Desenvolvimento e validação de aplicação computacional para avaliar Sistemas de Rega Sob Pressão

Development and validation of a computational tool for the assessment of water application on Pressurized Irrigation Systems

Paulo Brito da Luz[1], Diogo Felicissimo[2], Nelson Carriço[2], André Antunes[2]

[1] *Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Av. da República, Quinta do Marquês (edifício sede), 2780-157 Oeiras, paulo.luz@iniav.pt*

[2] *Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, diogo.felicissimo@estbarreiro.ips.pt, andre.antunes@estsetubal.ips.pt, nelson.carrico@estbarreiro.ips.pt*

RESUMO: O setor do regadio requer práticas com sustentabilidade ambiental e competitividade socioeconómica, que envolvem o incremento do uso eficiente da água, em diferentes escalas e redes de distribuição. Muitas abordagens inovadoras para apoiar essas práticas, nomeadamente as que se relacionam com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), são presentemente inseridas e divulgadas na designada "Agricultura 4.0". Neste sentido, ao nível da rede terciária, as TIC têm melhorado a capacidade de se transferir e utilizar informação, facilitando ao regante a abordagem de diferentes processos relativos às instalações de rega, desde a fase de compra até avaliações de desempenho, entre outros.

Na generalidade dos projetos hidroagrícolas em Portugal, a opção dos regantes por métodos sob pressão (i.e. rega por aspersão e localizada) tem crescido face a vantagens de automatização, economia de mão-de-obra e de maior eficiência no uso da água. Contudo, continuam a observar-se situações de risco na gestão dos recursos naturais e energéticos, pela falta de adequação do sistema de rega às condições pedo-climáticas específicas das parcelas. Consequentemente, um sistema de rega sob pressão pode atingir níveis de classificação de desempenho muito baixos, considerando as perdas de água excessivas, relacionadas com os escoamentos (superficiais e/ou subterrâneos), a evaporação e os desvios causados pelo vento. Estas perdas podem ser calculadas pela Eficiência de Aplicação, que é definida pela razão entre o volume médio de água disponível para as plantas e o volume médio aplicado na rega. Este indicador depende de determinadas variáveis com impacto mais significativo que se relacionam com: 1) tipo e características da rega: dotação, taxa de aplicação; 2) características do terreno: textura do solo, declive e coberto vegetal; e 3) fatores climáticos: velocidade do vento e temperatura.

O presente artigo tem como objetivo a apresentação de uma aplicação computacional desenvolvida e validada para o cálculo da eficiência de aplicação de água de sistemas de rega sob pressão, ao nível da rede terciária (parcela). Esta ferramenta de AgriTech processa classificações e padrões devidamente enquadrados em informação e recomendações de normalização atualizada, capacitando o utilizador para fazer as opções mais válidas com base em critérios objetivos de boas práticas.

Palavras-chave: Aplicação computacional; Boas práticas; Eficiência de aplicação; Rede terciária; Sistemas de rega.

ABSTRACT: The irrigation sector requires environmental sustainability and socio-economic competitiveness practices, which involves the increase of water efficiency at different scales and distribution networks. Many innovative approaches to support these practices, namely those related to information and communication technologies (ICT), are now included and disseminated in the so-called "Agriculture 4.0". In this sense, regarding the on-farm irrigation systems layout, ICTs have improved the ability to transfer and use information, making it easier for the farmer to approach different processes related to irrigation facilities, from the purchase step to performance assessments, among others.

In most Portuguese public collective irrigation projects, the option of using pressurized irrigation methods (i.e. sprinkler and microirrigation systems) has grown due to the advantages of automation, labor savings and higher water application efficiency. However, there are still risk situations in natural and energy resources management, due to the lack of irrigation system adequacy to site-specific pedo-climatic conditions. Consequently, a pressurized irrigation system may operate with very low performance levels, considering the excessive water losses related to runoff (surface and / or subsurface), evaporation and wind drift. These losses can be calculated by the Application Efficiency, which is defined by the ratio between the average water volume available to the crops and the average water volume applied in irrigation. This indicator depends on certain variables with most impact related to: 1) irrigation type and characteristics: water depth and application rate; 2) land characteristics: soil texture, slope and vegetation cover; and 3) climatic factors: wind speed and temperature.

This paper aims to present the development and validation of a computational tool to calculate the water application efficiency of pressurized irrigation systems, at the on-farm irrigation level (plot). This AgriTech tool processes classifications and standards properly framed in information and recommendations of updated standardization, enabling the user to make the most valid options based on objective criteria of good practices.

Keywords: Application efficiency; Computational tool; Good practices; Irrigation systems; On-farm irrigation layout.

Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 42, N.º 1, 31-40 março de 2021.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh42n1-cti4

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, num panorama mundial, observam-se condições de acentuada vulnerabilidade ao nível da "produtividade dos recursos" e da "segurança alimentar", sendo procuradas soluções de gestão integrada dos recursos hídricos e energéticos em interação com as questões alimentares, num contexto designado como Nexo Água-Energia-Alimentação (Water-Energy-Food Nexus) (FAO, 2014). Nesta abordagem, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) considera necessário a construção de bases de dados e ferramentas de avaliação fundamentadas em indicadores, que envolvam diferentes escalas geográficas das variáveis, e com objetivos específicos em termos de produtividade e eficiência no uso dos recursos naturais. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD) alerta que as atividades no sector agrícola, envolvendo o Nexo Água-Energia-Alimentação (Nexo A-E-A), complementam as de outros setores, mas também competem pelos recursos disponíveis (OECD, 2014). Consequentemente, observam-se pressões no consumo, com impacto nos custos de crescimento económico e na sustentabilidade dos ecossistemas. Por outro lado, projeções globais destacam que a procura por água potável, energia e alimentos vai crescer significativamente nas próximas décadas, com desafios, nomeadamente, do crescimento populacional, do desenvolvimento económico e também das alterações climáticas (Hoff, 2011). A FAO (2019) tem documentado as condições agro-ambientais que envolvem factores biofísicos (clima, água, solo, sanidade etc.) com grande impacto ao nível da gestão local-exploração agrícola, e para as quais as alterações climáticas adicionam complexibilidade. Os problemas envolvidos suscitam particular atenção aos regantes para práticas fundamentadas na agroecologia, nas quais se tenta conjugar a experiência tradicional acumulada com o conhecimento científico inovador.

As questões climáticas assumem particular importância na região mediterrânica, em que Portugal Continental se insere, devido à grande variabilidade intra e interanual e aos cenários que projetam a redução da precipitação e o aumento da temperatura no verão (EEA, 2017); consequentemente, agravam-se os riscos de seca e de escassez de água, e as ameaças ao potencial da produção agrícola e à segurança alimentar. Neste contexto geral, os decisores políticos têm considerado medidas e programas de apoio ao desenvolvimento económico sustentável, de que é um bom exemplo, a nível nacional, o "Compromisso para o Crescimento Verde" (CCV - www.crescimentoverde.gov.pt) (MAOTE, 2015). O CCV é um instrumento estratégico que assume a necessidade de se enfrentarem as crises associadas ao clima e ao aumento dos consumos dos recursos naturais; fixa vários objetivos para o período 2020-2030, de entre os quais as contribuições para o crescimento económico, a eficiência e a sustentabilidade. Dos indicadores que apresentam metas concretas constam as eficiências hídrica e energética.

A construção de quadros de parâmetros e indicadores tem sido implementada, com destaque para a gestão e conservação dos recursos naturais (e.g., uso e qualidade, da água ou do solo, balanço de nutrientes). As ferramentas metodológicas, com indicadores quantitativos e qualitativos (e.g. biofísicos, de gestão, de desempenho e socio-económicos), são crescentemente propostas no âmbito agroambiental e refletem impactos agrícolas e não-agrícolas, bem como tendências e a adequação (ou não) das práticas agrícolas tradicionais e inovadoras (Luz, 2013; OECD, 1999). Os modelos de previsão (e.g. climáticos e hidrológicos) permitem produzir informação que reduz riscos e incertezas nos processos de decisão, nomeadamente nas orientações sobre rega e drenagem. . Ao nível da rede terciária (regante), as TIC têm facilitado diferentes processos de: 1) seleção e dimensionamento (e.g. sistemas de apoio à decisão); 2) gestão e operacionalidade da rega (e.g. controlo remoto); 3) monitorização (e.g. sensores, satélites, SIG e mapas de índice de vegetação - NDVI); e 4) avaliação (e.g. metodologias de inteligência artificial). Estes processos, envolvendo aspectos técnicos, ambientais e económicos, são também uma importante fonte de informação para as metodologias de validação das ferramentas. Com base nestes procedimentos facilita-se o estabelecimento de recomendações padronizadas, comparáveis e consistentes.

As práticas de rega para a obtenção de maior eficiência envolvem questões sobre seleção e dimensionamento da instalação e posteriormente sobre condução da rega. Face às diferentes condicionantes expostas, a opção pelos métodos de rega sob pressão (i.e. rega por aspersão e localizada) tem vantagens de sustentabilidade ambiental e económica, nomeadamente de automatização e economia de mão-de-obra, embora os custos de investimento e de gastos de energia (sobretudo nas instalações que requerem maiores pressões de funcionamento) sejam geralmente mais elevados (Keller e Bliesner, 1990; Oliveira, 1993). De acordo com

a Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), a área efetivamente regada em Portugal aproxima-se dos 500.000 ha, na qual cerca de 70% reporta já a sistemas de rega sob pressão (DGADR (2014). A Federação Nacional de Regantes (FENAREG) aponta num documento de orientação para a modernização e expansão do regadio em Portugal, com horizonte temporal até 2050, metas de aumento da eficiência no uso da água e da energia pelos regantes, incluindo a reconversão de 200.000 ha para sistemas de rega sob pressão mais eficientes (FENAREG, 2019). Este mesmo documento regista um eixo de ação para a promoção de boas práticas de rega nas explorações agrícolas, que aponta para a criação de apoios para a instalação e gestão de equipamentos/tecnologias mais eficientes.

Destacam-se algumas ações-chave apresentados num estudo desenvolvido pelo International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM), e que aponta estratégias para o uso racional da água na região mediterrânica, enquadrando os domínios temáticos atrás mencionados (CIHEAM, 2011):

- Elaboração de diretrizes/manuais para o "Uso Racional da Água" destinados aos utilizadores;
- Melhorar a utilização da água no regadio em contexto técnico;
- Incentivar tecnologias de rega potencialmente mais eficientes (e.g. gota a gota e aspersão);
- Promover a investigação e a aplicação dos resultados na modernização da rega;
- Maior capacitação nas fases de dimensionamento, gestão e operacionalidade de projetos de rega;
- Desenvolvimento de especificações nacionais de padrões de utilização de equipamentos de rega;
- Necessidade de indicadores para a avaliação da utilização da água;
- Investigação sobre eficiência de aplicação ao nível da parcela do agricultor;
- Seleção de tecnologias mais adaptadas às condições locais (site-specific);

No contexto das questões atrás elencadas foi desenvolvida uma metodologia, no âmbito do projeto AGIR, que tem como objetivo o apoio à tomada de decisão na instalação e gestão de equipamentos e sistemas de rega sob pressão. A metodologia avalia através de uma parametrização qualitativa diferentes ambientes de operacionalidade desses sistemas. Como tal, e para facilitar uma melhor utilização, foram definidos dados de entrada com gamas discretas de valores. A partir destas dados, que pretendem caracterizar os sistemas: i) água-solo-atmosfera e ii) de rega sob pressão, é calculada a eficiência de aplicação da água na parcela, de forma qualitativa, com classes de valores.

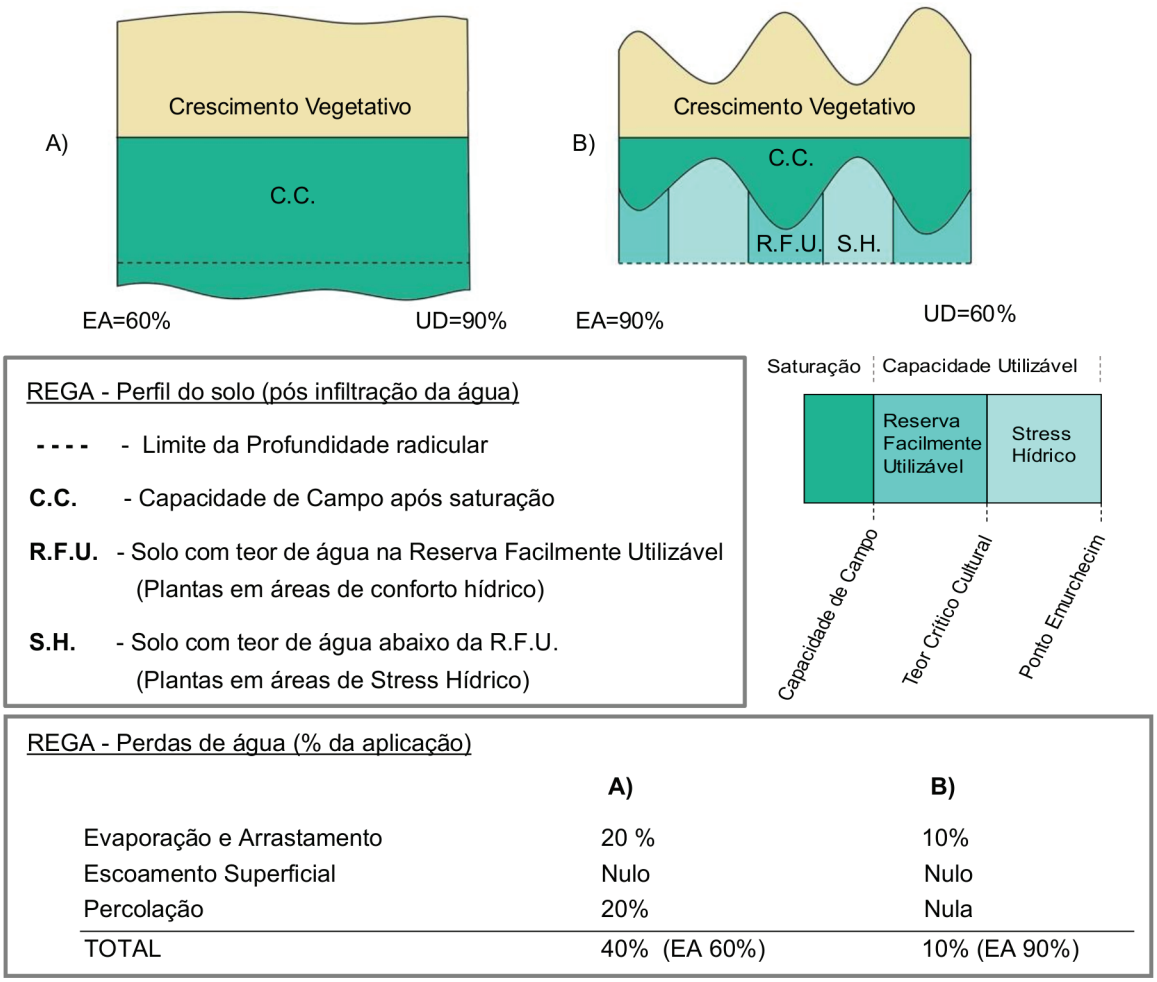
O presente artigo apresenta a metodologia atrás referida e a respetiva aplicação computacional desenvolvida que permitirá efetuar uma avaliação qualitativa e robusta da eficiência de aplicação, em diferentes condições ambientais, relativamente aos principais métodos de rega sob pressão.

2. Metodologia para a avaliação da eficiência de aplicação

O desempenho de um sistema de rega deve ser avaliado por indicadores relacionados com a eficiência e a uniformidade da aplicação de água. Através destes conceitos pretende-se verificar a existência de perdas excessivas de água e, também, a adequação da rega às necessidades hídricas das plantas (Keller a Bliesner,1990; Oliveira, 1993); Tradicionalmente, utilizam-se os seguintes indicadores: 1) Eficiência de Aplicação (EA); 2) Uniformidade de distribuição (UD); e 3) Eficiência de armazenamento (EArm). A EA, indicador utilizado no âmbito do projeto AGIR, define-se como a razão entre o volume médio de água disponível para as plantas e o volume médio aplicado na rega. Os valores da EA permitem ter uma perceção da qualidade ambiental do regadio associada às perdas de água. Nos sistemas de rega sob pressão essas perdas envolvem: 1) Percolação/Escoamento em profundidade (infiltração abaixo da zona radicular); 2) Escoamento superficial (ES); 3) Evaporação (Ev), e no caso apenas da rega por aspersão: 4) Efeito do vento.

No entanto, uma EA elevada indica perdas de água reduzidas, mas não permite considerar que o desempenho do sistema é globalmente bom. Num conjunto de regas poderão existir problemas de baixa uniformidade (e.g. relativos à qualidade do projeto ou das condições de topografia e climatologia/meteorologia) e de stress hídrico no perfil de solo da zona radicular (e.g. relação com uma má gestão/condução da rega), indicados pela UD e pela EArm, mas o impacto é sobretudo na produção (Danny *et al.*, 1997).

Numa primeira fase, optou-se por simplificar o procedimento metodológico, não considerando a Percolação/Escoamento em profundidade. Esta ocorrência poderá terá algum peso na EA se antes



REGA - Perdas de água (% da aplicação)

	A)	B)
Evaporação e Arrastamento	20 %	10%
Escoamento Superficial	Nulo	Nulo
Percolação	20%	Nula
TOTAL	40% (EA 60%)	10% (EA 90%)

Figura 1. Representação teórica de perfis de solo com curvas de crescimento vegetativo associadas, que compara duas condições opostas de uniformidade e eficiência:

A) - EA baixa (60%) e UD alta (90%) - maior perda de água com percolação, evaporação e arrastamento

B) - EA alta (90%) e UD baixa (60%) - quebra de produção por stress hídrico

da rega e no perfil do solo com raízes: 1) existirem teores de água demasiado elevados; 2) as doses de água forem excessivas para a capacidade de armazenamento. No entanto, o que acontece na realidade é que a rega se inicia com uma humidade do solo inferior à capacidade de campo (CC) e usualmente dentro de valores medianos da Reserva Facilmente Utilizável (RFU). Por outro lado, na gestão de rega destes sistemas as dotações tendem a ser baixas (inferiores a 20 mm) e a frequência alta (intervalos de rega entre 1a 3 dias), sendo a variação da humidade do solo também reduzida. Igualmente a humidade do solo é um parâmetro não incluído, considerando-se o seu impacto pouco significativo nas condições de reduzida variação do volume de água armazenado, bem como de operacionalidade usual nos sistemas de rega envolvidos.

No procedimento metodológico considerado, o ES potencial (ESP) vai depender de três parâmetros (Luz, 2002): 1) Taxa de aplicação de água; 2) Dotação (dose) de rega; 3) Taxa de infiltração do solo. Para todos eles a estrutura conceptual utilizada envolveu 3 classes.

A taxa de aplicação de água é um parâmetro de dimensionamento relacionado com o débito dos emissores num determinado local e cujo valor máximo, num projeto, depende do diâmetro molhado (alcance da água) verificado nesses emissores. A redução da pressão num sistema de rega, embora com alguns aspetos económicos positivos, contribui para aumentar essa taxa máxima e potencia as perdas de água. Pretende-se que os valores das taxas de aplicação e de infiltração do solo sejam próximos, de forma a evitar-se ou minimizar-se a ocorrência de escoamento superficial.

A dotação (dose) de rega é um parâmetro de gestão relacionado com a quantidade de água aplicada numa área, durante um período de tempo definido (evento). Usualmente, na condução da rega esssas dotações aplicam-se para que o perfil do solo, na zona radicular, fique com teores de água entre a CC e próximos de 50% da RU (limites da RFU). Nos métodos sobpressão as dotações tendem a ser baixas, o que é vantajoso em termos de se evitarem os escoamentos (superficiais e em profundidade) pelo efeito volumétrico (enchimento dos poros com água), mas podem levar a maiores perdas por efeito do vento e das temperaturas mais altas.

A caracterização da textura do solo, permite estimar parâmetros hidráulicos como a saturação, a CC, a RFU e a taxa de infiltração (TI). Na avaliação do escoamento superficial de um dado sistema de rega assume-se uma TI estabilizada, com equivalência à condutividade hidráulica saturada (Ks).

As condições mais desfavoráveis para as perdas de água máximas associadas ao escoamento superficial potencial (ESP), derivam de solos com menor Ks e de sistemas de rega com taxas de aplicação e dotações mais elevadas. No caso dos "pivots", numa primeira avaliação do risco, considera-se o que se passa na extremidade distal, onde são observados os maiores picos nas taxas de aplicação. Em todos os outros sistemas essa avaliação realiza-se com as taxas médias de aplicação de água e de infiltração. No caso de formação de crosta a Ks é extremamente baixa e considera-se para o ESP um valor de 60% da dotação de rega. As perdas de água reais dependem ainda da capacidade do solo em reter parte do ESP. Ou seja, determina-se o escoamento superficial real (ESR), subtraindo do ESP o armazenamento superficial (AS). O armazenamento superficial irá depender do declive e do coberto vegetal do terreno de acordo com a adaptação a uma tabela da NRCS (2005) citada por Martin *et al.* (2012). No caso dos "pivots" os quadros de ESP são calculados para a área circular exterior com os últimos emissores, de maior risco. Consequentemente, pode-se deduzir que para toda a área regada o ESP médio será inferior. Com base em simulações realizadas para diferentes solos e condições de rega, aceita-se uma redução de 1/3 no ESR inicialmente calculado na área circular exterior.

Na estimativa das perdas de água pelos métodos de rega por aspersão consideram-se os efeitos do vento na dispersão e, a par da temperatura, na evaporação. Os valores podem ultrapassar os 30% em condições extremas de velocidade de vento e temperatura, mas para condições médias registam-se valores próximos dos 10% (King e Bjorneberg, 2011; Keller e Bliesner, 1990). No caso da rega gota-a-gota, as perdas devido à evaporação dependem da temperatura, pois não se verifica o efeito do vento.

3. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO NA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL

Com base na metodologia explanada em 2, foi desenvolvida uma aplicação computacional para o cálculo da eficiência de aplicação (EA) ao nível da exploração agrícola. Como referido anteriormente, a EA, depende do seguinte conjunto de variáveis: **tipo e características da rega** (i.e., dotação, taxa de aplicação), **características do terreno** (i.e., solo, declive e coberto vegetal), e **fatores meteorológicos** (i.e., velocidade do vento e temperatura), conforme esquematizado na Figura 2.

Na Figura 2 as caixas de cor negra representam as variáveis a escolher pelo utilizador na plataforma enquanto as de cor cinza calculadas a partir das anteriores. As variáveis usam uma categorização qualitativa em três classes (i.e., baixo médio e alto) conforme se apresentará mais adiante.

A **dotação de rega** depende do tipo de cultura, sendo que se consideraram na aplicação computacional valores de referência para as classes baixa, média e alta (10, 20 e 30 mm, respetivamente).

A **taxa de aplicação** depende do tipo de sistema de rega. Consideraram-se três tipos de sistemas de rega sob pressão distintos, nomeadamente, Aspersão Fixa, Aspersão Móvel (Pivot) e Gota-a-gota.

- **Aspersão fixa**

$$TA = \frac{Q_{aspersor}}{A_{reg}} \tag{1}$$

Em que:

TA = Taxa de aplicação (mm/h);
$Q_{aspersor}$ = caudal do aspersor (l/h);
A_{reg} = Área regada associada ao aspersor (m2).

- **Aspersão Móvel (Pivot)**

$$P_k = K \times \frac{Q}{L \times \frac{D_m}{2}} \tag{2}$$

Com:

P_k = Pico – taxa de aplicação na extermidade do pivot (mm/h);
K = Constante de conversão igual a 4584, no sistema internacional de unidades;
Q = Caudal na rampa rotativa (l/s);
L = Comprimento da rampa rotativa (m);
D_m = Diâmetro da área molhada dos aspersores na extremidade da rampa (m).

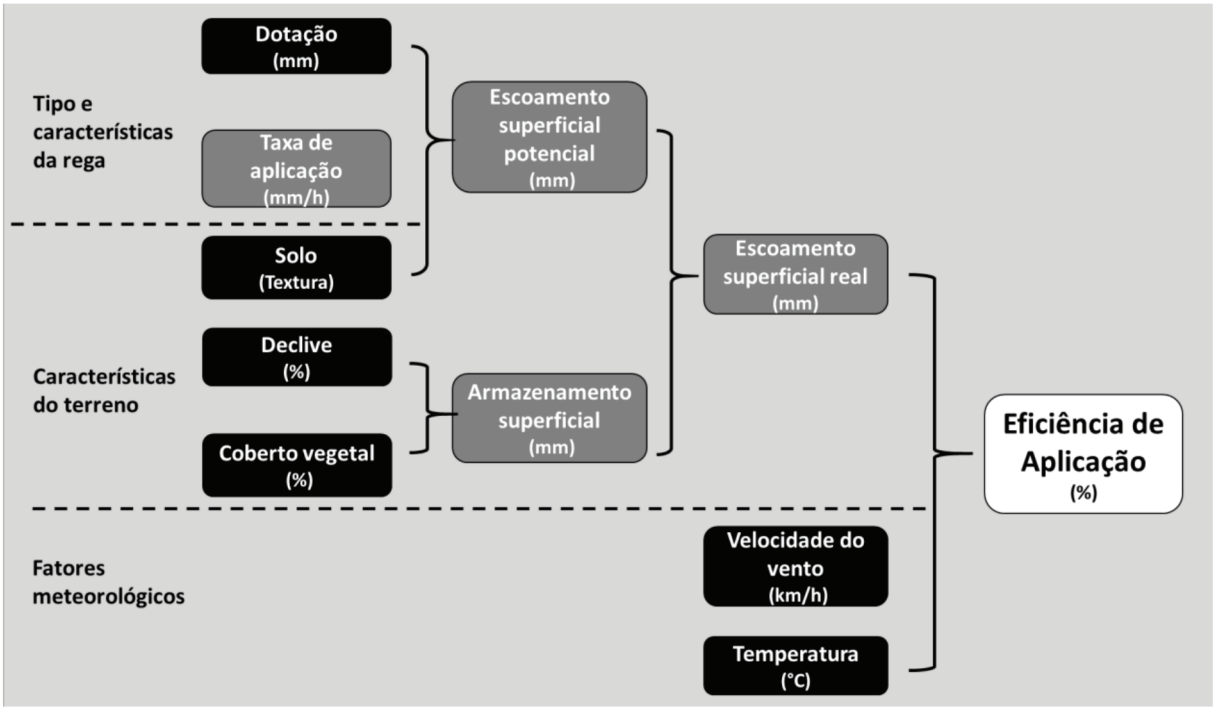


Figura 2. Representação esquemática do cálculo da EA.

- **Gota-a-gota**

$$TA = \frac{\frac{Q_{gotejador}}{A_{compasso}}}{\frac{\%A_{hum}}{100}} \quad (3)$$

Sendo:

TA = Taxa de aplicação (mm/h);
$Q_{aspersor}$ = caudal do gotejador (l/h);
$A_{compasso}$ = Área do compasso do gotejador (m2);
$\%A_{hum}$ = percentagem de área humedecida (%).

De acordo com o estudo desenvolvido por Carvalho *et al.* (2007), o escoamento superficial potencial depende da textura do solo, tendo sido consideradas na aplicação computacional os seguintes quatro tipos: Arenosa (Ligeira), Franca (Média), Argilosa (Pesada) e Crosta. Combinando o tipo e características da rega com a textura do solo a classificação do escoamento superficial potencial (ESP) pode ser obtida com base nas matrizes apresentadas na Figura 3, em que:

- **A**, corresponde a um ESP reduzido;
- **B1**, corresponde a um ESP médio;
- **B2**, corresponde a um ESP alto;
- **C**, corresponde a um ESP muito alto;
- **Crosta**, corresponde a um tipo de solo indesejável para rega que gera um ESP muito alto.

O **escoamento superficial real** é obtido por aplicação da equação (4):

$$ESR = ESP - \Delta S \quad (1)$$

Sendo:

ESR = Escoamento superficial real (mm);
ESP = Escoamento superficial potencial (mm);
ΔS = Armazenamento superficial (mm).

No caso de o sistema de rega ser do tipo aspersão móvel (pivot), o valor de ESR (associado a toda a área) corresponde a 2/3 do resultado inicialmente obtido (o ESP referido apenas à área circular da extremidade distal).
O ESP assume-se com uma percentagem da dotação conforme apresentado no Quadro 1

Quadro 1. Escoamento superficial potencial em percentagem da dotação (%).

Classes de ESP	Valores de referência
A	10
B1	23
B2	36
C	50
Crosta	60

O armazenamento superficial irá depender do declive e do coberto vegetal do terreno de acordo com Quadro 2.

Quadro 2. Armazenamento superficial (em mm). Adaptação de NRCS (2005).

Coberto vegetal	Declive do terreno		
	Baixo (< 2%)	Médio (2% a 5%)	Alto (> 5%)
Baixo (< 30%)	10	5	0
Médio (30 a 60%)	13	8	3
Alto (> 60%)	16	11	6

Finalmente, a **eficiência de aplicação** depende do escoamento superficial real e dos fatores meteorológicos, como a velocidade do vento, apenas nos sistemas de rega por aspersão fixa e móvel, e a temperatura. No caso da velocidade do vento deve-se considerar o valor médio durante o período da rega e no caso da temperatura deve-se usar a máxima diária.

No Quadro 3 apresentam-se, em síntese, as classes consideradas para as diferentes variáveis consideradas na aplicação computacional.

Quadro 3. Síntese das classes das diferentes variáveis consideradas.

Variável		Baixo	Médio	Alto
Dotação de rega (mm)		< 15	15-25	>25
Taxa de aplicação (mm/h)	Aspersão fixa	< 5	5-15	>15
	Aspersão Móvel (Pivot)	< 65	65-100	>100
	Gota-a-gota	< 5	5-15	>15
Coberto vegetal (%)		< 30	30-60	>60
Declive do terreno (%)		<2	2-5	>5
Velocidade do vento (km/h)		< 5	5-14	>14
Temperatura do ar (ºC)		< 20	20-30	>30
Eficiência de aplicação (%)		<70	70-80	>80

Com base nos valores das classes do vento e da temperatura é considerada uma redução, em pontos percentuais, da eficiência de aplicação de acordo com o Quadro 4.

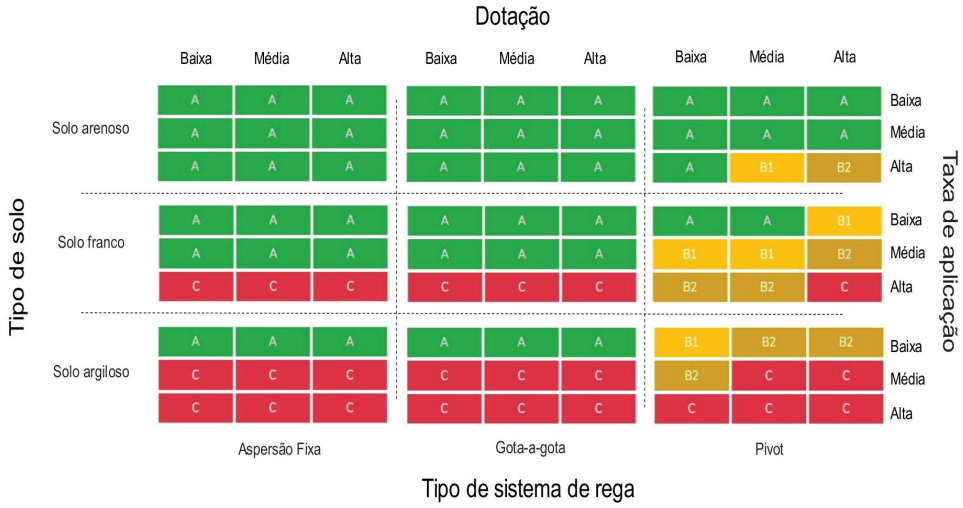


Figura 3. Classificação do ESP.

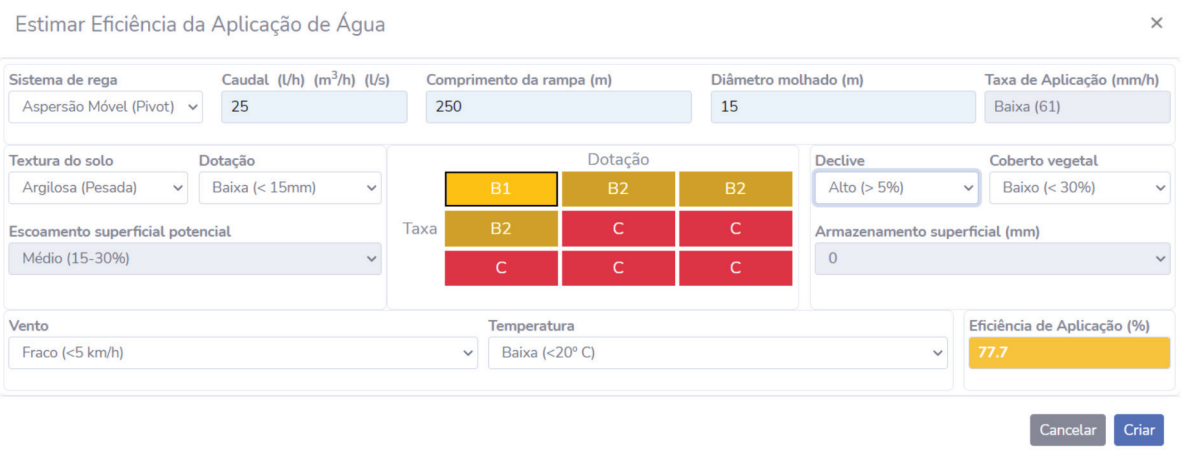


Figura 4. Aspeto da aplicação computacional para o cálculo da eficiência de aplicação.

Quadro 4. Redução da eficiência de aplicação, em percentagem (%).

Variável	Baixo	Médio	Alto
Velocidade do vento	5	10	15
Temperatura do ar	2	5	10

A eficiência de aplicação (ou eficiência de rega) é obtida utilizando a fórmula [5].

$$EA = (1 - \frac{ESR}{D}) \times 100 - v - t \quad (5)$$

Sendo:

EA = eficiência de aplicação (%);
ESR = Escoamento superficial real (mm);
D = Dotação (mm).
v = fator de redução por influência do vento (%);
t = fator de redução por influência da temperatura (%).

No caso do sistema de rega por gota-a-gota não é considerado o fator de redução por influência do vento. Na Figura 4 apresenta-se o aspeto da aplicação computacional para o cálculo da eficiência de aplicação.

4. VALIDAÇÃO DE APLICAÇÃO COMPUTACIONAL

De modo a validar a aplicação computacional, disponível em https://agir.ips.pt, foram simulados seis estudos de caso, dois por tipo de sistema de rega, cujos dados foram extraídos de Pereira (2002) e que se apresentam no Quadro 5.
No Quadro 6 apresentam-se os resultados obtidos, com a aplicação computacional, para a eficiência de aplicação dos seis estudos de caso apresentados no Quadro 5.
Os valores da eficiência de rega obtidos pela utilização da aplicação computacional, para os seis estudo de caso, são consistentes com os valores de campo apresentados em Pereira (2002).

Quadro 5. Dados utilizados para a validação do cálculo da aplicação computacional.

Variáveis	Estudo de caso					
	Pivot 1	Pivot 2	Aspersão 1	Aspersão 2	Gota 1	Gota 2
Textura do solo	Franca (Média)	Argilosa (Pesada)	Franca (Média)	Franca (Média)	Franca (Média)	Franca (Média)
Pico/Taxa de Aplicação (mm/h)	60 (Baixa)	120 (Alta)	7 (Média)	3 (Baixa)	7 (Média)	4 (Baixa)
Dotação (mm)	7,5 (Baixa)	15,2 (Média)	7.2 (Baixa)	6 (Baixa)	8,2 (Baixa)	25,7 (Alta)
Classe de Declive	2-5% (Médio)	2-5% (Médio)	2-5% (Médio)	2-5% (Médio)	2-5% (Médio)	2-5% (Médio)
Coberto Vegetal (%)	Girassol (Médio)	Milho (Médio)	Milho (Médio)	Milho (Baixo)	Milho (Médio)	Melão (Baixo)
Armazenamento superficial (mm)	8	8	8	5	8	5
Velocidade do vento (m/s)	1	>3	0,9	2	–	–
Mês do ano e temperatura	Julho (Alta)	Junho (Média)	Julho (Alta)	Junho (Média)	Julho (Alta)	Julho (Alta)
Evaporação e arrastamento (mm)	1	3	1,1	0,7	0,8 (evaporação)	2,6 (evaporação)

Quadro 6. Resultados obtidos com a aplicação computacional.

Variáveis	Estudo de caso					
	Pivot 1	Pivot 2	Aspersão 1	Aspersão 2	Gota 1	Gota 2
Classificação do ESP	A	C	A	A	A	A
Escoamento Superficial Real (mm)	0	1,3	0	0	0	0
Eficiência de rega (aplicação computacional) (%)	85 (Alta)	73 (Média)	85 (Alta)	85 (Alta)	90 (Alta)	90 (Alta)
Eficiência de rega (dados de campo) (%)	87 (Alta)	78 (Média)	83 (Alta)	88 (Alta)	- (Alta)	- (Alta)

5. CONCLUSÕES

Em termos de perdas de água por ESP os valores estimados são maioritariamente nulos/residuais; verificaram-se resultados com impacto potencial nos ensaios PIVOT2 e GOTA2, mas apenas no primeiro o AS não foi suficiente para estabelecer valores nulos de ESR. Este facto conduziu a que em todos os ensaios de campo, com exceção do PIVOT2, a EA atingisse um resultado dentro da classe alta, o que se enquadra nas estimativas do modelo. Ou seja, quando não há escoamento superficial as perdas de água dependem sobretudo das condições de vento (exceto gota a gota) e temperatura, e só quando estas são ambas extremas se poderá verificar uma eficiência de aplicação classificada de média. Ainda assim, como observado na Figura 1, a par de uma EA alta, uma má uniformidade, com uma variação do teor de água no solo excessiva relativamente ao valor médio programado, poderá dar indicações de que a qualidade da rega é baixa. Nesta situação, nomeadamente nas áreas com stress hídrico ou empoçamento, a produtividade tende a ser afetada. Nos vários ensaios de rega sob pressão realizados em que a uniformidade foi baixa, os diferentes teores de água foram usualmente observados no perfil de solo com raízes e não se registaram perdas de água significativas, por escoamento superficial ou em profundidade (percolação).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ação 1.1 dos Grupos Operacionais do Programa de Desenvolvimento Rural 2014-2020 (PDR2020), Operação PDR2020-101-031874, pelo financiamento do projeto AGIR: Sistema de Avaliação da Eficiência do Uso da áGua e da Energla em Aproveitamentos HidroagRícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIHEAM. 2011. Dialogues on Mediterranean Water Challenges: Rational water use, water price versus value and lessons learned from the European Water Framework Directive. Série A Séminaires Méditerranéens, N° A 98, Options Méditerranéennes. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes. Bari. 196 pp.

Carvalho, N. S., P. B. Luz; J. C. Martins; M. C. Gonçalves; F. P. Pires; T. B. Ramos; I. Oliveira & F. Nunes, 2007. Planeamento agrícola num contexto de objectivos múltiplos de natureza económica e ambiental. Relatório final do projecto PEDIZA 1462.1 EAN/INIA-COTR. Oeiras.

Danny *et al.* 1997. Efficiencies and water losses of irrigation systems. Irrigation Management series. Kansas sate university.

DGADR. 2014. Estratégia para o regadio público 2014-2020. Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Lisboa. 58 pp.

Dukes, M., M. Haley, S. Hanks. 2006. Sprinkler Irrigation and Soil Moisture Uniformity. Paper presented at the 27th Annual International Irrigation Show. November 5-7, 2006. San Antonio, TX.

EEA. 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe. An indicator-based report. Report No 1. Denmark. 424 pp.

FAO. 2014. The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 28 pp.

FAO. 2019. Handbook on climate information for farming communities – What farmers need and what is available. Rome. 184 pp.

FENAREG. 2019. Contributo para uma estratégia nacional para o regadio. Relatório final. FENAREG/AGROGES. Coruche. 130 pp.

Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm, Sweden: Stockholm. Environment Institute (SEI).

Keller, J. & Bliesner, R. 1990. Sprinkle and Trickle irrigation. Ed. Van Nostrand Reinhold. AVI Book. New York.

Luz, P. B. 2002. Sistematização da informação para apoio ao regadio no âmbito agro-ambiental. Avaliação do risco de escoamento superficial em rampas rotativas. In: Actas do 6º Congresso da água. 18-22 de Março. APRH. Porto

Luz, P. B. 2013. Guia para a avaliação e seleção de sistemas de rega. Programa de Investigação e Formação Pós-Graduada. INIAV, Oeiras

MAOTE. 2015. Compromisso para o Crescimento Verde. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (CCV - www.crescimentoverde.gov.pt)

Martin, D.L., W. L. Kranz, A. L. Thompson, H. Liang. 2012. Selecting sprinkler packages for center pivots. Transactions of the ASABE Vol. 55(2): 513-523

NRCS. 2005. National Irrigation Guide. Part 652: Nebraska Amendment. 210-VI-NEH-IG, Amend NE4. Washington, D.C.: USDA National Resources Conservation Service. Available at: http://efotg.sc.egov.usda.gov//references/public/NE/NE_Irrig_Guide_Index.pdf.

OECD. 1999. Environmental indicators for agriculture the York workshop. Volume 2, Issues and Design. Paris. 216 pp.

OECD. 2014. New Perspectives on the Water-Energy-Food Nexus. Global Forum on Environment. 27-28 November 2014 – OECD Headquarters. Paris

Oliveira, I. 1993. Técnicas de regadio. Tomos I e II. Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural. Lisboa

Pereira, L.S. (Coord.). 2002. Diagnóstico dos sistemas de rega em pressão. Relatório final do projecto PEDIZA 1999.64.006326.1. DER-ISA-UTL. Lisboa.