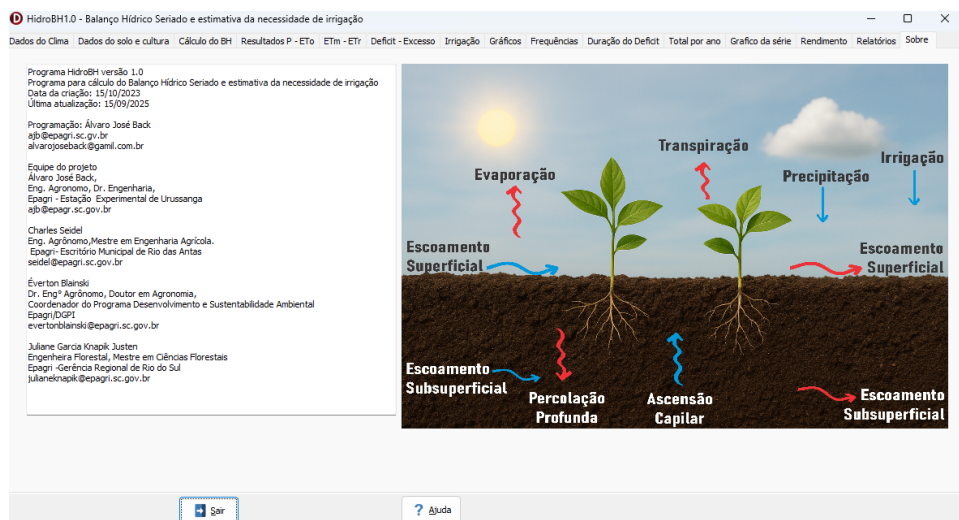


Figura 44. Tela Sobre do HidroBH1.0

Fonte: Dos autores (2025)

Considerações finais

O programa HidroBH1.0 permite a realização do balanço hídrico seriado usando a metodologia consagrada e amplamente empregada do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather. O programa apresenta como diferenciais principais: i) a facilidade de importar dados de chuva e evapotranspiração de diferentes fontes e formatos; ii) rotinas auxiliares para estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo e do fator de disponibilidade de água; iii) facilidade de inserir os valores de K_c em diferentes intervalos de duração; iv) possibilidade de realizar o balanço hídrico considerando a irrigação; v) geração de resumos estatísticos e gráficos das variáveis do balanço hídrico em diferentes intervalos de agrupamento; vi) análise de frequência e resumo estatístico do déficit hídrico e da irrigação por intervalo de duração e por ano; vii) exibição de resultados gráficos de séries temporais das variáveis do balanço hídrico. viii) estimativa da produção relativa em função do déficit hídrico.

Nesse sentido, os autores esperam que o programa atenda ao objetivo principal, que é permitir que o usuário realize as análises customizadas para a condição de solo, clima, cultivo e manejo adotado.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Hidroweb**: Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 24 de Junho de 2025.

ALBUQUERQUE, P.; E. P. de. **Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 78 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, 65).

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome. 1998.

ARRUDA, F. B. Uso da água na produção agrícola. In: VIÉGAS, G.P., ed. Simpósio Sobre O Manejo de Água na Agricultura, Campinas, 1987. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p. 177-199.

ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P. LIMA, I. R. P.; LINHARES, P. C. F.; MARTINS, W. R.; CARDOSO, E. A.; PEREIRA, J. O.; SOUSA, R. P.; MEDEIROS, A. C.; CUNHA, L. M. M.; SANTOS, M. F. A.; GOMES, G. A. D.; SILVA, R. M. P.; VERAS, M. L. M.; SILVA, K. A.; PEREIRA, M. B. B. Goodness-of-fit of reference evapotranspiration to gamma probability distribution. **Journal of Agricultural Science**, v. 13, n. 6, p. 70-81, 2021.

BACK, Á. J. SÔNIGO, M. Evapotranspiração de referência para dimensionamento e manejo da irrigação na região do Alto Vale do Itajaí, SC. **Agropecuária Catarinense**, v. 38, n. 2, p. 61-69, 2025.

BACK, Á. J.; PETRY, H. B.; Sônigo, M.; ARCARI, S. G.; SEIDEL, C. Demanda hídrica e necessidade e irrigação da videira na região de Tangará, SC In: Simpósio de Fruticultura da Região Sul, 2024, Chapecó. **4º Simpósio de Fruticultura da Região Sul**, Chapecó: UFFS, 2024, p. 1.

BACK, Á. J. Evapotranspiração de referência provável para Chapecó, Santa Catarina. **Revista Verde**, v. 17, n. 3, p. 159-166, 2022. doi: 10.18378/rvads.v17i3.9351

BACK, Á. J. **Determinação da precipitação efetiva e da irrigação suplementar pelo balanço hídrico horário: um caso-estudo em Urussanga, SC**. Porto Alegre. UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 1997. 132f. Dissertação (Mestrado).

BACK, Á. J.; VIEIRA, H. J. Uso da evapotranspiração média corrigida para dias chuvosos e dias secos no balanço hídrico seriado. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2007, Bonito. **Anais...** Combea, 2007. Jaboticabal: SBEA.

BACK, Á. J. Evapotranspiração média de dias secos e dias chuvosos de Urussanga, SC. In: XXI 370 Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. **Anais SBRH**, 2015.

BACK, Á. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BLAINSKI, É.; PANDOLFO, C.; RICCE, W. S.; VEIGA, M.; ARAUJO, C. E. S. Mapeamento da capacidade de água disponível para os solos do estado de Santa Catarina. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 20, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** Londrina, 2016, p. 520-522.

BRAGA, H. J. **Caracterização da seca agrônômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral sul do estado de Santa Catarina**. Piracicaba: ESALQ/USP. 139p. Dissertação (Mestrado). 1982

CAMARGO, A. P. Contribuição para a Determinação da Evapotranspiração Potencial no Estado de São Paulo. Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, **Boletim n. 161**, p. 1-1, 1966.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica sobre evapotranspiração potencial. **Revista Bragantia**, v. 2, n. 59, p. 125-137, 2000.

CARDOSO, C. O. **Avaliação de demanda hídrica de algumas culturas sujeitas à alteração climática na Bacia do Rio Uruguai**. 1995. 251f. Dissertação (Mestrado).

Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto Alegre, 1995.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CRUZ, G. H. T.; SANTOS, L. C.; SILVA, S. M. C.; REIS, E. F. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio Verde-GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p. 1854-1861, 2017.

CUNHA, G. R.; Balanço hídrico climático. In: BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G.; SANTOS, M.L.V. dos; FARIAS, J.R.B.; BARNI, N.A. **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 63-84.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO irrigation and drainage, paper 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984.

DUFLOTH, J. H.; BACK, Á. J. Déficit hídrico em pastagens na região de Sombrio, SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 18, p. 44-55, 2012.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20 p. (Epagri, Documentos, 310) - ISSN 2674-9521.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - Série Histórica**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: Junho 2025.

LIMA, E. F. D.; DMASCENA, J. F.; PEREIRA, J. A.; CONCEIÇÃO, F. A.; OLIVEIRA, P. L. S.; DINIZ, P. O.; MORAES, W. S.; SILVA, C. M. Estimativa da evapotranspiração de referência com base em modelos de temperatura do ar e radiação solar para o Município de Estreito – MA. **Research, Society and Development**, v.10, n.5, e23410514881, 2021 DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14881>

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. **Estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006. 24 p.

MOREIRA, H. J. C. **SAACI – Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas – manual prático para o manejo da irrigação**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86 p.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P. de. An analysis of the criticism of the Thornthwaite's equation for estimation potential evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 46, p. 149-157, 1989.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, L. S.; VALERO, J. A. J.; BUENDÍA, M.R.P.; MARTÍN-BENITO, J.M.T. El riego y sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SANTOS, L. C.; FIGUEIRÓ, L. S. P.; ANDRADE, A. X. R.; NETO, A. C. F.; BONFÁ, C. S. Estudo comparativo entre metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para localidades do norte de Minas Gerais. **Irriga**, v. 1, n. 4, p. 714-721, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4> p. 714-72

SHIRI, J.; NAZEMIA, A. H.; SADRAADDINIA, A. A.; LANDERASB, G.; KISIC, O.; FARDA, A. F.; MARTI, P. Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 108, n. 9, p. 230-241, 2014.

TEIXEIRA, W. G.; VICTORIA, D. C.; BARROS, A. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, F. A. M.; BUENO FILHO, E. P. L. S.; MONTEIRO, J. E. B. A. **Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, nº 272. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n. 1)

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. Irrigação localizada. Campina Grande, UFPB, 1997. 184 p. (**Estudos FAO. Irrigação e drenagem**, 36).

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 483 p.



www.epagri.sc.gov.br



www.youtube.com/epagritv



www.facebook.com/epagri



www.instagram.com/epagri



linkedin.com/company/epagri



<http://publicacoes.epagri.sc.gov.br>



www.x.com/EpagriOficial