



IRRIGATOMATE: USO RACIONAL DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO TOMATE INDUSTRIAL EM GOIÁS

José Alves Júnior¹, Marcelo Gonçalves Narciso², Pedro Marques da Silveira², Alexandre Brian Heinemann², Ricardo de Souza Bezerra³, Juliana Carla Carvalho dos Santos⁴

RESUMO: Este estudo objetivou desenvolver um software de fácil interface para os usuários, o qual integra as variáveis necessárias para auxiliar de maneira simples e prática o manejo da irrigação do tomateiro para fins industriais, irrigados por pivô central no estado de Goiás. O IrrigaTomate® foi desenvolvido em duas versões: uma para o planejamento, e outra para a tomada de decisão. O planejamento apresenta-se na forma de um calendário de irrigação, com informações de quando e quanto irrigar, após o usuário informar: a) o município, b) a data prevista de transplântio das mudas em campo, c) tipo e sistema de preparo do solo (plantio direto ou convencional), e c) a eficiência, área e lâmina mínima do pivô central. Enquanto, na versão de tomada de decisão (Manejo), exige, além dos dados de entrada já informados, as informações de solo (granulometria/textura), quantidades diárias de chuva que estão ocorrendo ao longo do ciclo, e quantidades de irrigações efetivamente realizadas. Com isso, o usuário terá as informações de quando e quanto irrigar de forma mais assertiva, pois são utilizados dados coletados em tempo real em estações meteorológicas automáticas instaladas nas microrregiões climáticas homogêneas de Goiás, obtendo-se de uma melhor estimativa da duração de cada estágio fenológico da cultura (por soma térmica) e da evapotranspiração diária. Portanto, o IrrigaTomate® (www.irrigatomate.com.br) é um software que além de aconselhar o usuário no quando e quanto irrigar, registra o manejo efetivamente realizado na lavoura ao longo do ciclo.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum lycopersicum*, pivô central, manejo da água.

IRRIGATOMATE: IRRIGATION WATER RATIONAL USE IN INDUSTRIAL TOMATO CROP IN GOIÁS

¹ Professor Dr., Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, CEP 74690-900, Goiânia, GO. Fone: (62) 999930476, E-mail: josealvesufg@ufg.br

² Pesquisador, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

³ Pesquisador, Dep. Agrícola Cargill, Goiânia, GO

⁴ Mestranda, Eng. Agrícola, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

ABSTRACT: This study aimed to develop software with an easy interface for users, which integrates the necessary variables to help in a simple and practical way the management of tomato irrigation for industrial purposes, irrigated by center pivot in the state of Goiás. IrrigaTomate® was developed in two versions: one for planning and the other for decision making. The planning is presented in the form of an irrigation calendar, with information on when and how much to irrigate, after the user informs: a) the municipality, b) the expected date of transplanting the seedlings in the field, c) type and system of preparation of the soil (no-tillage or conventional), and c) the efficiency, area and minimum blade of the central pivot. While, in the decision-making version (Management), it requires, in addition to the input data already informed, soil information (granulometry/texture), daily amounts of rain that are occurring throughout the cycle, and amounts of irrigation effectively performed. With this, the user will have information on when and how much to irrigate more assertively, as data collected in real time at automatic meteorological stations installed in the homogeneous climatic micro-regions of Goiás are used, obtaining a better estimate of the duration of each stadium crop phenology (by thermal sum) and daily evapotranspiration. Therefore, IrrigaTomate® (www.irrigatamate.com.br) is a software that, in addition to advising the user on when and how much to irrigate, records the management effectively carried out in the crop throughout the cycle.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, Center pivot, water management.

INTRODUÇÃO

O empirismo, no manejo atual praticado pelos produtores, é devido a vários fatores que dificultam e até mesmo inviabilizam uma prática de irrigação correta, dentre as quais: a) o alto custo das estações meteorológicas e a dificuldade de operação (MOTA et al., 2018), b) a dificuldade na instalação, a falta de homogeneidade nas leituras e a necessidade de calibração de sensores de umidade do solo (SENA et al., 2020), c) e a dificuldade de programação, utilização e interpretação de planilhas convencionais de manejo de irrigação. Assim, ferramentas que auxiliem os produtores no planejamento e nas tomadas de decisões em suas safras, são extremamente importantes.

Atualmente, há no mercado inúmeras empresas especializadas em manejo de irrigação, assim como disponíveis alguns softwares para esse fim, entretanto, estes normalmente utilizam de metodologias genéricas para todas as regiões, culturas e sistemas de irrigação. Portanto, há

carência muito grande de um software específico para a cultura do tomate para indústria, associado ao sistema de irrigação pivô central, e que considere as exigências dos principais híbridos cultivados nas condições edafoclimáticas de Goiás.

Dessa maneira, o presente trabalho objetivou desenvolver um software de fácil interface, e que reúne as variáveis necessárias para auxiliar de maneira simples e prática o manejo irrigação em lavouras de tomate para indústria, irrigadas por pivô central em Goiás.

MATERIAL E MÉTODOS

O software/aplicativo foi desenvolvido com uma versão para planejamento e outra versão para tomada de decisão. O Software foi elaborado utilizando as linguagens de programação Php e javascript, e a base de dados mysql. E para a apresentação do programa, a linguagem html 5 e css.

Planejamento do manejo da irrigação

O software foi elaborado exclusivamente para cultura do tomate para indústria para o Estado de Goiás, com opção de data de transplântio variando de 01 de fevereiro a 01 de julho, pois, corresponde a época mais apropriada para transplântio de mudas de tomate em Goiás. Calculou-se evapotranspiração de referência (ET_o), método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998), de dados de normais climatológicas (1980 a 2016) dos municípios goianos. Os dados climáticos são disponíveis pelo InfoClima® (www.cnpaf.embrapa.br/infoclima) e provenientes do estudo realizado por Xavier et al. (2016). Foram utilizados coeficientes de cultura (K_c) recomendados pela Embrapa Hortaliças (MAROUELLI et al., 2012), para os cálculos de Evapotranspiração da cultura (ET_c mm dia⁻¹) (Eq. 3). Para o cálculo da lâmina bruta de irrigação, considerou-se a eficiência de aplicação (EA) de água de pivô-central de 80 ou 85% (eficiências médias de pivôs centrais em Goiás), definida pelo usuário. Esses valores de EA podem ser verificados em campo com o teste de uniformidade de aplicação de água (CUC e CUD), seguindo as recomendações técnicas ABNT (Eq. 1 ou 2).

$$EA = CUC * 0,95 \quad (1)$$

$$EA = CUD \quad (2)$$

Em que: CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen; 0,95 = Fator de perda combinada de água por evaporação e arrastamento pelo vento (em condições de $ET_o = 5 \text{ mm dia}^{-1}$ e vento de $2,0 \text{ m s}^{-1}$, CUD = Coeficiente de Distribuição de água.

A uniformidade de aplicação de água é influenciada por vários fatores, tais como: variações na vazão dos aspersores ao longo da tubulação aérea; variações nas condições do vento; variações na velocidade de rotação e variações nos bocais dos aspersores (Tamanho de gota, altura de aplicação, diâmetro molhado, e inclinação).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (3)$$

Em que: ET_c é evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); K_c : coeficiente de cultura (MAROUELLI et al., 2012).

Tabela 1. Variação do coeficiente de cultura (K_c), para cultivo de tomate para indústria em plantio direto na palha e preparo convencional do solo, e o acúmulo térmico correspondente a cada estágio fenológico.

Estádio	Soma Térmica (GD)	K_c^* Plantio Convencional	K_c plantio direto
Fase 1	0 a 91	0,90	0,45
Fase 2	91 a 424	0,65 a 1,10 $K_c = K_c \text{ anterior} + GD * ((1,1 - 0,65)/(424-91))$	0,5 a 1,05 $K_c = K_c \text{ anterior} + GD * ((1,05 - 0,5)/(424-91))$
Fase 3	424 a 951	1,10	1,05
Fase 4a	951 a 1246	1,10 a 0,35 $K_c = K_c \text{ anterior} - GD * ((1,1 - 0,35)/(1246-951))$	1,05 a 0,35 $K_c = K_c \text{ anterior} - GD * ((1,05 - 0,35)/(1246-951))$
Fase 4b	1246 a 1366	0,35	0,35

*Fonte: Embrapa Hortaliças (MAROUELLI et al., 2012). Fase 1 = Transplântio ao pegamento (quando uma nova folha é emitida e atinge 4 cm de comprimento); Fase 2 = Pegamento até início do período reprodutivo (mais de 50% das plantas com uma flor em antese); Fase 3 = Reprodutivo ao início da maturação (primeiro fruto com mudança de coloração); Fase 4a = Início da maturação até 50% dos frutos maduros; Fase 4b = De 50% dos frutos maduros a 90% dos frutos maduros; $K_{c\text{anterior}}$: K_c do dia anterior. GD: soma térmica do dia.

O software utiliza dados de temperatura média do ar (Normais climatológicas, Infoclima), para calcular a soma térmica (Eq. 4) e com isso estimar a variação de K_c nos diferentes estágios fenológicos da cultura (Tabela 1). Nessa etapa considerou-se apenas um ciclo de desenvolvimento, com valor máximo de GD de 1366 dias.

A soma térmica diária considera a temperatura basal inferior (T_b), de 10°C e a temperatura basal superior (T_B) de 34°C (PALARETTI et al., 2012), sendo os Graus Dia (GD), obtido pela seguinte equação (ARNOLD, 1959; OMETTO, 1981) (Eq. 4).

$$GD = T_m - T_b \quad (4)$$

Em que: GD é a soma térmica diária em °C, Tm representa a temperatura média diária do ar °C e Tb a temperatura basal inferior da cultura.

Para o planejamento do manejo de irrigação considera-se dois Turnos de Rega: a) diariamente na fase 1, do transplântio ao pegamento (raízes rasas de 12,5 cm); e b) intervalo de três dias no restante do ciclo da cultura. Na definição de turno de rega de três dias levou-se em consideração a capacidade de retenção e infiltração de água dos solos do Cerrado. Mas, deve-se considerar que, como o tomateiro é uma planta vulnerável ao ataque de fungos e bactérias causadores de doenças nas folhas, flores, frutos e raízes, recomenda-se irrigar de forma menos frequente possível (maior intervalo entre uma irrigação e outra). Assim, em áreas irrigadas com pivôs de até 25 ha, com ausência de escoamento de água nos últimos vãos, é possível turnos de rega entre 5 e 10 dias a partir da fase 2 (pegamento ao início do florescimento). Mas, para isso, o usuário terá a opção de salvar os dados em formato *.xls (formato editável), o que o auxiliará na elaboração de sua própria planilha, utilizando as lâminas diárias de irrigação para irrigar na frequência desejada.

E por fim, é importante considerar que, para as condições goianas, o maior rendimento de polpa pode ser obtido paralisando as irrigações quando a cultura apresentar entre 40 e 50% de frutos maduros (10 a 15 dias da colheita). Já a máxima produtividade de frutos somente é atingida irrigando-se até mais próximo à colheita, com 60 a 90% de frutos maduros (5 a 10 dias antes da colheita) (MAROUELLI et al., 2012).

O software entregará de resultados, a data, a lâmina d'água, e a regulagem do percentímetro do pivô para cada irrigação.

Tomada de decisão de manejo da irrigação

Essa versão do software, que auxilia nas tomadas de decisões, foi programada para fazer um balanço de entrada (irrigação e chuva) e saída (evapotranspiração da cultura) de água do sistema. Nessa versão do software as lâminas de irrigação e de chuva devem ser digitadas pelo usuário, já a evapotranspiração será calculada diariamente pelo software, utilizando dados da estação meteorológica correspondente a cada microrregião.

O usuário ao informar o município, o software buscará na estação meteorológica mais próxima e dentro da região climática homogênea, incluindo informações de temperatura máxima, média e mínima do ar (°C); umidade relativa do ar (%); velocidade do vento (m s⁻¹); chuva ou precipitação pluvial (mm), e radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹), para estimativa da evapotranspiração de referência utilizando o método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998) (Eq. 1). O software está programado para buscar diferentes bases de dados meteorológicos. Em uma escala de prioridade, inicialmente o software tentará estabelecer contato com uma estação

da rede de estações meteorológicas da UFG, que possui estações instaladas em microrregiões climáticas homogêneas, e são representativas de outros municípios circunvizinhos. Caso haja falha de dados ou inconsistências, será feita a busca na rede de estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), e na sequência a base de dados NASAPOWER.

A lâmina bruta de irrigação recomendada é calculada (Eq. 5) considerando a necessidade de irrigação do dia (Eq. 6) e a eficiência de irrigação informada pelo usuário como dado de entrada no software. E a regulagem do relé percentual do pivô central calculada (Eq. 7) considerando a lâmina mínima do pivô central, também informada pelo usuário como dado de entrada.

$$L = NI/EA \quad (5)$$

Em que, L: Lâmina bruta de irrigação recomendada (mm); NI: Necessidade de irrigação (mm); EA: Eficiência de irrigação informada pelo usuário (decimal).

$$NI = ET_c + (NI_{anterior}) - (P) - (I * EA) \quad (6)$$

Em que, NI: Necessidade de irrigação do dia (mm); ET_c: Evapotranspiração da cultura do dia (mm dia⁻¹); NI_{anterior}: Necessidade de irrigação do dia anterior (mm); P: Precipitação pluviométrica/chuva do dia registrada pelo usuário (mm); I: Lâmina bruta de irrigação realizada e registrada pelo usuário (mm dia⁻¹); EA: Eficiência de aplicação de água informada pelo usuário.

$$R = (L_{100\%}/L) * 100 \quad (7)$$

Em que, R: Regulagem do relé percentual do pivô central recomendada para o dia (%); L_{100%}: Lâmina bruta mínima do pivô central informada pelo usuário (mm); L: Lâmina bruta de irrigação recomendada no dia (mm);

Obs: O software foi programado para ajustar a regulagem do percentímetro para 100% sempre que a necessidade de irrigação for menor que a lâmina mínima informada pelo usuário.

Para simplificar e tornar prático o manejo de irrigação, as 13 classes texturais foram agrupadas em apenas 3 classes, sendo: Argilosa (muito argiloso; argiloso, argilo siltoso e franco argilo siltoso); Média (franco arenoso, franco e franco argilo arenoso); e Arenosa (arenoso e areia franca).

Observe que para cada dia do ciclo da cultura o software recomendará uma lâmina bruta de irrigação e a regulagem do relé percentual correspondente. Entretanto, dado a sensibilidade da cultura do tomate ao molhamento foliar e o risco de escoamento de água no solo para cada pivô central, o usuário poderá optar por irrigar em intervalos variados. Assim, para auxiliar o

usuário no intervalo correto entre irrigações, o software apresentará os valores (na coluna de lâmina de irrigação recomendada) nas cores verde e vermelha. Quando os valores estiverem verdes, significa que a necessidade de irrigação não excedeu a água prontamente disponível no solo para a cultura do tomate, e, portanto, as plantas não estão em estresse hídrico. E quando os valores estiverem vermelhos, significa que a necessidade de irrigação excedeu a água prontamente disponível no solo, e as plantas estão com estresse hídrico. Para melhor visualização pelo usuário do balanço de água no solo, o software também apresenta um gráfico que é atualizado automaticamente ao longo do ciclo, destacando o esgotamento de água no solo. Considerou-se a profundidade efetiva de raízes: fase 1 (12,5), fase 2 (25) e fases 3 e 4 (37,5 cm). Fator de disponibilidade de água no solo de 40% ($f=0,4$). ARENOSO (Areia Franca, 10 a 15% de argila, $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, $U_{cc}=18,4\%$, $U_{pmp}=8,1\%$, $U_{crít.}=14,3\%$). MÉDIO (Franco, 15 a 30% de argila, $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, $U_{cc}=31,1\%$, $U_{pmp}=14,2\%$, $U_{crít.}=24,4\%$). ARGILOSO (Argilosa, 40 a 60% de argila, $1,3 \text{ g cm}^{-3}$, $U_{cc}=40,2\%$, $U_{pmp}=19,2\%$, $U_{crít.}=31,9\%$). Lemos & Santos (1984); Fase 1: Transplântio ao pegamento (Profundidade efetiva de raízes; Fase 2: Pegamento ao início da floração; Fase 3: Florescimento ao início da maturação; Fase 4: Maturação a colheita.

Vale ressaltar que, lâminas de chuva menores que 5 mm dia 1 serão consideradas zero nos cálculos. As chuvas informadas pelo usuário poderão ser muito pequenas ou muito grandes. Pequenas, são chuvas menores que 5 mm por dia. Assim, essas serão desconsideradas, ou seja, o software considerará zero qualquer valor digitado pelo usuário, entre 0 e 5, bem como, serão desconsideradas as lâminas de chuva muito grandes (chuvas maiores que o déficit de água no solo). Assim, se o usuário digitar uma chuva que gere um valor negativo de necessidade de irrigação, o software considera que o excedente drenou e zera o balanço hídrico, ou seja, considera apenas a parte da chuva suficiente para repor o armazenamento do solo (encher o “reservatório” do solo de água).

Outra informação fornecida pelo software é a lâmina máxima de irrigação recomendada, para auxiliar o usuário na tomada de decisão do momento de irrigar, sem risco de escoamento de água no solo. Para isso, foi inserido uma “label” denominada “Escoamento de água no solo”, logo abaixo da planilha de manejo. Nesta, o usuário escolherá o diâmetro molhado pelos aspersores na extremidade final de seu pivô (13 a 20 m) e obterá a lâmina máxima e o mínimo valor do relé percentual permitido. O software calculará a intensidade de aplicação de água na extremidade final do pivô pela Eq. 8.

$$I_a = \frac{2 \times 1000 \times L \times Q_p}{(L_p + R_g)^2 \times L_d} \quad (8)$$

Em que, I_a : Taxa média de aplicação de água (mm h^{-1}), L_s : distância do centro do pivô até o aspersor final (m), Q_p : Vazão total do pivô ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), L_p : Comprimento total do pivô (m), R_g : Raio do canhão final (m), e L_d : Diâmetro de alcance do aspersor final (m).

Observe que IA é calculado para cada pivô em função dos dados informados pelo usuário: 1) área total do pivô, 2) diâmetro molhado dos aspersores na extremidade final do pivô e 3) lâmina do pivô. E a taxa de infiltração de água no solo (TI) calculada em função do tipo de solo (informado pelo usuário) e tempo de passagem do pivô (calculado até o limite máximo de TI não ultrapassar IA , evitando assim o escoamento de água no solo). Assim, foi utilizado a equação empírica que descreve o comportamento de infiltração da água no solo (Equação de Horton) no tempo (Eq. 9).

$$TI = T_s + (T_o - T_s) \cdot e^{-Bt} \quad (9)$$

Em que, TI é a taxa de infiltração (mm h^{-1}), T_s é a taxa de infiltração em condição de saturação (mm h^{-1}), T_o é a taxa de infiltração inicial (mm h^{-1}), t é o tempo (min), B é um parâmetro determinado a partir de medições no campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao acessar o software/aplicativo IrrigaTomate® (Figura 4), o usuário tem 6 abas: 1) Sobre; 2) Planejamento; 3) Manejo; 4) Orientações; 5) Cadastro; 6) Contato e 7) Apoio. As abas “Sobre” e “Orientações” trazem, na forma de texto, informações importantes para os usuários a respeito do software, e orientações de como utiliza-lo para garantir o sucesso do manejo da irrigação.

Planejamento de manejo de irrigação

Na versão para o planejamento de manejo de irrigação a primeira etapa diz respeito a informações de: a) o município, b) a data prevista de transplântio das mudas em campo, c) tipo e sistema de preparo do solo e c) a eficiência, área e lâmina mínima do pivô central, sendo estas informadas pelo usuário.

Tomada de decisão de manejo da irrigação

Além dos dados de entrada já informados no planejamento, na aba manejo, o usuário informa o tipo de solo (arenoso, médio e argiloso), para o cálculo de turno de rega variável, e os dados diários de chuva e irrigação ocorridas na área irrigada, devendo serem informados

constantemente ao longo do ciclo, para que o software atualize as informações de lâmina de irrigação recomendada no dia e a respectiva regulagem do relé percentual do pivô.

No primeiro acesso ao software, o usuário cadastrará um login e uma senha. Nos próximos acessos, ao se identificar, o usuário retomará o manejo da irrigação a partir da data de seu último acesso. Em seguida aparecerá ao usuário uma planilha, com sete colunas: a) Data (dia $\text{mês}^{-1}\text{ano}^{-1}$); b) Dias após o transplântio (DAT), c) Evapotranspiração da cultura (ETc mm dia^{-1}), d) Chuva (mm dia^{-1}); e) Lâmina bruta de irrigação realizada (mm); f) Lâmina bruta de irrigação recomendada (mm); e g) Regulagem do relé percentual do pivô central recomendada (%).

É importante observar, que nesta planilha, as células das colunas chuvas e irrigações são editáveis. Assim, com a atualização realizada pelo usuário de forma contínua ao longo do ciclo das chuvas e irrigações, o software IrrigaTomate recomenda os valores atualizados de lâmina de irrigação e a regulagem do relé percentual do pivô. É importante observar também, que o dado de lâmina de irrigação recomendada aparecerá na cor vermelha ou verde, informando que as plantas estão com ou sem restrição hídrica, apresentando ao usuário, o limite máximo entre uma irrigação e outra, para não causar estresse hídrico as plantas. E os limites de água prontamente disponíveis em cada fase, e o esgotamento de água no solo ao longo do ciclo, podem também ser visualizados na forma gráfica.

Apesar de limitado à cultura do tomate, ao sistema de irrigação por pivô central e para Goiás, o IrrigaTomate pode facilmente ser expandido para outras culturas, outros sistemas de irrigação e para outras regiões do Brasil e do mundo.

CONCLUSÕES

O Software/Aplicativo IrrigaTomate representa uma ferramenta gratuita, de fácil aplicação e interpretação, para produtores que ainda irrigam de forma empírica, e que pretendem adotar o manejo correto de irrigação por pivô-central na cultura do tomate para processamento industrial em Goiás, auxiliando o usuário no planejamento das irrigações antes do transplântio e nas tomadas de decisão ao longo do ciclo.

Acesso: www.irrigatmate.com.br; aplicativo IrrigaTomate disponível Androide.

AGRADECIMENTOS

A FAPEG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás e a Fundação Cargill pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, v. 300, n. 9, 1998.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 74, n.1 p. 430-445, 1959.

MARQUELLI, W. A. et al. Irrigação e fertirrigação. In: CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (editores técnicos). **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 15.

MOTA, W. N. et al. SMUT - Sistema de baixo custo para aquisição de temperatura e umidade relativa do ar para manejo de irrigação. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v.26, n.1, p.89-99, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i1.897>

SENA, C. C. et al. Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 4, p. 17228-17240, 2020.

XAVIER, A. C. et al. Daily gridded meteorological variables in Brazil: (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, mar. 2016.