

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA REGA COM PARÂMETROS E INDICADORES DO USO DA ÁGUA E DA ENERGIA**

P. Brito da Luz<sup>1</sup>, S. Guerreiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INIAV, Quinta do Marquês – 2784 505 Oeiras, [paulo.luz@iniav.pt](mailto:paulo.luz@iniav.pt)

<sup>2</sup> ISA, Tapada da Ajuda – 1349-017 Lisboa, [samuelguerr@hotmail.com](mailto:samuelguerr@hotmail.com)

### **Resumo**

Num contexto de interdependência e globalização crescente, as decisões políticas nacionais que envolvem a produção e distribuição de alimentos, integram problemas: 1) populacionais; 2) de conservação dos recursos naturais e energéticos; e 3) de viabilidade económica. No delineamento de estratégias políticas que abrangem questões agroambientais e socioeconómicas aponta-se, à escala da propriedade no setor do regadio, para a aplicação de soluções de maior produtividade agrícola que preconizem também maiores eficiências na utilização dos recursos.

Os sistemas de indicadores são uma ferramenta extremamente útil para disponibilização a decisores, técnicos e agricultores, permitindo avaliar, classificar e comparar as diferentes opções de dimensionamento e gestão de instalações, com base em informação histórica ou de cenários de projeção, e envolvendo técnicas de apoio estatístico ou de modelação, entre outras.

No que diz respeito às instalações de rega são identificados um conjunto extenso e variado de parâmetros e indicadores, definidos ou construídos com dados dos recursos água e energia, associados a critérios e variáveis de produção, de área parcelar e temporais. Com as avaliações de rega, enquadrando as características específicas dos ecossistemas envolventes, tem sido possível o reconhecimento de alguns padrões de uso desses recursos, reportados em medidas de parâmetros e rácios (e.g. kg/m<sup>3</sup>, kg/kWh, kW/ha). Na base de alguns inquéritos e diagnósticos sobre casos concretos, destacam-se sobretudo os problemas encontrados de pressões desajustadas na rede, de perdas de carga excessivas, de caudais/débitos - excessivos ou insuficientes, e de potências do grupo de bombagem inadequadas.

Com a informação disponibilizada neste trabalho, em que se observaram algumas condições de operacionalidade das instalações de rega desajustadas das especificidades do sistema solo-planta-atmosfera, pretende-se contribuir para a apresentação de recomendações que possam integrar futuros manuais e sistemas de apoio à decisão.

**Palavras-Chave:** avaliação, diagnóstico, indicadores, recursos, sistemas de rega.

## **IRRIGATION QUALITY EVALUATION INVOLVING PARAMETERS AND INDICATORS OF WATER AND ENERGY USE**

### **Abstract**

In the context of an increasing and interdependence globalisation, national policy decisions to develop the production and distribution of food, shall consider problems related to: 1) population; 2) natural resources and energy conservation; and 3) economical feasibility. In respect of policy strategies design comprising agro-environmental and socio-economic irrigation issues, it is required, at

the farm scale, to apply solutions of increasing productivity, in accordance also with higher efficiencies in the use of resources.

The systems of indicators are an extremely useful tool to be made available to decision makers, technicians and farmers, as a framework for evaluation, classification and comparison of different systems irrigation options at design and management level. Consistently, taking into account historical records and scenarios forecasting and applying statistical and support modelling techniques.

Regarding irrigation equipments there is a wide range of parameters and indicators, defined or built with data from water and energy resources, associated to selected variables and criteria involving production, area and time units. Promoting irrigation evaluations, adjusted to specific ecosystems characterization of surrounding areas, may provide the establishment of standards to resources use, encompassing measurements of ratios and parameters (e.g.  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{kg/kWh}$ ,  $\text{kW/ha}$ ). With the conduct of survey and diagnostic methods on the basis of concrete cases, it was possible to point out some problems related to pressure head variation in the pipe network, excessive head losses, inadequate discharge rates and poor water pump performance.

On the basis of the information provided, where operating procedures of the irrigation systems were not consistent with the specific soil-plant-climate conditions, the aim of this study is to establish a set of recommendations which will facilitate the development of guidelines, to be implemented through technical handbooks and decision support systems

**Key words:** evaluation, diagnostic, indicators, resources, irrigation systems

## INTRODUÇÃO

Vários relatórios de organismos internacionais (e.g. FAO, OCDE) indicam a necessidade de decisões políticas globais para se estabelecerem soluções para os desequilíbrios demográficos e as carências alimentares, sobretudo nas grandes regiões menos desenvolvidas. Essas soluções estão intimamente associadas a questões agroambientais e de desenvolvimento económico. Nesta perspectiva, a gestão das interligações entre a água, a energia e a alimentação (Nexo Água-Energia-Alimentação (A-E-A), ou *Water-Energy-Food (W-E-F) Nexus*), tem tido um grande enfoque, observando-se projeções para as próximas décadas de uma crescente pressão sobre esses setores básicos para o bem-estar das populações [1].

Os aspetos determinantes que integram a gestão do nexo A-E-A requerem a obtenção de informação e de indicadores relativos aos impactos, em diferentes escalas, da disponibilidade e qualidade dos recursos e da atividade agrícola; as abordagens desenvolvidas podem já hoje ter na sua base tecnologia muito avançada, como observações por satélite e com sensores in-situ, para monitorização de componentes do ciclo da água (e.g. teor de água do solo, evapotranspiração), ou da biomassa produzida [2]. Muitos programas europeus de investigação, com particular destaque para os que estão direcionados para as regiões de clima mediterrânico (e.g. PRIMA - 2018), têm promovido projetos no contexto do nexo A-E-A.

Relativamente às referências de “economia verde”, com desafios de inovação e sustentabilidade na produção e consumo, o nosso país apresentou uma estratégia política designada de “Compromisso para o Crescimento Verde” (CCV) [3]. Entre os 10 setores chave do CCV são apresentados a agricultura, a água e a energia. Em termos de objetivos quantificados com metas para 2020 e 2030 constam o aumento da eficiência energética, o reforço do peso das energias renováveis e o aumento da eficiência hídrica. Na proposta são promovidas, nomeadamente no âmbito da agricultura, sinergias entre competitividade

socioeconómica e a conservação dos recursos naturais e energéticos, face a diversos riscos nos ecossistemas, nomeadamente com alterações climáticas, de perda de biodiversidade, de degradação do solo e de sobreexploração ou contaminação dos aquíferos. Igualmente neste quadro de riscos, aponta-se para a necessidade de avaliação das melhores práticas de desenvolvimento sustentado para aferir quais as tendências globais e se as diferenças encontradas podem ser usadas como indicadores da magnitude dos impactos humanos diretos sobre o ambiente [2].

Neste sentido, e no caso da agricultura de regadio é prioritário estabelecerem-se objetivos específicos que visem o aumento das eficiências hídrica e energética. Num contexto rural ou urbano e a diferentes escalas fundiárias são já utilizados um grande número de indicadores que permitem avaliar a qualidade da rega e confirmar a adequação das opções de dimensionamento e de gestão das estruturas e sistemas de rega [4]. No âmbito da utilização racional dos recursos naturais e energéticos em regadio, este trabalho visa identificar casos de estudo, em que, através dos parâmetros e indicadores aplicados, se demonstra a existência de condições de operacionalidade dos sistemas de rega inadequadas e se analisam soluções de “boas práticas”, que possam refletir a melhoria de desempenhos e produtividades, por comparação com valores de referência e padrões encontrados na bibliografia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste estudo são utilizados conceitos e definições propostos em documentação de agências internacionais de referência, nomeadamente da OCDE [5] e da EEA [6], bem como em publicações nacionais, nomeadamente de edições da extinta Direção Geral do Ambiente, como o “Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável” – SIDS [7].

Com base nessas abordagens a informação, com um grau crescente de agregação, pode ser referenciada como:

- a) **Parâmetro.** Grandeza que pode ser medida com precisão ou de avaliação numa base qualitativa ou quantitativa. Considera-se relevante para um processo de caracterização. Por exemplo: a precipitação para a caracterização do balanço hidrológico.
- b) **Indicador.** Parâmetro selecionado e considerado isoladamente, ou combinação de parâmetros. Este conceito pode envolver diferentes definições, mas apresentam uma especial relevância para a análise das condições e de interações em processos metodológicos (e.g. de classificação, de ordenamento, de decisão). Por exemplo: a capacidade de água utilizável do solo para a classificação da qualidade do solo.
- c) **Índice.** Nível superior de agregação, pela aplicação de determinada metodologia (e.g. aritmética, heurística) para a combinação de indicadores. Por exemplo: um índice de qualidade do solo para um sistema de avaliação de risco ambiental.

Com base na informação recolhida a diferentes dimensões de espaço (e.g. ao nível da parcela ou de regiões) e de tempo (e.g. de base histórica, das condições em tempo real ou de cenários de projeção) têm sido desenvolvidos quadros de indicadores (e.g. de desempenho, biofísicos, socioeconómicos). Podem envolver técnicas de apoio estatístico ou de modelação, entre outras, e tornam-se numa ferramenta extremamente útil para disponibilização da informação, facilitando a comunicação entre os diferentes centros de utilização (e.g. investigação,

decisores políticos, técnicos, cidadãos/público-alvo). Mais especificamente no caso do regadio, os quadros de indicadores permitem avaliar as diferentes opções de estruturas de rega e drenagem, de culturas ou de investimento, quanto ao seus impactos em termos de sustentabilidade agroambiental e/ou socioeconómica.

À escala da propriedade/parcela pretende-se a aplicação de soluções integradas, muitas vezes orientadas para “compromissos” quando se verificam “objetivos concorrentes”, em que se destaca o interesse da alta produtividade agrícola com a salvaguarda da conservação e uso eficiente dos recursos. Desta forma, no que diz respeito à qualidade e sustentabilidade das práticas de rega têm sido identificados um conjunto extenso de parâmetros e indicadores obtidos com dados dos recursos água e energia. Neste enquadramento podem ser observados critérios físicos, técnicos e económicos, entre outros, que preconizam o envolvimento de determinadas variáveis, nomeadamente, de produção, de área parcelar e temporais.

Com as avaliações de rega, envolvendo as características específicas dos ecossistemas abrangidos, tem sido possível o reconhecimento de alguns padrões de uso de recursos, reportados em medidas de parâmetros e rácios (e.g.  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{kg/kWh}$ ,  $\text{kW/ha}$ ). Nesta base torna-se possível estabelecer quadros de indicadores para analisar a rega tanto ao nível do desempenho (e.g. uniformidade de distribuição da água) como ao nível biofísico/ecológico (e.g. eficiência do uso da água), podendo então ser ajustadas determinadas condições de operacionalidade das instalações de rega face às especificidades de cada sistema solo-planta-atmosfera.

A metodologia proposta foi aplicada em casos de estudo, com a condução de inquéritos e diagnósticos, enquadrando-se um conjunto de parâmetros e indicadores relevantes para a avaliação da operacionalidade de sistemas de rega (“pivot” e gota-a-gota). No Quadro 1 sintetiza-se a informação utilizada para o desenvolvimento do estudo, sendo focadas algumas condições de risco:

**Quadro 1.** Informação sobre condições de risco da operacionalidade de instalações de rega.

Parâmetros/Indicadores	Unidades	Condições de Risco
A. Setores de rega (SRg)	V. numérico	1. Caudal do projeto superior ao débito total de água dos emissores em funcionamento 2. Caudal do projeto inferior ao débito total de água dos emissores em funcionamento
B. Pressão da bomba (P)	m.c.a.	3. Excesso de pressão na bombagem
C. Intensidade de Aplicação (IAp)	mm/hora	4. Intensidade de aplicação de água superior à infiltrabilidade do solo
D. Caudal Específico (Qe)	L/s/ha	5. Caudal específico excessivo

E. Potência por hectare (POT/ha)	kW/ha	6. Perdas de carga excessivas
F. Uniformidade de Rega (variabilidade na rega relativa à altura média de água aplicada )	%	7. Uniformidade baixa devido ao dimensionamento 8. Uniformidade baixa devido ao relevo
G. Eficiência de Aplicação (EAp – relação entre dotação útil e a dotação real)	%	9. Dotações (Doses) de rega excessivas
H. Eficiência de Armazenamento (EAr – relação entre a altura de água armazenada e a capacidade do solo para armazenar água)	%	10. Dotações (Doses) de rega baixas
I. Eficiência do Uso da Água (EUA)	kg/m <sup>3</sup>	11. Dotação de rega excessiva (campanha)
J. Produtividade da Energia (PE <sub>n</sub> )	kg/kWh	12. Excesso de pressão/potência

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na informação apresentada no Quadro 1, com os parâmetros e indicadores selecionados para as condições de risco bastante significativo, propõe-se uma análise dos casos que envolve: 1) a descrição das condições concretas de operacionalidade das instalações de rega, 2) as condições de referência para a identificação da magnitude dos desvios observados e 3) as propostas de alteração com opções que conduzem a melhores práticas de rega. Para as condições de referência foram consultadas várias publicações [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17] e catálogos de empresas da área da rega.

### A1.

- Condições de Operacionalidade - Uma propriedade com cerca de 4 ha, no sul do país, é regada com um sistema gota-a-gota. A eletrobomba tem capacidade para atingir os 20 m<sup>3</sup>/hora e cada um dos 2 setores de rega ocupa uma área de aproximadamente 2 ha. Os gotejadores são autocompensantes de 2,2 L/hora e o compasso é de 1m X 6m (6 m<sup>2</sup>). Cada setor funciona com cerca de 3300 emissores e um caudal próximo dos 7 m<sup>3</sup>/hora. Nestas condições a bomba funciona com múltiplos ciclos de arranque e paragem do motor ao longo de um período de rega

- Condições de Referência – O número de setores é função da área total, associada ao caudal do projeto, e da área de cada sector, associada ao funcionamento em simultâneo de um determinado número de emissores com um débito total equivalente ao caudal do projeto; um emissor é escolhido com a atribuição de um caudal nominal e de um compasso. Ou seja,

mesmo o caudal de 20 m<sup>3</sup>/hora seria excessivo para um setor de 4 ha, o qual, com base na configuração do projeto, deveria necessitar de apenas cerca de 14, 7 m<sup>3</sup>/hora.

- Opções de Alteração – As opções a propor passam pela junção dos setores ou pela mudança da bomba. Um estudo sobre a escolha dos gotejadores poderia também confirmar se o débito e a distância na linha estabelecidos no projeto representam os valores mais adequados para a textura do solo, e se outras opções conduziram a alterações positivas de área e/ou de débito de água dos setores.

## A2.

- Condições de Operacionalidade – Uma propriedade com cerca de 3 ha, no centro do país, é regada com um sistema gota-a-gota. A eletrobomba tem capacidade para atingir os 18 m<sup>3</sup>/hora e cada um dos 3 setores de rega ocupa uma área de aproximadamente 1 ha. Os gotejadores têm um caudal nominal de 1 L/hora e o compasso é de 0,2 m X 1,5 m (0,3 m<sup>2</sup>). Cada setor funciona, com o caudal considerado, com cerca de 33000 emissores. Nestas condições o débito de cada emissor desceu para um valor próximo de 0,5 L/h, ou seja apenas metade do valor de catálogo. Estas condições deverão ter contribuído para uma condução da rega com pouco tempo de rega e dotações demasiado baixas, resultando numa evolução da humidade do solo para teores de défice significativo.

- Condições de Referência – O número de setores é função da área total, associada ao caudal do projeto, e da área de cada sector, associada ao funcionamento em simultâneo de um determinado número de emissores com um débito total equivalente ao caudal do projeto; um emissor é escolhido com a atribuição de um caudal nominal e de um compasso. Neste caso, com base na configuração do projeto, deveria ter-se como referência a implementação de 6 setores, com uma área de 0,5 ha cada e um débito igual à capacidade da bomba (18 m<sup>3</sup>/hora).

- Opções de Alteração – Como proposta de dimensionamento adequado, uma opção passa pela divisão dos setores (i.e. de 3 para 6) com a conseqüente subida do caudal nominal dos emissores para o valor de catálogo. Em termos de gestão, o tempo médio diário de rega associado ao caudal de dimensionamento permitiria dar resposta às necessidades hídricas da cultura mesmo no período crítico, pelo que o aumento das dotações com mais tempo de rega seria uma opção válida (independentemente do número de setores).

## B3.

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com cerca de 20 ha, de uma propriedade no centro do país, é regada com um “pivot”. A eletrobomba com 30 kW tem capacidade para fornecer 90 m<sup>3</sup>/hora, proporcionando uma altura manométrica de 80 metros de coluna de água (mca). A pressão medida na tubagem do eixo do “pivot” é de 75 mca, mas a pressão de funcionamento dos emissores com reguladores de pressão é de cerca de 15 mca. Nestas condições a eletrobomba funciona com uma pressão excessiva para as necessidades do sistema de rega.

- Condições de Referência – Os cálculos do projeto para a rega de uma determinada área consideram um caudal de dimensionamento consistente com as necessidades hídricas no período crítico e o tempo de rega estabelecido para esse período. Neste processo são analisadas a carta de emissores e a curva característica da bomba, para verificação das relações entre pressões/cargas e caudais. A pressão de referência à saída da bomba de um “pivot” é próxima dos 30-40 mca, ou mesmo menos nos atuais sistemas de mais baixas pressões (e.g. com “drops”).



- Opções de Alteração – As opções a propor passam pela mudança da eletrobomba, com uma potência máxima de 15 kW, suficiente para garantir a altura manométrica de 40 mca e o caudal de 90 m<sup>3</sup>/hora.

#### **C4.**

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com cerca de 30 ha, de uma propriedade no sul do país, é regada com um “pivot”. A eletrobomba com 22 kW tem capacidade para fornecer 135 m<sup>3</sup>/hora, proporcionando uma altura manométrica de 40 metros de coluna de água (mca). Os emissores têm valores de pressão próximos dos 15 mca. Os valores obtidos de diâmetro molhado e do pico da intensidade da aplicação da água (IAp) na extremidade do “pivot” (risco mais elevado de escoamento superficial) são de 16 metros e 70 mm/hora, respetivamente. Acresce considerar-se: 1) o solo era de textura franca com uma infiltrabilidade próxima de 1 cm/hora, 2) as dotações variaram entre 10 e 17 mm. Nestas condições observaram-se escoamentos superficiais (ES) entre 10 a 25% das dotações.

- Condições de Referência – A IAp (valor do pico no caso dos “pivots”) é um indicador adequado para os estudos do escoamento superficial e da eficiência de rega. No caso, sendo um “pivot” de baixa pressão num solo de textura mediana e com pouco declive, os valores de ES são aceitáveis na perspetiva também da existência de armazenamento superficial.

- Opções de Alteração – Em termos de dimensionamento, uma opção será a troca de emissores “spray” por outros que garantam um maior diâmetro molhado (e.g. “spinner”, “rotator”), desta forma baixando o pico da IAp. Em termos de gestão de rega, caso o armazenamento superficial não seja suficiente para anular o ES, convirá mobilizar o solo com “covachos”, e/ou aplicar dotações um pouco inferiores a 10 mm.

#### **D5.**

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com cerca de 10 ha, de uma propriedade no centro do país, é regada com um “pivot”. A eletrobomba com 13 kW tem capacidade para fornecer 65 m<sup>3</sup>/hora, proporcionando uma altura manométrica de 80 metros de coluna de água (mca). A pressão medida na tubagem do eixo do “pivot” é de 50 mca. Os emissores têm valores de pressão próximos dos 20 mca. Nestas condições o sistema de rega, o caudal específico (Qe) aproxima-se dos 2 L/s/ha, verificando-se a capacidade para regar com um menor número de horas no período crítico, mas o sistema poderá ser considerado sobredimensionado.

- Condições de Referência – Os cálculos do projeto para a rega de uma determinada área consideram um caudal de dimensionamento consistente com as necessidades hídricas no período crítico e o tempo de rega estabelecido para esse período. No caso de um “pivot” este tempo usualmente atinge um valor superior a 20 horas por dia em todos os dias do mês (80 a 90% do total de horas mensais) e o Qe, nas regiões mais quentes, tende a variar entre 1,2 e 1,4 L/s/ha.

- Opções de Alteração – As opções a propor poderiam passar pela mudança da eletrobomba, para se diminuir o caudal (mas posteriormente o tempo de rega seria maior). No entanto, com este Qe mais alto, uma gestão baseada numa rega sobretudo noturna teria redução dos custos de energia e poderia trazer vantagens económicas (apesar do maior investimento realizado com a motobomba mais potente e uma tubagem de maior diâmetro).

#### **E6.**

- Condições de Operacionalidade – Uma propriedade com cerca de 30 ha no sul do país é regada com um “pivot”. A eletrobomba com 20 kW tem capacidade para fornecer 126 m<sup>3</sup>/hora, proporcionando uma altura manométrica de 35 metros de coluna de água (mca). A tubagem apresentava um diâmetro de 4,5 polegadas e uma perda de carga (excessiva) de 16 mca. Nestas condições o sistema de rega é de baixa pressão, mas tendo o projeto considerado uma poupança de investimento através do subdimensionamento da tubagem, o que obrigou a uma maior potência do grupo de bombagem e conseqüentemente a um aumento dos custos energéticos.

- Condições de Referência – Os cálculos do projeto para a rega por “pivot” de baixa pressão consideram tipicamente uma potência próxima de 0,5 kW/ha. Por outro lado, relativamente ao caudal do projeto registado, a tubagem deveria ter um diâmetro próximo das 6 polegadas.

- Opções de Alteração – Este projeto é um caso típico de subdimensionamento. Um sistema adequadamente configurado permitiria que a perda de carga na tubagem descesse para menos de 5 mca e a potência do grupo de bombagem desceria para 12 kW (0,4 kW/ha).

#### **F7.**

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com cerca de 50 ha no sul do país é regada com um “pivot”. A eletrobomba tem capacidade para fornecer 60L/s, proporcionando uma altura manométrica de 30 mca. Registou-se na extremidade do sistema um diâmetro molhado de 12 metros e um pico da intensidade de aplicação de água (IAp) de 120 mm/h. A dotação média referida nos ensaios de uniformidade era de cerca de 15 mm. Nestas condições observou-se que tendencialmente as dotações localizadas e o escoamento superficial foram crescentes da base para o exterior da rampa. A uniformidade de distribuição (UD) registada foi de cerca de 65%.

- Condições de Referência – Para este sistema de baixa pressão e com diâmetros molhados de apenas 12 metros considera-se que o pico de IAp é alto (o que está também associado ao facto da rampa ter um comprimento relativamente alto, com 400 metros). O dimensionamento apresenta falhas na distribuição de pressões-caudais dos emissores, pois estes deveriam garantir um maior equilíbrio da dotação ao longo da rampa. A UD é assim referenciada como má.

- Opções de Alteração – Uma carta de emissores com características para garantirem maiores diâmetros molhados e pressões-caudais mais equilibrados seria o requerido para aumentar a uniformidade e a eficiência de rega.

#### **F8.**

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com cerca de 30 ha, de uma propriedade no sul do país, é regada com um “pivot”. A uniformidade do sistema (UD) em ensaios com pluviómetros, condições sem vento e uma dotação média de 10 mm, variou de 85 a 90%. No entanto, apesar de um declive pouco significativo, observou-se um microrelevo muito acentuado que conduziu a diversas áreas com excesso e défice de água.

- Condições de Referência – A UD, associada ao sistema de rega, acima dos 85% é considerada excelente.

- Opções de Alteração – Sendo a baixa uniformidade, observada no solo, consequência sobretudo do microrelevo, a melhor opção para a sua subida (até aos níveis garantidos pelo sistema de rega) será a mobilização do solo com covachos.



### G9.

- Condições de Operacionalidade – Uma propriedade é regada com um “pivot” com um comprimento de 350 metros (cerca de 38 ha). Registou-se na extremidade do sistema um pico da intensidade de aplicação de água (IAp) de 115 mm/h. Acresce considerar-se: 1) o solo apresentava uma infiltrabilidade próxima de 0,25 cm/hora, 2) a dotação média referida era de 20 mm. Nestas condições observaram-se escoamentos superficiais (ES) próximos dos 50% da dotação.
- Condições de Referência – Uma eficiência de aplicação (EAp) esperada abaixo dos 50% é bastante má. Como referências considera-se que o sistema com um comprimento médio, tem um pico de IAp alto, regou com uma dotação alta, num solo com uma baixa infiltrabilidade. O valor de ES é consistente com estas condições.
- Opções de Alteração – Para a subida da EAp (descida do ES), como opção de dimensionamento, seria favorável uma alteração da configuração do sistema, com emissores de maior diâmetro molhado para baixar o IAp. Em termos de gestão torna-se crucial descer a dotação para valores inferiores a 10 mm.

### H10.

- Condições de Operacionalidade – Uma propriedade com cerca de 3 ha, no centro do país, é regada com um sistema gota-a-gota. A eficiência de rega era elevada, mas a dotação semanal de rega era insuficiente para as necessidades de evapotranspiração da planta. O solo apresentava um teor de água na zona das raízes (média no perfil) com défice hídrico constante. O teor de água estava abaixo da reserva facilmente utilizável em todo o perfil, sobretudo à superfície (maior evaporação do solo). Nas camadas intermédias observou-se maior humidade do que em profundidade devido à redução da percolação.
- Condições de Referência – O sistema de rega apresentou valores de uniformidade (UD) e eficiência de aplicação (EAp) acima dos 80% (bons ou excelentes). No entanto, a eficiência de armazenamento (EAr) apresentava valores abaixo dos 50%. Consequentemente a adequação da rega como resultante destas três componentes não foi verificada, e a cultura não alcançará o seu potencial produtivo.
- Opções de Alteração – Em termos de gestão torna-se crucial aumentar as dotações de rega, não só para alterar a situação de défice, mas também para que haja mais percolação de água para as camadas do solo com raízes a maior profundidade.

### I11.

- Condições de Operacionalidade – Uma parcela com produção de milho para grão é regada com um “pivot” com um comprimento de 250 metros (cerca de 20 ha). Registou-se na extremidade do sistema um pico da intensidade de aplicação de água (IAp) de 60 mm/h. Acresce considerar-se: 1) o solo apresentava uma infiltrabilidade próxima de 0,5 cm/hora, 2) a dotação média referida era de 10 mm, 3) registaram-se temperaturas acima da média ao longo do ciclo cultural. Nestas condições, mesmo sem problemas de falta de água, observaram-se quebras de produção na ordem dos 30%.
- Condições de Referência – Para as mais recentes variedades de milho existem potenciais de produção que apontam para valores de referência entre 16 a 18 T/ha, em condições não restritivas em clima mediterrânico, com disponibilidades hídricas (dotação útil) até 9000 m<sup>3</sup>/ha (900 mm). Ou seja, a eficiência do uso da água (EUA) aproxima-se dos 2 kg/m<sup>3</sup> (18-20 kg/ha/mm). Com a designada rega deficitária, e disponibilidades hídricas na ordem dos 5000

$m^3/ha$  (500 mm), é possível atingir-se as 15 T/ha. Ou seja, a EUA sobe para os  $3 kg/m^3$  (30 kg/ha/mm).

- Opções de Alteração – Sobretudo nas campanhas em que existem restrições de água, a tendência estratégica de produção é reduzir o volume de água aplicado, esperando-se pequenas quebras de produção. Assim, as quebras de produção têm bastante a ver com condições meteorológicas adversas, sobretudo nos períodos críticos e não tanto com a redução do volume de água de rega, desde que nesses períodos críticos o abastecimento adequado esteja garantido.

## J12.

- Condições de Operacionalidade – As condições descritas para B3 (dimensionamento com pressão/potência excessiva) e E6 (perdas de carga/potência excessiva) configuram também um problema da baixa produtividade de energia utilizada na rega.

- Condições de Referência – Como referência para a produção de milho grão, com base num conjunto de 30 propriedades, considera-se que uma dotação média de  $6000 m^3/ha$  tem um gasto energético em rega pressurizada de 1000 kWh/ha (3600 MJ/ha). Com estes dados e para uma produtividade de 15 t/ha obtém-se uma produtividade da energia (PEn) de 15 kg/kWh

- Opções de Alteração – No caso de uma parcela regada por “pivot” no nosso país em condições mais usuais, observam-se valores semelhantes aos referidos. Assim, no caso de uma parcela de 30 ha com um motor de 20 kW (mais os motores para a deslocação) a regar 1300 horas, perspectiva-se um gasto energético de cerca de 30000 kWh. Para uma produção de 15 t/ha a PEn será precisamente de 15 kg/kWh. As condições observadas em B3 e E6 conduzem a uma PEn abaixo dos 10 kg/kWh pelo que deveriam ser alteradas.

As opções por energias alternativas têm sido crescentemente equacionadas na agricultura. Como exemplo apresenta-se a seguinte opção com painéis fotovoltaicos para as condições do sul do país. Aceita-se um valor de potência média de 100 W por cada  $m^2$ . Seria assim necessária uma área de  $300 m^2$ . Num período de 4 meses (120 dias) do ciclo vegetativo decorridos em condições típicas de primavera/verão com 10 horas de sol por dia poderão ser obtidos os 30000 kWh de energia.

## CONCLUSÕES

Este trabalho, desenvolvido no âmbito da qualidade da rega, aponta para um conjunto de soluções de dimensionamento e gestão baseadas na utilização de indicadores. Prioritariamente devem ser utilizados os de dimensão mais local e específicos, com parâmetros associados a procedimentos de monitorização e de modelação, onde a interdependência das componentes agroambiental e socioeconómica seja mensurável (e.g. análise multicritério). Torna-se bastante claro que há ainda um caminho estratégico complexo a percorrer para transferir conhecimentos e tecnologias para os decisores, técnicos e regantes de forma a serem evitadas as condições de risco, neste trabalho destacadas, que ameaçam a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. As consequências adversas de sistemas de rega com fraco desempenho observam-se também nos impactos negativos nos domínios da energia e da alimentação nas comunidades, sobretudo as menos desenvolvidas e sujeitas a problemas de variabilidade/alterações climáticas. As melhores práticas a estabelecer no setor do regadio apontam crescentemente para o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais e

energéticos e ainda para a utilização de energias renováveis, devendo a investigação ser considerada como catalisador das inovações e reconversões.

## AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem o apoio do Projeto “AGIR”, do programa PDR2020 – Grupos Operacionais, com financiamento do FEEI (Fundos Europeus Estruturais e de Investimento).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] FAO (2014). *The Water-Energy-Food Nexus*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome
- [2] Lawford, R. & Marx, K.Z. (eds). (2012). *Water-Energy-Food Security: New Challenges and New Solutions for Water Management*. Conference Proceedings, 1-4 May 2012. International Institute for sustainable Development (IISD) and Global Water System Project (GWSP). Manitoba.
- [3] MAOTE (2015). *Compromisso para o Crescimento Verde* (191pp). Edição Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- [4] Luz, P.B. & Ferreira, M.E. (2017). Estratégias de uso da água para as hortas urbanas no contexto de regiões climáticas em Portugal. I Colóquio Nacional de Horticultura Social e Terapêutica, Estoril, 20-21 outubro 2016. *Actas Portuguesas de Horticulturanº 27*. APH. Lisboa
- [5] OECD (1998). *Towards Sustainable Development Environmental Indicators*. OECD publications. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris.
- [6] EEA (1999). *Environment in the European Union at the Turn of the Century*. Environmental Assessment Report 2. European Environment Agency. Copenhagen.
- [7] DGA (2000). *Proposta para um Sistema de indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. Lisboa.
- [8] Evans, R., Sneed, R.E., Hunt, J.H. (1996). *Irrigation management. Strategies to improve Water and energy use efficiencies*. North Carolina Cooperative Extension Service. AG 452-5.
- [9] FAO (2007). *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome
- [10] Howell, T.A. (2001). Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal*, Vol. 93, Nº 2: 281-289
- [11] Keller, J., & Bliesner, R.D. (1990) - *Sprinkle and trickle irrigation* (pp. 652). New York: Van Nostrand Reinhold.
- [12] Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., Mu, J. (2009). Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy*, Vol.34, 141-149
- [13] Lorzadeh, S.H., Mahdavidamghani, A., Enayatgholizadeh, M.R., Yousefi, M. (2011). Energy Input-Output Analysis for Maize Production Systems in Shooshtar, Iran. *Advances in Environmental Biology*, 5(11): 3641-3644

- [14] Luz, P. B. (2006). *Práticas culturais em hortícolas: Conservação do solo, Mobilização do solo e Regime Hídrico*. Texto de apoio de acção de formação para Produção Integrada de culturas hortícolas. EAN/INIAP. Oeiras.
- [15] Oliveira, I. (2011). *Técnicas de regadio* (Vol. 2, 2ª Ed.). Edição de autor.
- [16] Sadras, O., Grassini, P., Steduto, P. (2007). *Status of water use efficiency of main crops*. SOLAW Background Thematic Report - TR07.
- [17] USDA (2008). *National engineering handbook: Part 652, Irrigation Guide*. NRCS. Washington, DC.