

Recebido em 10 de dezembro de 2024

Hub de inovação para sistemas de rega na agricultura mediterrânica: perspetiva da Engenharia Rural do ISA sobre um projeto de I&D

Maria do Rosário Cameira¹, Isabel Alves¹, Antónia Ferreira³, João Rolim²,
Paula Paredes²

RESUMO

A modernização da rega nos países mediterrânicos conduziu a um aumento do desempenho dos sistemas de rega, *sensu lato*. Novos desafios surgiram: (i) a lacuna no desempenho da rega continua maior do que o esperado; (ii) a intensificação da rega causou esgotamento de recursos hídricos; (iii) os modernos sistemas pressurizados consomem muita energia. O principal objetivo do projeto HubIS é promover, avaliar e impulsionar inovações que visem reduzir o défice de desempenho e melhorar a sustentabilidade dos sistemas de rega na região mediterrânica. O desenvolvimento das inovações baseou-se em processos participativos e na avaliação rápida de desempenho. Apresentam-se neste trabalho atividades desenvolvidas no caso de estudo português, Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit, pela equipa de Engenharia Rural do ISA, parceiro do projeto. Com base no diagnóstico do desempenho, que indicou elevado consumo energético e variabilidade na produtividade da água entre parcelas, foram co-desenhadas, com os utilizadores finais, inovações, de entre as quais se destacam uma ferramenta para estimativa dos caudais distribuídos nos hidrantes e outra para avaliação do desempenho hidráulico e energético da rede de rega. Desta forma, o projeto PRIMA HubIS forneceu um estudo de caso elucidativo em Portugal sobre a forma como os projetos de transferência de inovação agrícola podem contribuir para aumentar a resiliência hídrica e energética dos aproveitamentos hidroagrícolas.

Palavras-chave: uso eficiente da água e da energia; rega de precisão; indicadores de desempenho; aproveitamento hidroagrícola; modelação de redes de rega.

Hub Innovation for Irrigation Systems in Mediterranean Agriculture (HubIS): The Perspective of Agricultural Engineering at ISA on a R&D project

Profs. Associada¹, Professor Auxiliar,² estudante de doutoramento³
Área Científica de Engenharia Rural, DCEB, Instituto Superior de
Agronomia, Universidade de Lisboa roscameira@isa.ulisboa.pt,
isabelmalves@isa.ulisboa.pt, joaorolim@isa.ulisboa.pt,
pparedes@isa.ulisboa.pt Centro de Investigação LEAF (Linking Landscape,
Environment, Agriculture and Food)) Laboratório Associado Terra, Instituto
Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

ABSTRACT

The modernization of irrigation in Mediterranean countries has led to an overall increase in the performance of irrigation systems, *sensu lato*. However, new challenges have arisen: (i) the irrigation performance gap remains larger than expected; (ii) the intensification of irrigation has caused the depletion of water resources; (iii) modern pressurized systems consume a significant amount of energy. The main objective of the HubIS project is to promote, assess, and drive innovations aimed at reducing the performance deficit and improving the sustainability of irrigation systems in the Mediterranean region. The development of these innovations was based on participatory processes and rapid performance evaluations. This paper presents activities carried out in the Portuguese case study, the Lucefecit Hydro-Agricultural Scheme, by the Agricultural Engineering team from ISA, a project partner. Based on the performance diagnosis, which indicated high energy consumption and variability in water productivity between plots, innovations were co-designed with end-users. Among these, a tool for estimating the flow rates distributed at the hydrants and another for evaluating the hydraulic and energy performance of the irrigation network stand out. In this way, the HubIS project provided an illustrative case study in Portugal, highlighting how agricultural innovation transfer projects can contribute to enhancing the water and energy resilience of hydro-agricultural schemes.

Keywords: efficient water use; efficient energy use; performance indicators; irrigation schemes; irrigation network modeling.

1. Introdução

Nas regiões mediterrânicas alcançaram-se durante as últimas décadas melhorias significativas no desempenho da rega *sensu lato*, impulsionadas principalmente por desenvolvimentos tecnológicos, mas também favorecidas por políticas *top-down* e pelos mercados de exportação. Contudo, surgiram desafios importantes que se relacionam com a lacuna que existe ainda entre o desempenho real da rega e o seu desempenho potencial (Benouniche *et al.*, 2014), com o impacto ambiental da agricultura de regadio e com a avaliação dos custos e impactos da transição para uma situação em que a rega é, cada vez mais, dependente de energia. Estes novos desafios exigem novos paradigmas de investigação e abordagens a níveis diversos:

a) Tem vindo a reconhecer-se cada vez mais o benefício da participação pública na gestão dos recursos naturais, particularmente no setor da rega, onde têm sido feitos esforços para envolver os agricultores na governança da água através das associações de beneficiários e regantes. A

política *top-down*, que permitiu a expansão e modernização da rega, deve agora ser transformada em ações *bottom-up*. A melhor estratégia para colmatar a lacuna de desempenho da rega é a investigação-ação participativa (Chevalier e Buckles, 2013) realizada num ambiente de inovação aberta, onde a adoção de tecnologias e o co-desenho podem fluir livremente entre os diferentes atores.

b) Nos casos em que a exploração agrícola faz parte de um sistema coletivo de distribuição da água, o desempenho da rega ao nível da parcela é condicionado por fatores internos, mas também pelas limitações e operação do sistema. Por sua vez, a gestão e o desempenho dos esquemas individuais e coletivos são condicionados pelo planeamento e gestão dos recursos hídricos à escala da bacia hidrográfica. Assim, ao projetar e promover inovações no regadio, é essencial integrar diversas escalas, desde a exploração agrícola até aos sistemas coletivos de rega (aproveitamentos hidroagrícolas), abrangendo as bacias hidrográficas e os territórios, que são a escala mais adequada para a avaliação dos impactos ambientais.

c) As metodologias para contabilização da água distribuída à parcela a regar, consumida e perdida, devem fazer parte da gestão corrente aos diferentes níveis - parcela agrícola, aproveitamento hidroagrícola e bacia hidrográfica (Bos et al., 2005; Ferreira et al., 2023).

d) Existem oportunidades significativas para reduzir o consumo de energia externa e a lixiviação de azoto em esquemas de rega (Rocamora et al., 2013).

Com base nos princípios referidos, foi constituído um consórcio de equipas mediterrânicas, com forte experiência em investigação sobre rega, com o objetivo de abordar a maioria destas questões através da criação de um "Hub de Inovação Aberta para Sistemas de Rega na Agricultura Mediterrânica" (HubIS).

Pretende-se, neste trabalho, apresentar a perspetiva portuguesa sobre a sua participação no consórcio. Descreve-se o local experimental português (o *Site-Hub*), as ações que levaram à seleção de um conjunto de inovações adaptadas ao caso de estudo, bem como o processo de desenvolvimento de algumas das inovações.

2. O projeto HubIS

2.1 Caracterização e objetivos

A adoção de práticas agrícolas e tecnologias pelos agricultores e associações de utilizadores de água é crucial para aumentar a eficiência do uso da água e da energia na rega. Como demonstrado por uma vasta literatura, a adoção dessas práticas e tecnologias não só traz benefícios ambientais e

económicos para os agricultores, como também é uma componente chave na adaptação agrícola às alterações climáticas (Cameira e Pereira, 2019; Ferreira et al., 2023).

O consórcio do projeto PRIMA HubIS (PRIMA/0006/2019) foi estabelecido em 2020, incluindo sete países em torno do mar Mediterrâneo. A coordenação da equipa de investigação portuguesa foi da responsabilidade da Área Disciplinar de Engenharia Rural do ISA/ULisboa, tendo o Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio sido outra instituição portuguesa parceira do consórcio. O projeto terminou em setembro de 2024, após um prolongamento de um ano justificado pela pandemia COVID-19. A proposta do projeto focou-se no tópico 2.1.1 “*Bridging the gap between potential and actual irrigation performance in the Mediterranean region*”. O seu objetivo geral foi contribuir para a melhoria do desempenho nos sistemas de rega, *sensu lato*, da região mediterrânica. Para tal, o HubIS promoveu, avaliou e impulsionou inovações que visaram reduzir a lacuna no desempenho e, assim, melhorar a sustentabilidade dos sistemas de rega na região mediterrânica.

Não há uma compreensão uniforme do termo inovação (OCDE e Eurostat, 2005). No sentido mais amplo é sinónimo de mudança (Tushman e O’Reilly, 1997). A inovação agrícola, no sentido mais amplo, é definida como um processo pelo qual indivíduos ou organizações utilizam produtos, processos ou formas de organização, novos ou já existentes, pela primeira vez num contexto específico, para aumentar a eficácia, a competitividade e a resiliência a choques ou tensões ambientais (FAO, 2018). Uma inovação pode consistir na implementação de uma única mudança significativa ou numa série de pequenas mudanças incrementais que, em conjunto, constituem uma alteração significativa (OCDE e Eurostat, 2005; Taylor, 2017). A inovação agrícola foca-se não só na tecnologia, mas também, e talvez mais importante, nos processos sociais, económicos, institucionais /organizacionais e políticos. Os agricultores desempenham um papel central nos processos de inovação, uma vez que se acredita que a adoção de inovações não só reflete, mas também depende da vida socioeconómica e cultural dos utilizadores finais (FAO, 2018; Chavas e Nauges, 2020; Norton e Alwang, 2020).

No contexto do HubIS, as inovações (FAO, 2018) incluem novas ferramentas e serviços para agricultores e associações de regantes, projetadas para aumentar a eficiência no uso de água, nutrientes e energia. Foram selecionados oito casos de estudo (*site-iHub*) de modo a cobrir várias técnicas de rega e zonas agroclimáticas da agricultura regada mediterrânica. A escolha dos casos de estudo foi também orientada pelas relações existentes com as partes interessadas locais (*stakeholders*). O Quadro 1 apresenta os casos de estudo e as correspondentes *FabLabs* (*fabrication laboratory*), conceito inovador do projeto, que corresponde a ambientes onde é oferecida aos intervenientes a oportunidade de co-desenhar inovações tecnológicas.

Quadro 1. Casos de estudo do projeto PRIMA HubIS (site-iHubs): contextos, problemas e *FabLabs*.

País	Local	Contexto	Principal problema	<i>FabLab</i>
Argélia	Região Chardáia	Região do Sahara; hortícolas regadas com água subterrânea	Baixo desempenho da rega (rega excessiva)	<i>Pivot-lab</i> para apoiar a indústria local
França	Planície de Crau	Produção extensiva de feno de elevada qualidade regado por gravidade, com transferências entre bacias	Multifuncionalidade da rede hidráulica (recarga de aquíferos, caudais ambientais, alterações climáticas).	<i>SurfIrri-lab</i> para melhorar a quantificação do uso da água ao nível da parcela e do aproveitamento hidroagríc
Grécia	Planalto Tessalico	Maior área agrícola do país com culturas variadas regadas com água subterrânea	O nível dos aquíferos diminui enquanto a procura de água para rega aumenta	<i>Earth Observation-lab</i> para estimar as necessidades de água e comunicar com os agricultores
Marrocos	AH Gharb	Culturas regadas com distribuição coletiva de água em canal	Baixo desempenho da rega gota-a-gota	<i>SmartIrri-lab</i> para otimizar o consumo e distribuição de água com monitorização remota e modelação
Portugal	A. H. Lucefecit	Milho, olivais, vinhas, pastagens e cereais regados com rede de rega pressurizada coletiva	Elevados custos de produção devido ao consumo de energia, desempenhos heterogéneos	<i>Irrigation & Energy monitoring lab</i> para otimizar o consumo de água/energia, desenvolver ferramentas de análise de desempenho
Espanha	AH Genil-cabra	Olivais, citrinos, culturas arvenses e hortícolas regados com água superficial	Baixa rentabilidade devido ao custo da energia, escassez recorrente de água e desempenhos heterogéneos	<i>Catch-lab</i> para desenvolver práticas de contabilização de água ao nível da bacia hidrográfica com base na monitorização a jusante
Espanha	Região de Huelva	Estufas dedicadas à produção intensiva de pequenos frutos de alto valor, água subterrânea e superficial	Solos arenosos, desempenho heterogéneo da rega, impactos ambientais	<i>Beirrig-lab</i> para testar equipamentos para atingir elevadas eficiências e uniformidades de rega
Tunísia	Haouaria	Hortícolas, culturas arvenses e pomares regados com água subterrânea	O nível dos aquíferos diminui, resultando em salinização	<i>CoastAqIS-lab</i> para a conservação do aquífero costeiro sobre explorado

2.2 Metodologia geral do HubIS

A metodologia adotada no projeto HubIS inclui a experimentação de campo, o processo de avaliação rápida (*Rapid Appraisal Process*, RAP), a modelação agro-hidrológica e hidráulica e a deteção remota, bem como *workshops* participativos, interação com as partes interessadas locais (abordagem participativa, AP) e ferramentas de disseminação (das escalas locais às regionais). Os resultados dos RAPs e os indicadores calculados são examinados, interpretados e utilizados como dados de entrada para várias análises. O envolvimento das partes interessadas locais é uma parte essencial

do processo de inovação, desde a avaliação inicial de desempenho até ao co-desenho de inovações e sua disseminação, garantindo que as inovações são adequadas ao contexto e respondem às necessidades e objetivos específicos do coletivo. Durante o processo é constituído um “cesto de inovações” que inclui uma variedade de técnicas, tecnologias e práticas de gestão adaptadas aos desafios específicos enfrentados por cada aproveitamento hidroagrícola.

As abordagens participativas baseadas em aprendizagem e ação tornaram-se centrais na investigação em sistemas agrícolas (Blackmore et al., 2012), visando permitir o conhecimento e a compreensão dos problemas e das possíveis soluções que surgem da interação entre todas as partes interessadas: agricultores, profissionais e investigadores (Darnhofer et al., 2012). Paralelamente ao desenvolvimento de métodos de investigação participativa, o método de recolha de informação RAP ganhou também importância (Chambers, 1981). Destina-se a ser usada na fase de diagnóstico da investigação, identificando os principais problemas de forma menos dispendiosa e demorada, em comparação com as avaliações tradicionais.

Em primeiro lugar, o RAP pesquisa e classifica documentos, bases de dados e fontes *web* relevantes para cada caso de estudo. Em segundo lugar, são identificados os atores chave, as partes interessadas e as instituições. A abordagem participativa é baseada em entrevistas com especialistas, discussões em grupos focais e análises participativas em profundidade com os principais atores. As entrevistas e discussões são seguidas por questionários semiestruturados. O diagnóstico cobre uma ampla gama de fatores técnicos, sociais, ambientais e de escala (Wongtragoon et al., 2017).

O RAP utiliza indicadores específicos para avaliar o desempenho e comparar sistemas de rega. Esses indicadores incluem rácios que relacionam variáveis como a área regada com o volume de água aplicada ou a produtividade das culturas (Rodríguez Díaz et al., 2008; Rodríguez Díaz et al., 2011). Cada indicador tem um valor de referência que permite avaliar as intervenções necessárias (El-Gamal, 2018).

As abordagens participativas e os procedimentos de avaliação rápida podem ser vistos como métodos complementares. As abordagens participativas enfatizam o envolvimento ativo das partes interessadas durante todo o processo de tomada de decisão, garantindo que as suas perspetivas, conhecimentos e experiências sejam incorporados na seleção de inovações. Por outro lado, a avaliação rápida permite uma recolha de dados acelerada, análise e ciclos de *feedback* que agilizam a tomada de decisões. Juntas, criam uma abordagem sinérgica que aumenta a eficácia e a eficiência do processo de tomada de decisão na seleção de inovações para melhorar a eficiência do uso de água e de energia em sistemas de rega coletivos.

3. O caso de estudo português: Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit

3.1. Localização e descrição geral da área de estudo

O Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit (AHL) está localizado no Alentejo, sul de Portugal, na região hidrográfica do Guadiana (Fig. 1). De acordo com a classificação de Köppen (Kottek et al., 2006), o clima na região de estudo é do tipo Csa — clima mediterrânico temperado com verões quentes e secos. A precipitação média para o período 2002 a 2022 é de $491,7 \pm 125,9$ mm e a temperatura média é de $16,9$ °C. Cerca de 80% da precipitação ocorre entre outubro e abril (COTR, 2023).

O AHL é de grande interesse para promover o desenvolvimento agrícola na região (DGADR, 2022). A sua construção ocorreu em duas fases. A primeira ocorreu entre 1977 e 1988, quando foi construído um canal para distribuir água por gravidade, servindo uma área de 211 ha. Na segunda fase, de 1990 a 1995, foi instalada a rede de tubagens e as infraestruturas associadas para fornecer água pressurizada a uma área de 950 ha. O sistema opera a pedido, o que significa que os agricultores têm acesso aos hidrantes e podem utilizar a água sem restrições de tempo. A água de rega provém da albufeira do Lucefecit. Parte da água é bombeada diretamente para a rede de distribuição em tubagens, enquanto outra parte flui para um canal de distribuição por gravidade (DGADR, 2022).

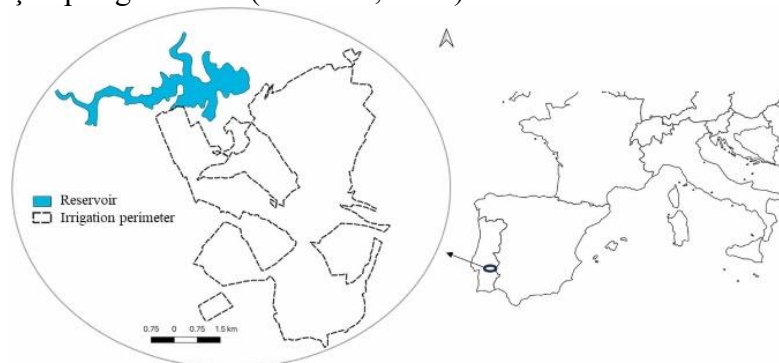


Figura 1. Localização do Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit (Cameira et al., 2024).

O AHL é gerido pela Associação de Beneficiários do Lucefecit (ABL) com 99 beneficiários registados, os quais pagam uma taxa de conservação e uma taxa de utilização de água. Os dados atualizados de 2022 mostram que a taxa de conservação por hectare de cultura e por ano é de 65 € para a distribuição por gravidade e 80 € para a distribuição pressurizada. As taxas de utilização de água são de $0,020$ € m^{-3} ano^{-1} e $0,080$ € m^{-3} ano^{-1} para a primeira e segunda fase, respetivamente (ABL, comunicação pessoal). A

maioria dos agricultores utiliza sistemas de rega por aspersão (aspersão fixa com cobertura total-AC e rampa pivotante-RP) e alguns utilizam sistemas de gota-a-gota (GG). A época de rega começa por volta de 1 de abril e termina por volta de 30 de setembro. No entanto, no outono e no inverno, há rega de suplemento para culturas anuais como o trigo e para culturas permanentes como os olivais.

3.2 Metodologias utilizadas

3.2.1 Abordagem participativa e processo de avaliação rápida

O desenvolvimento do “cesto de inovações” tecnológicas adaptadas ao AHL baseou-se na recolha exaustiva de informação, qualitativa e quantitativa. A metodologia utilizada integra um procedimento de avaliação rápida (RAP) e uma abordagem participativa (PA), tal como esquematiza a Figura 2.

Após o cálculo dos indicadores de desempenho, são identificados os principais problemas existentes no AHL relativamente ao uso da água e da energia na rega. Com o objetivo de minimizar estes problemas, é elaborada uma lista de potenciais inovações, que é apresentada às partes interessadas (*stakeholders*). Numa fase seguinte, é co-desenhado o cesto de inovações, de modo a garantir que as inovações são adequadas ao contexto e respondem às necessidades e objetivos específicos do coletivo e que possam ser adotadas. O cesto deve incluir inovações em diferentes níveis de prontidão tecnológica (TRL) adaptadas aos desafios específicos enfrentados pelo AHL em particular pela sua associação de beneficiários. Um novo RAP será aplicado após a implementação, para quantificar os impactos no uso da água e da energia.

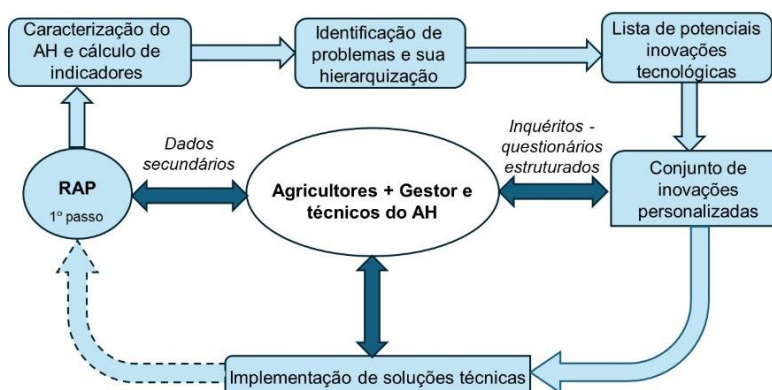


Figura 2. Abordagem de investigação para o desenvolvimento participativo de soluções adaptadas ao Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit (RAP - processo de avaliação rápida, AH-aproveitamento hidroagrícola). A tracejado, a avaliação das inovações implementadas, utilizando um novo RAP, é prolongada por vários anos após término do projeto (adaptado de Cameira *et al.*, 2024).

3.2.2 Recolha de dados primários e secundários

As principais partes interessadas, incluindo o gestor e os técnicos da associação de beneficiários, agricultores e prestadores de serviços de rega, foram identificadas para o fornecimento das informações. Um grupo de agricultores, selecionados aleatoriamente, desempenhou um papel ativo, fornecendo informações sobre as suas parcelas e participando em entrevistas presenciais, por telefone e por email. Foram caracterizadas 34 parcelas no período de 2016-2022. A ABL foi a outra importante fonte de informação incluindo a ocupação cultural e a identificação dos sistemas de rega e sua gestão. Informações adicionais foram recolhidas de outras fontes. As necessidades de rega foram obtidas de Rodrigues (2022), que recorreu à abordagem FAO56 (Allen et al., 1998), tendo os valores dos coeficientes culturais reais e da duração das fases fenológicas sido obtidos a partir de imagens Sentinel-2 (Quadro 2).

Quadro 2. Dados secundários obtidos no iHub Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit e respetivas origens.

Informação	Fonte	Objetivo
Dados climáticos: valores diários de temperatura máxima e mínima e humidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e precipitação	Estação met. Vigia 38°38'59.28'' N; 7°32'52.82'' O	Evapotranspiração de referência
Culturas: Padrões culturais, estágios fenológicos	Imagens Sentinel-2 e Google Earth Satellite (GEE, 2022)	Mapas de NDVI
Coefficientes culturais, profundidade das raízes	Allen <i>et al.</i> (1998); Pereira <i>et al.</i> (2021a, 2021b)	Evapotranspiração das culturas
Solos: capacidade de retenção, condutividade hidráulica	Mapa de solos e de capacidade de uso do solo (Ministério da Agricultura) (SNIS, 2024)	Balço hídrico do solo
Sistemas de rega na parcela: sistemas culturais, calendários de rega, eficiências de aplicação	Associação de Beneficiários do Lucefecit, observações de campo (ABL, comunicação pessoal)	Necessidades de rega
Topografia: curvas de nível, pontos cotados, linhas de talvegue	Instituto Geográfico do Exército de Portugal	Modelo digital do terreno
Rede e perímetro de rega: Informação geográfica sobre limites das parcelas e sua localização	Ministério da Agricultura (DGADR, 2022)	Implementação da rede de rega em ArcMap/SIGOPRAM
Tubagens (material, comprimento e diâmetro)	Projeto de execução	
Localização dos hidrantes e bocas de rega	Associação de Beneficiários	
Estações elevatórias	Projeto de execução	Calibração e validação do software
Condições de operação da rede	Medições <i>in situ</i>	
Cenários futuros com diferentes intensidades de regadio e padrões culturais	Co-desenhados com os <i>stakeholders</i> durante a abordagem participativa	Desempenho futuro do AH

Durante a recolha de dados, realizou-se um trabalho cuidadoso de verificação e seleção, comparando informações de diferentes fontes, analisando imagens de satélite e calculando áreas no SIG.

O AHL não possui sistema de telemetria que permita medições de caudal e pressão contínuas e distribuídas espacialmente. Assim, no âmbito do projeto HubIS, equiparam-se dois pontos de monitorização, que permitiram obter informação primária com o objetivo de: a) caracterizar o hidrograma de procura da rede de rega e as pressões de funcionamento na rede durante a campanha de rega; b) implementar o AHL no software SIGOPRAM, calibrar o modelo hidráulico e realizar a análise hidráulica e energética. Um ponto de monitorização localiza-se a jusante da estação elevatória principal, no início da rede de distribuição e está equipado com um medidor de caudal portátil Ultraflux, Minisonic-P (precisão de 0,5%) e um sensor de pressão Adcon PA-1 0-10 bar (precisão de 1%) com transmissão de dados para o servidor UTR A733GPRS. Foram realizadas medições contínuas em três períodos de um mês durante a campanha de rega de 2022: o primeiro em maio/junho, o segundo em julho/agosto (período de maior procura de água) e o terceiro em setembro/outubro. O segundo ponto está localizado numa secção da conduta a jusante da estação sobreprensa, onde foi instalado um transdutor de pressão que recolheu dados de agosto a outubro. O consumo de energia nas estações elevatórias foi monitorizado durante toda a campanha de rega.

3.3 Indicadores de desempenho

Um conjunto de indicadores de desempenho foi selecionado a partir da literatura para identificar pontos fracos no uso da água e da energia ao nível da parcela e da rede de transporte e distribuição (Quadros 3 e 4). Os pontos fracos identificados servirão de ponto de partida para a interação com as partes interessadas locais para a seleção do cesto de inovações.

Quadro 3. Indicadores usados no RAP ao nível da parcela regada.

Indicador	Equação	Referência
Produtividade (Y , ton ha ⁻¹)	$Y = \frac{P}{A_R}$	Córcoles et al. (2012); Fernández et al. (2020)
Produtividade da água de rega (WP_I , kg m ⁻³)	$WP_I = \frac{Y}{V_H}$	Pereira et al. (2012; 2021); Ferreira et al. (2023)
Fornecimento relativo de água (RIS)	$RIS = \frac{V_H/A}{IR}$	Córcoles et al. (2012); Rodríguez Díaz et al. (2008)
Produtividade económica da água (EWP , € m ⁻³)	$EWP = \frac{\text{Valor}(Y)}{V_H/A}$	Pereira et al. (2012); Ferreira et al. (2023)

RAP = processo de avaliação rápida; P (ton) é a produção; A_R é a área regada (ha); V_H (m³) é o volume de água no hidrante; IR (m³ ha⁻¹) são as necessidades de rega; Valor (Y) (€ ha⁻¹) é o valor da produtividade.

Quadro 4. Indicadores utilizados no RAP ao nível do aproveitamento hidroagrícola.

Indicador	Equação	Referência
Área regada/área de projeto (ICR , %)	$ICR = \frac{A_R}{A_C}$	Zema et al. (2018)
Volume bombeado por unidade de área regada (VIR , $m^3 ha^{-1}$)	$VIR = \frac{V_O}{A_R}$	Moreno et al. (2010); Rodríguez Díaz et al. (2008)
Eficiência na distribuição da água (WDE , %)	$WDE = \frac{V_H}{V_O} 100$	Rodríguez Díaz et al. (2008); Zema et al. (2015)
Fornecimento relativo de água ao nível do AH (RIS_{CIS} , %)	$RIS_{CIS} = \frac{V_O}{IR_{CIS}} 100$	IDAE (2008); Zema et al. (2018)
Energia consumida por unidade de área regada (CE/A_R , $kWh ha^{-1}$)	$CE/A_{IR} = \frac{CE}{A_R}$	Córcoles et al. (2012); Rodríguez Díaz et al. (2008)
Energia consumida por unidade de água de rega fornecida nos hidrantes (CE/V_H , $kWh m^{-3}$)	$CE/V_H = \frac{CE}{V_H}$	Córcoles et al. (2012); Rodríguez Díaz et al. (2008)
Energia consumida por volume de água bombeada (CE/V_O , $kWh m^{-3}$)	$CE/V_O = \frac{CE}{V_O}$	Rodríguez Díaz et al. (2011)
Custo da energia por unidade de área regada ($Cost_E/A_R$, $€ ha^{-1}$)	$Cost_{E/A_{IR}} = \frac{Cost_E}{A_{IR}}$	Córcoles et al. (2012)
Custo de energia por volume de água bombeado ($Cost_E/V_O$, $€ m^{-3}$)	$Cost_{E/V_O} = \frac{Cost_E}{V_O}$	Rodríguez Díaz et al. (2011)
Custo de energia/custo total de MOM ($Cost_E/MOM$, %)	$Cost_E/MOM = \frac{Cost_E}{MOM} 100$	Córcoles et al. (2012); Rodríguez Díaz et al. (2008)

RAP = processo de avaliação rápida; A_C (ha) é a área considerada no projeto; V_O (m^3) é o volume de água bombeado para a rede; IR_{CIS} (m^3) são as necessidades de rega globais; CE (kWh) é o consumo anual de energia; $Cost_E$ ($€$) é o custo anual de energia; MOM ($€$) são os custos anuais de manutenção, operação e gestão.

4. Principais resultados obtidos no âmbito do projeto

4.1 Indicadores de desempenho: o diagnóstico

A análise dos indicadores de desempenho ao nível da parcela focou-se no milho e nos olivais, uma vez que estas são as culturas predominantes no AH. A Figura 3a mostra que a produtividade média (Y) de milho para o período de 2016 a 2021 é superior nas parcelas regadas por rampas pivotantes (RP) ($12,5 \pm 3,3 \text{ ton ha}^{-1}$) do que nas parcelas com sistemas de aspersão com cobertura total (AC) ($9,7 \pm 2,6 \text{ t ha}^{-1}$). Esta diferença está provavelmente relacionada com a maior eficiência e uniformidade de distribuição potenciais associadas às RP. Os dados estatísticos para o Alentejo (INE, 2024) mostram produtividades para o milho entre $12,73 \text{ ton ha}^{-1}$ e $13,84 \text{ ton ha}^{-1}$ para o período de 2016-2021. Conforme relatado por Paredes et al. (2014), uma baixa produtividade ao nível da parcela está frequentemente associada a uma baixa uniformidade da rega, devido a um projeto mal executado e/ou a manutenção inadequada do sistema de rega. No entanto, em ambos os tipos de parcelas, a produtividade apresenta alguns valores acima de 15 ton ha^{-1} ou

abaixo de 5 ton ha^{-1} . Esta grande variabilidade entre parcelas com o mesmo sistema de rega pode ser explicada pelas diferentes abordagens dos agricultores à condução diária da rega e também da fertilização (Dechmi et al., 2003a,b; Grassini et al., 2011; Domínguez et al., 2022; Zapata et al., 2023).

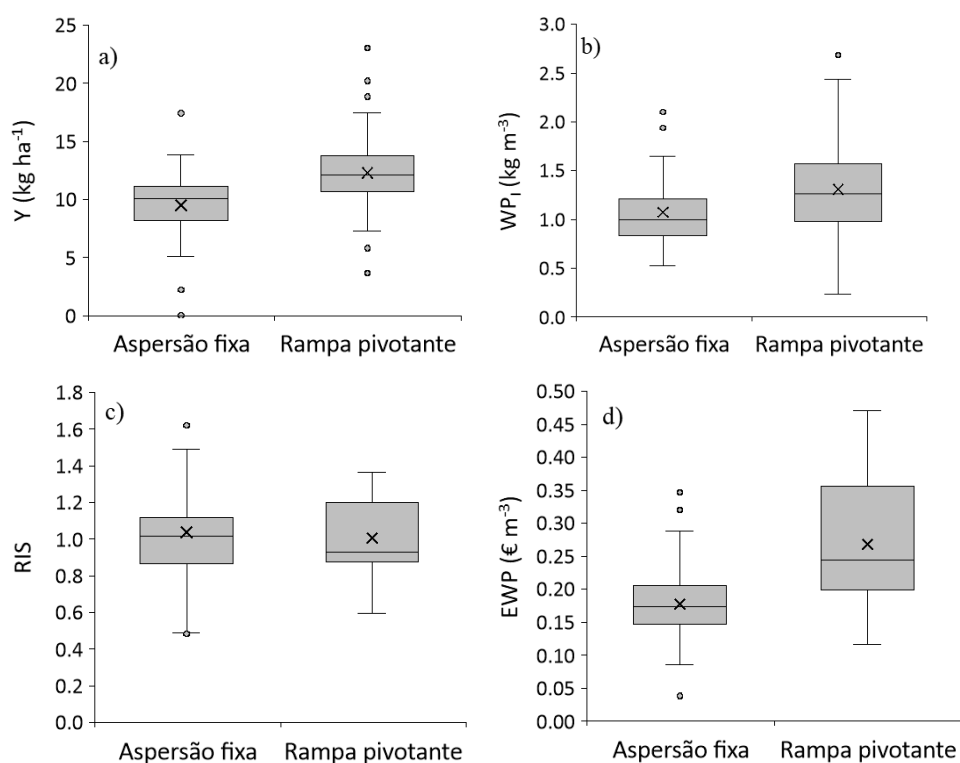


Figura 3. Indicadores de desempenho para o milho para o período de 2016-2021: a) produtividade da cultura (Y); b) produtividade da água de rega (WPI); c) fornecimento relativo de rega (RIS); d) produtividade económica da água de rega (EWP) (adaptado de Cameira et al., 2024)

A produtividade da água de rega, WPI , ao nível da parcela, avalia a quantidade de água de rega que é utilizada para atingir uma determinada produção (Ferreira et al., 2023; Pereira et al., 2012). Para o caso das parcelas com milho, os valores de WPI variaram entre $0,23 \text{ kg m}^{-3}$ e $2,69 \text{ kg m}^{-3}$ durante os seis anos em que os dados foram recolhidos (Figura 3b). Os valores mais baixos podem indicar uma produtividade baixa da cultura, mas também que o volume de água de rega fornecido no hidrante (V_H) é maior do que o necessário. Adicionalmente, verificou-se que os agricultores com maior aversão ao risco de *stress* hídrico tendiam a regar por excesso, resultando em valores mais baixos de WPI . Os resultados mostram que as parcelas com RP

têm um WP_I médio 45% superior ao alcançado com os sistemas AC. O facto de os últimos apresentarem menor eficiência de aplicação leva a um maior consumo de água de rega e, portanto, a uma menor produtividade da água. Rodrigues et al. (2010) estimaram valores de WP_I entre $1,21 \text{ kg m}^{-3}$ e $1,82 \text{ kg m}^{-3}$ para vários sistemas de rega com diferentes desempenhos. Um estudo de Paredes et al. (2014) relatou valores entre $1,48 \text{ kg m}^{-3}$ e $3,15 \text{ kg m}^{-3}$, com os valores mais baixos obtidos na parcela com menor uniformidade de distribuição. Valores semelhantes de WP_I foram relatados por Araya et al. (2019), com valores de $1,60$ a $2,80 \text{ kg m}^{-3}$, dependendo da quantidade de água aplicada. Mohammed e Irmak (2022) relataram valores de WP_I muito mais elevados em milho regado com CP ($3,61$ a $7,04 \text{ kg m}^{-3}$).

Os resultados do fornecimento relativo de rega (RIS) são apresentados na Figura 3c. Um valor de RIS de 1 significa que a água fornecida no hidrante satisfaz as necessidades de rega da cultura. No entanto, a rega pode ser considerada bem gerida com valores de RIS entre 0,9 e 1,2 (Segovia-Cardozo et al., 2019).

Os resultados do presente estudo mostram que, em algumas das parcelas estudadas, o fornecimento sazonal de rega foi muito superior às necessidades de rega do milho, tendo o RIS atingido valores de 1,6 e 1,3 para os sistemas AC e RP, respetivamente. Por outro lado, em algumas parcelas, os agricultores não receberam no seu hidrante água de rega suficiente, com fornecimentos relativos de rega de 0,5 e 0,6 para AC e RP, respetivamente. Este facto teve provavelmente impacto na produtividade das culturas e, consequentemente, no WP_I . Valores semelhantes podem ser encontrados na bibliografia. Salvador et al. (2011) relataram valores de RIS para milho de $1,20 \pm 0,30$ para sistemas AC na bacia do Ebro. Borsato et al. (2019) apresentaram um valor de 0,79 para a rega com RP no nordeste de Itália. Lorite et al. (2012) relataram valores de RIS entre 0,7 e 1,32 para milho regado com AC.

Os resultados de EWP (Figura 3d) mostram também variabilidade elevada, especialmente na RP, com valores entre 0,10 e $0,48 \text{ € m}^{-3}$. Foram determinados valores médios de 0,18 e $0,27 \text{ € m}^{-3}$ para sistemas AC e RP, respetivamente. Estes resultados seguem a mesma tendência dos apresentados por Rodrigues et al. (2010), com valores mais elevados de EWP em parcelas com RP ($0,30 \text{ € m}^{-3}$). Paredes et al. (2014) apresentaram valores de EWP entre $0,29 \text{ € m}^{-3}$ e $0,51 \text{ € m}^{-3}$ em parcelas de milho também regadas com RP. Salvador et al. (2011) relataram um valor médio de EWP para milho de $0,16 \text{ € m}^{-3}$ regado com AC na bacia do Ebro, em Espanha.

A Figura 4 mostra o mesmo tipo de resultados, agora para os olivais do AHL. Os resultados de produtividade da cultura (Figura 4a), com média de $6,5 \pm 3,3 \text{ ton ha}^{-1}$, são consistentes com os reportados na literatura. Os

dados estatísticos para o Alentejo (INE, 2024) mostram, no período de 2016-2022, produtividades entre $1,93 \text{ ton ha}^{-1}$ a $5,35 \text{ ton ha}^{-1}$ para a produção de azeitonas para azeite. Santos (2023) reportou valores médios de $6,0 \pm 1,8 \text{ ton ha}^{-1}$ com rega para conforto hídrico e $7,8 \pm 2,1$ e $5,0 \pm 2,5 \text{ ton ha}^{-1}$ para diferentes níveis de rega deficitária controlada (RDI) (70% e 50% da rega total, respetivamente) de 2011 a 2014 na região do Alentejo (Portugal). A elevada variabilidade dos resultados deve-se provavelmente às diferentes abordagens dos agricultores na condução da rega e às diferentes quantidades de precipitação anual. Outras fontes de variabilidade podem estar relacionadas com a alternância bianual de produção nas oliveiras, a cultivar e a densidade de plantação (Marra et al., 2016).

Relativamente à produtividade da água de rega (WP_l) (Figura 4b), os nossos resultados ($3,88 \pm 2,5 \text{ kg m}^{-3}$) são consistentes com outros estudos, mas, novamente, apresentam elevada variabilidade, com um mínimo de 1,22 e um máximo de $9,84 \text{ kg m}^{-3}$. Quanto ao fornecimento relativo de água de rega, RIS (Figura 4c), Salvador et al. (2011) apresentaram valores de $0,64 \pm 0,11$ para a bacia do Ebro, enquanto Moreno-Pérez e Roldán-Cañas (2013) apresentaram um valor médio de 0,59 para oito épocas de rega no sistema de rega coletivo do Genil-Cabra. Expósito e Berbel (2017) relataram um RIS médio para olivais tradicionais de 0,41 e 0,62 para os anos de 2005 e 2012, respetivamente, e 0,60 para olivais intensivos na bacia do rio Guadalquivir, em Espanha. Os nossos valores estão abaixo dos referidos, indicando que a água fornecida nos hidrantes corresponde, em média, a 25% das necessidades de rega para conforto hídrico. Uma grande parte das necessidades de rega é provavelmente satisfeita pela precipitação na primavera ou pelo armazenamento no solo da precipitação de inverno. No presente estudo, o valor médio de EWP é de $1,64 \pm 1,09 \text{ € m}^{-3}$ (Figura 4d). Salvador et al. (2011) relataram um valor médio para olivais de $0,52 \text{ € m}^{-3}$ na bacia do Ebro, em Espanha. Para a Tunísia, Souissi et al. (2019) relataram um EWP entre 0,11 e $0,20 \text{ € m}^{-3}$ e entre 0,18 e $0,60 \text{ € m}^{-3}$ para olivais de sequeiro e olivais regados, respetivamente. Kourgialas et al. (2022) registaram valores entre $2,03 \text{ € m}^{-3}$ e $4,48 \text{ € m}^{-3}$ de 2017 a 2019 em Creta (Grécia). Fernández et al. (2020) reportaram valores de $0,44 \pm 0,17 \text{ € m}^{-3}$ para um olival de alta densidade em Espanha, entre 2010 e 2012, que aumentou para $0,65 \pm 0,26 \text{ € m}^{-3}$, entre 2013 e 2015, para rega para conforto hídrico. Para rega deficitária controlada (RDI), os valores foram de $0,44 \pm 0,24 \text{ € m}^{-3}$ para 60RDI, $0,72 \pm 0,31 \text{ € m}^{-3}$ para 45RDI e $1,18 \pm 0,38 \text{ € m}^{-3}$ para 30RDI. Os resultados mostram que, quanto menor a quantidade de água fornecida no hidrante, maior é a produtividade económica. No entanto, quando o défice de água é muito elevado, a cultura é afetada, resultando em menor produtividade. Esses resultados não são diretamente comparáveis com os do presente estudo, uma

vez que Fernández et al. (2020) usaram o lucro para calcular o *EWP* e aqui foi usado o valor da cultura.

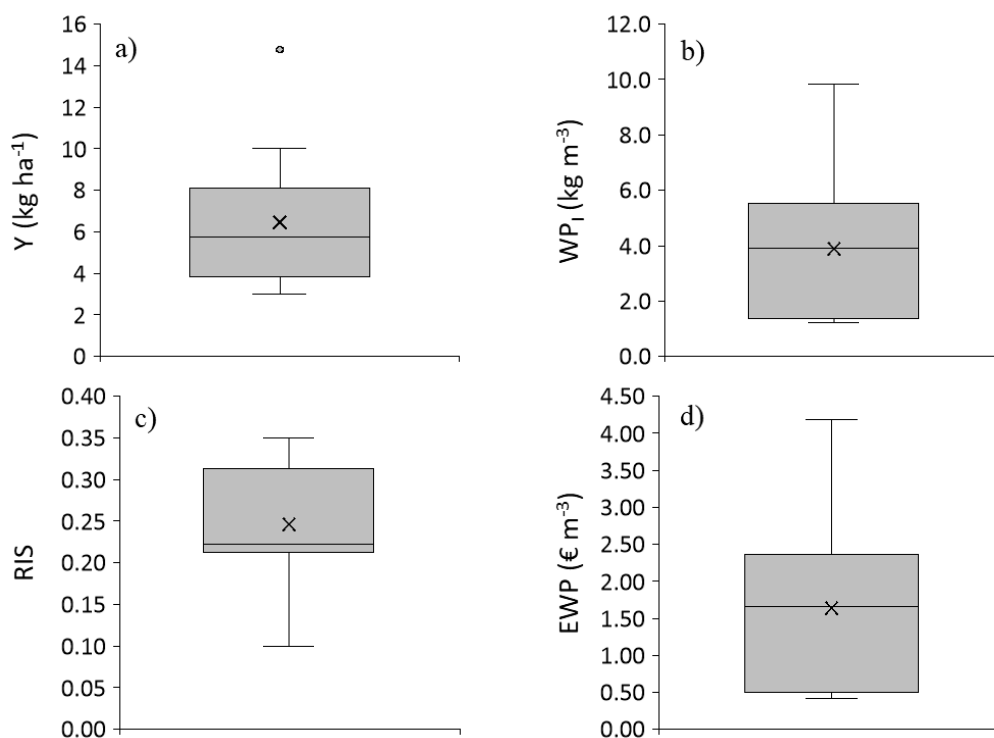


Figura 4. Indicadores de desempenho para oliveiras no período de 2016-2021: a) produtividade (Y); b) produtividade da água de rega (WPI); c) fornecimento relativo de rega (RIS); d) produtividade económica da água de rega (EWP) (adaptado de Cameira et al., 2024).

A Figura 5 apresenta os resultados para os indicadores ao nível do aproveitamento hidroagrícola (AH), descritos no Quadro 4. A Figura 5a mostra a evolução do fornecimento relativo de água RIS_{AH} , verificando-se que, em todos os anos, exceto 2018, o fornecimento sazonal de água em todos os hidrantes das parcelas foi superior à soma das necessidades de rega calculadas para todas as parcelas. Isto significa que o total da área regada recebeu um volume excessivo de água, mas algumas das parcelas não receberam água suficiente para satisfazer as necessidades das culturas (parcelas com um RIS inferior a um). RIS_{AH} mais elevados são relatados por Zema et al. (2018), com valores de 3,68, atingindo um máximo de 9,2, para 10 AH na Calábria (9 por rotação e um a pedido). Lozano e Mateos (2008) apresentaram valores de RIS_{AH} entre 2,67 e 1,61 para AH em Sevilha, com entrega de água por rotação fixa. Benavides et al. (2021) relataram para o

esquema de rega de Guanacaste, Costa Rica, valores de RIS_{AH} de 2,48 a 3,78 durante o período 2014-2018. Em contraste, Lorite et al. (2004) relataram valores de RIS_{AH} muito mais baixos para o AH de Genil–Cabra, na Andaluzia com valores entre 0,45 e 0,64, durante o período de 1996-2000. Valores semelhantes foram relatados por Soto-García et al. (2013) para o AH de Cartagena (distribuição por rotação), de 0,61 a 0,80 em anos normais e com valores decrescentes à medida que a escassez de água aumentava, atingindo valores de cerca de 0,45 em anos secos. Salgado et al. (2021) relataram valores entre 0,40 e 0,80 para um esquema de rega na Argentina, entre 2012 e 2015.

A Figura 5b mostra os valores anuais de consumo de energia por unidade de área regada, CE/A_R . A variação interanual deste indicador pode ser devida a vários fatores, nomeadamente às necessidades globais de rega do AH, que afetam o volume bombeado para a rede e a curva de eficiência da estação de bombagem. Os valores de CE/A_R são, em média, $2919,9 \pm 502,3$ kWh ha⁻¹, sendo superiores, em todos os anos, aos casos de estudo reportados na literatura. Rodríguez Díaz et al. (2011) apresentam valores para este indicador a variar de 455 kWh ha⁻¹ a 2000 kWh ha⁻¹ para 10 AH, em Espanha, com distribuição de água pressurizada. Córcoles et al. (2012) indicam um consumo de energia por unidade de área regada de 1722 kWh ha⁻¹ com distribuição de água pressurizada e prevalência de sistemas de rega por aspersão. O IDAE (2008) classifica os aproveitamentos hidroagrícolas com um consumo de energia superior a 2000 kWh ha⁻¹ como grandes consumidores de energia. Assim, o Lucefecit pode ser considerado um grande consumidor de energia, uma vez que, em todos os anos do estudo, o consumo por unidade de área regada foi superior a 2000 kWh ha⁻¹.

A evolução, de 2016 a 2021, do consumo de energia por unidade de volume bombeado para a rede (CE/V_o) e por volume distribuído no hidrante (CE/V_H) é apresentada na Figura 5c. Relativamente a CE/V_o , Rodríguez Díaz et al. (2011) propõem a seguinte classificação: AH com um valor superior a 0,4 kWh m⁻³ são considerados grandes consumidores, com valores entre 0,4 e 0,3 kWh m⁻³ são consumidores médios e com valores inferiores a 0,3 kWh m⁻³ são pequenos consumidores. O Lucefecit situa-se na fronteira entre os grandes e os médios consumidores de energia, com um valor médio de $0,43 \pm 0,13$ kWh m⁻³. Rodríguez Díaz et al. (2011) indicam a média de 0,41 kWh m⁻³ para os 10 AH espanhóis, enquanto Córcoles et al. (2012) relataram valores médios de 0,31 kWh m⁻³. Chibeles (2007) reporta um valor médio de CE/V_o de 0,336 kWh m⁻³ para quatro blocos de rega no empreendimento para fins múltiplos do Alqueva no Alentejo.

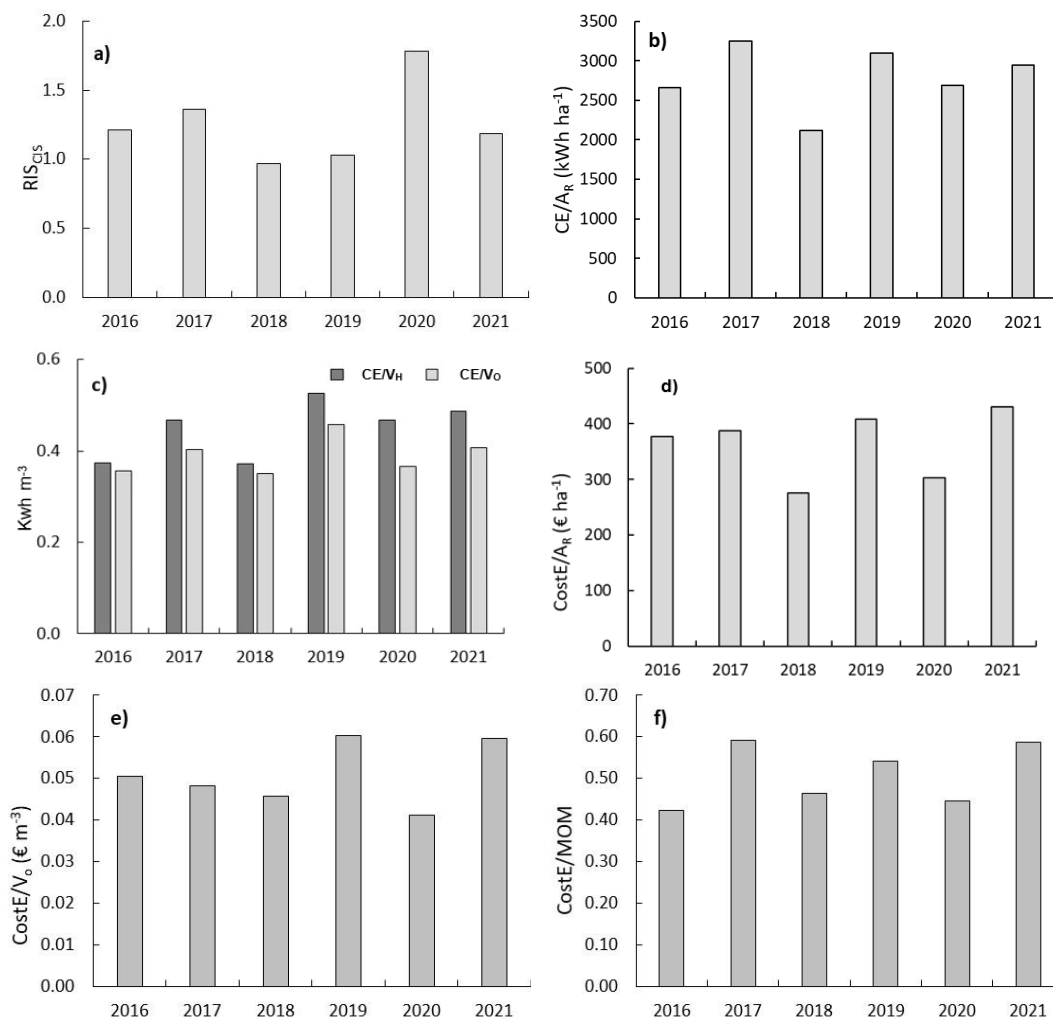


Figura 5. Indicadores de desempenho ao nível do aproveitamento hidroagrícola: a) fornecimento relativo de rega (RIS_{CIS}); b) consumo de energia por unidade de área irrigada (CE/A_R); c) consumo de energia por unidade de volume desviado para a rede (CE/V_o) e fornecido às parcelas (CE/V_H); d) custo da energia de bombagem por unidade de área regada ($CostE/A_R$); e) custo de energia e bombagem por unidade de volume bombeado ($CostE/V_o$); f) custo de energia em relação aos custos de manutenção, operação e gestão ($CostE/MOM$) (adaptado de Cameira et al., 2024).

Para o AH do Lucefecit, o valor médio dos custos de energia por unidade de área regada ($CostE/A_R$) (Fig. 5c), durante o período estudado, foi de $386,0 \pm 81$ € ha⁻¹. Córcoles et al. (2012) apresentam valores de 118,5 € ha⁻¹ para AH com sistemas de rega predominantemente por aspersão. Lima et

al. (2019) reportaram valores entre 56,3 e 59,0 € ha⁻¹ para a rede de rega "SORETA" em Albacete.

Obtiveram-se, neste estudo, custos de energia por unidade de volume de água bombeada ($CostE/V_o$) de $0,052 \pm 0,008$ € m⁻³ (Figura 5e). Rodríguez Díaz et al. (2011) reportam valores entre 0,01 e 0,08 € m⁻³ para 10 AH espanhóis, com um valor médio de 0,04 € m⁻³. Em seis outros AH espanhóis, reportados por Córcoles et al. (2012), o custo de energia por unidade de volume de água fornecida às parcelas foi de 0,025 € m⁻³. Lima et al. (2019) reportaram valores de $CostE/V_o$ variando de 0,0175 a 0,0185 € m⁻³ para a rede de rega "SORETA", em Espanha. Para Portugal, Chibeles (2007) apresenta o valor médio de 0,034 € ha⁻¹ para quatro blocos de rega do EFMA.

O valor médio para a relação entre os custos de energia e os custos totais associados a operação, manutenção e gestão (MOM) durante o período de estudo foi de 0,52, o que significa que 52% dos custos com MOM são custos de energia (Figura 5f). Rodríguez Díaz et al. (2011) apresentam um valor médio de 0,36 e um máximo de 0,65 para 10 AH em Espanha com distribuição de água pressurizada. No AHL, 30% dos sistemas de rega são por aspersão fixa, seguidos pelos sistemas de gota-a-gota (23,7%) e pelas rampas pivotantes (20,2%). Córcoles et al. (2012) relatam um valor médio de 45% para esta relação em seis estudos de caso, dois com sistemas de rega por gota-a-gota, nos quais o custo de energia representa 20% dos custos de MOM, e os restantes quatro com sistemas de aspersão fixa e rampa pivotante, para os quais a relação é de 60%.

Os resultados apresentados sublinham a natureza multifacetada da gestão da água de rega no Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit, destacando várias oportunidades para melhorar a eficiência do uso da água e energia, a produtividade das culturas e a sustentabilidade económica. Estas oportunidades são resumidas na secção seguinte.

4.2 Cesto de inovações

Os indicadores calculados no âmbito do RAP (secção 4.1) permitiram, de um modo quantitativo, identificar as principais questões a considerar para a criação do cesto de inovações. No entanto, foi a abordagem participativa que, ao envolver as principais partes interessadas, nomeadamente os agricultores, o gestor da ABL e técnicos, garantiu que as inovações selecionadas fossem adequadas ao contexto e respondessem às necessidades específicas do coletivo, o que constitui um valor acrescentado desta metodologia integrada. Os principais resultados desta metodologia integrada aplicada, que orientaram a criação do cesto de inovações, foram:

- Elevado consumo de energia por hectare de área regada e por m³ de água de rega fornecida;

- Método ineficaz de registo, por parte dos técnicos da ABL, da quantidade de água fornecida nos hidrantes à entrada das explorações agrícolas;
- Elevada variabilidade na produtividade da água de rega entre parcelas;
- O padrão de culturas no AH está a mudar no sentido do aumento da área de culturas permanentes, tais como o amendoal, e de culturas anuais com maiores necessidades hídricas, tais como o tomate para indústria; como será o desempenho do AH nessas condições?
- A falta de apoio técnico impede que os agricultores selecionem e mantenham adequadamente os sistemas de rega;
- Os agricultores estão cientes da existência de sensores de humidade do solo, mas a sua adoção é limitada devido a dificuldades técnicas e restrições financeiras, evidenciando a necessidade de tecnologias de baixo custo e fáceis de utilizar;
- Os agricultores conhecem as práticas de rega deficitária, mas a implementação é limitada, salientando a importância do apoio e orientação técnica;

O cesto de inovações criado apresenta diferentes níveis de preparação tecnológica (TRL) (EARTO, 2014), promove flexibilidade e adaptabilidade, reconhecendo que não existe uma solução única que sirva para todos. O cesto é composto por três inovações dirigidas ao aproveitamento hidroagrícola: AH₁: aplicação de telemóvel para registo e armazenamento das leituras nos hidrantes; AH₂: ferramenta para estimativa dos volumes distribuídos nos hidrantes e AH₃: ferramenta para avaliação do desempenho hidráulico e energético da rede de rega. O cesto compreende ainda três inovações dirigidas à parcela: P₁: utilização de sensores de baixo custo para condução da rega; P₂: guia para aplicação da rega deficitária em olivais e vinhas; P₃: metodologia para apoio à rega de precisão (com taxa variável no espaço). Destas seis inovações, as seguintes duas foram selecionadas para apresentação neste trabalho.

AH₂. Ferramenta para estimativa dos volumes distribuídos nos hidrantes

Objetivo: ferramenta que permita à associação de regantes estimar os consumos nos hidrantes nas diversas parcelas e ao longo da época de rega.

Porque é uma inovação: o AHL não dispõe atualmente de registo contínuo dos volumes de água distribuídos nos 107 hidrantes e 204 bocas de rega, sendo necessário que os funcionários efetuem a leitura e registo no local. Dado o elevado número de hidrantes, os dois funcionários apenas conseguem fazer o registo bimestral dos consumos, o que confere à Associação pouca oportunidade para a gestão da distribuição da água até às diferentes parcelas.

Metodologia: a ferramenta desenvolvida para quantificação dos consumos de água para rega no AHL em tempo quase-real é baseada na modelação do balanço hídrico do solo com a utilização de dados das culturas obtidos com imagens de satélite, de modo a refletir as condições reais no terreno (Aparício, 2022). A Figura 6 apresenta o fluxograma da ferramenta, com os diversos módulos e os dados de base utilizados. A construção da ferramenta iniciou-se pela estruturação de uma base de dados georreferenciada em QGIS, contendo os dados dos limites das parcelas, manchas de solos, ocupação cultural, sistemas de rega e dados meteorológicos. Sobre esta informação, definiram-se as Unidades Homogéneas de Análise (UHA), que correspondem aos polígonos, para os quais a informação de base para a modelação do balanço hídrico do solo é idêntica. Após a construção do SIG, foi realizada a validação e correção da informação da ocupação cultural fornecida pelo AHL, uma vez que esta se encontrava desatualizada. A validação foi realizada com o recurso a imagens de satélite Sentinel-2 (resolução espacial de 10 m e temporal de 5 dias) e à plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

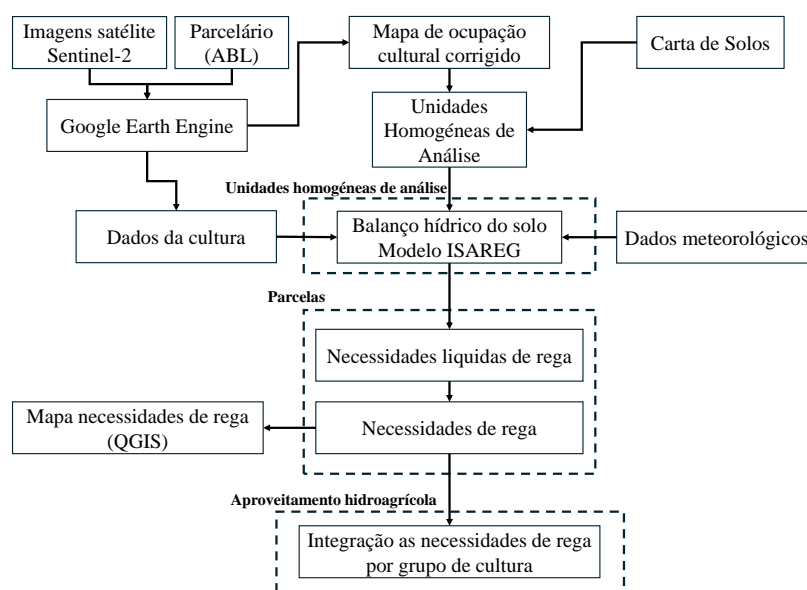


Figura 6. Fluxograma da ferramenta desenvolvida para estimativa dos consumos de água para rega integrando os consumos nos hidrantes por grupo de cultura.

A última permitiu o processamento automático de séries temporais do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), disponibilizando gráficos com os perfis de NDVI para cada parcela. Os perfis temporais de NDVI permitiram identificar datas de sementeira e caracterizar as diferentes

fases de desenvolvimento das culturas, de acordo com a realidade do terreno. Foram então definidas as curvas dos coeficientes culturais (K_c), que permitiram aumentar a precisão na estimativa dos consumos de água para rega. Para cada uma das UHA, realiza-se o balanço hídrico do solo com o modelo ISAREG (Teixeira e Pereira, 1992), utilizando-se dados meteorológicos diários, da estação meteorológica do Redondo, pertencente à rede SAGRA (Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo). Os resultados são então espacializados, produzindo-se mapas com os consumos de água para rega no AHL. Como resultado final, são produzidas as necessidades de rega por grupo de cultura, resultantes da integração dos valores estimados para cada um dos hidrantes das parcelas ocupadas por uma dada cultura.

Resultados: a metodologia foi validada por comparação dos resultados com os consumos medidos nos hidrantes, tendo também sido comparados com os relatados no anuário agrícola do Alqueva, cedido pela EDIA (Figura 7).

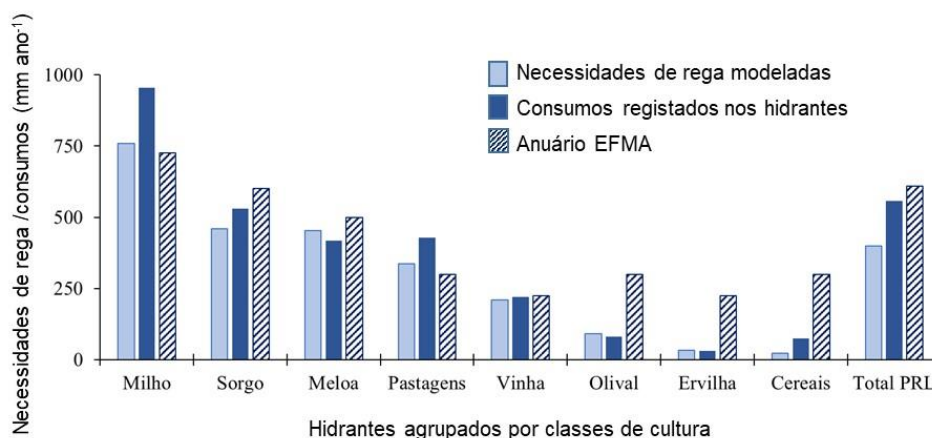


Figura 7. Necessidades de rega modeladas e agrupadas por hidrantes que servem a mesma cultura e correspondentes consumos nas bocas de rega disponibilizados pela Associação de Beneficiários do Lucefecit e valores do ano médio do anuário agrícola de Alqueva (EDIA, 2020) (Aparício, 2022).

A análise da Figura 7 mostra que a ferramenta desenvolvida permite estimar consumos de água para rega nas bocas de rega/hidrantes agrupados por culturas, semelhantes aos registados bimestralmente pelos técnicos da ABL. Verifica-se, no entanto, alguma subestimação, que pode ser atribuída ao facto das simulações com o ISAREG considerarem condução da rega sem ocorrência de percolação (seleção do esquema de rega otimizada). Na realidade, a rega poderá estar a ser conduzida de um modo menos eficiente. Esta ferramenta permite estimar os consumos de rega com um intervalo

semanal, conferindo maior capacidade de gestão da distribuição da água até às parcelas.

Nível de preparação tecnológica: TRL 6- Demonstração da tecnologia em ambiente relevante.

Utilizador final: gestores de aproveitamentos hidroagrícolas.

Custo: o custo principal está associado à necessidade de formação para aquisição de competências na utilização dos diferentes softwares necessários à aplicação da ferramenta. É necessário um computador com ligação à internet.

Dificuldade operacional: são necessárias competências informáticas, pelo que a ferramenta é vocacionada para técnicos com formação superior.

AH3. Ferramenta para avaliação do desempenho hidráulico e energético

Objetivo: previsão do desempenho hidráulico e energético do AHL em cenários futuros co-desenhados com as partes interessadas locais.

Porque é uma inovação: a ferramenta em causa permitirá ao gestor e técnicos do AHL acompanhar, pela primeira vez, o desempenho atual da rede de rega operando a pedido e simular o comportamento da rede para cenários futuros.

Desenvolvimento e aplicação: a ferramenta consiste num conjunto de modelos interligados funcionando em ambiente SIG, calibrados para o AHL. Integra o transporte e distribuição de água despoletados pela procura nas parcelas, com o uso de energia. É baseada no software SIGOPRAM, parametrizado e testado utilizando um conjunto abrangente de informações geográficas e alfanuméricas. A Figura 8 apresenta o fluxograma que descreve o desenvolvimento da ferramenta e a sua posterior aplicação.

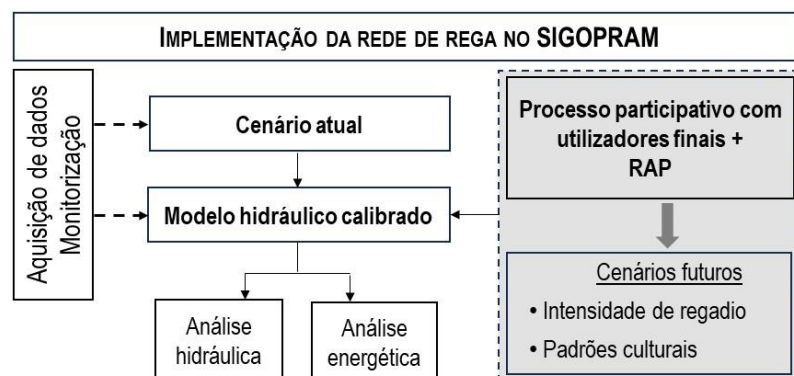


Figura 8. Fluxograma com a metodologia geral utilizada no desenvolvimento da ferramenta para avaliação do desempenho hidráulico e energético da rede de rega operando a pedido (RAP = processo de avaliação rápida) e posterior aplicação.

Como resultado das metodologias do projeto, foram co-desenhados, com as partes locais interessadas, dois cenários que refletem o que se prevê ocorrer, no AHL, na intensidade de regadio e padrões culturais num futuro próximo. A região do Alentejo experiencia uma transição de olivais para amendoais, em resultado da crescente procura deste fruto seco, o que tem levado novos investidores a procurar terrenos equipados para rega. Por outro lado, o tomate para indústria tem-se expandido na região. O gestor e os técnicos da ABL manifestaram, nas reuniões participativas, preocupação em relação à futura capacidade de desempenho da rede de rega. Foram co-desenhados os cenários apresentados no Quadro 5, aos quais se aplicou a ferramenta desenvolvida.

Resultados: a procura de caudal na rede aumenta consideravelmente entre o cenário atual e o cenário Sc1, em que a intensidade do regadio aumenta para 90%. O caudal médio aumentou de 245 L s⁻¹ para 532 L s⁻¹ (117%) e para 645 L s⁻¹ (163%) nos cenários Sc1 e Sc2, respetivamente (Figura 9a). O aumento do caudal solicitado na cabeceira da rede de rega leva, em comparação com a situação atual, a uma extensão das curvas características (Figura 9b) para descargas mais elevadas, resultando num aumento significativo da altura piezométrica necessária no período de ponta para garantir a pressão mínima necessária no hidrante mais desfavorável.

Quadro 5. Cenários futuros co-desenhados com os utilizadores finais.

	Cenários		
	Atual	Sc1	Sc2
Área regada (ha)	456	855	855
Intensidade de regadio (%) ⁽¹⁾	48	90	90
Padrão cultural (%) ⁽²⁾			
Milho	36.3	36.3	25.0
Culturas permanentes			
Olivais	42.2	42.2	15.0
Vinhas	4.0	4.0	4.0
Amendoais	-	-	35.0
FORAGEIRAS	9.4	9.4	0.0
Hortícolas			
Melão e outros	7.3	7.3	6.0
Tomate para indústria	-	-	15.0
Outros	0.8	0.8	0.0

⁽¹⁾Área regada/área considerada no projeto; ⁽²⁾ área da cultura/área total regada.

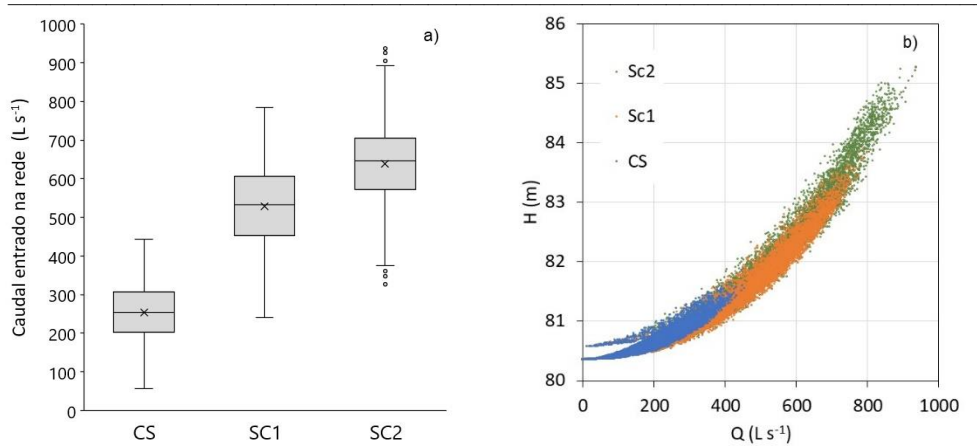


Figura 9. a) Caudais entrados na rede de rega e b) curvas características da rede para 1000 configurações de hidrantes e para o nível médio de armazenamento na albufeira registado durante o período de ponta de 2022.

A Figura 10 mostra as diferenças de pressão relativas nas bocas de rega para 1000 configurações, com um caudal à entrada da rede de $667 L s^{-1} \pm 10 \%$ e uma altura piezométrica à entrada da rede de 256,7 m para o cenário Sc2.

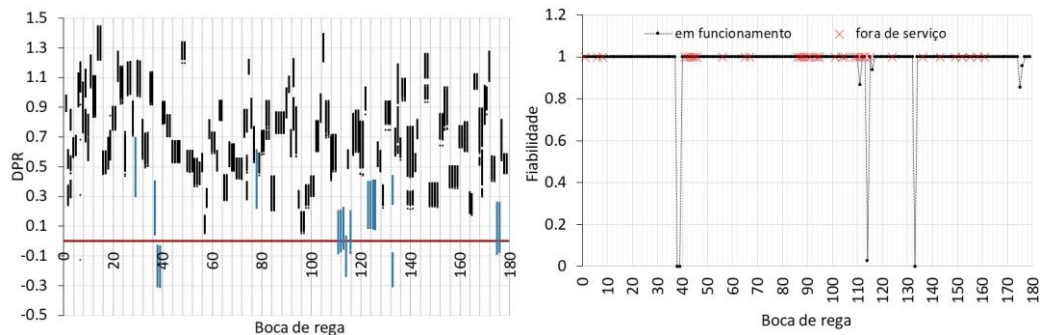


Figura 10. Diferença de pressão relativa (DPR) e fiabilidade das bocas de rega analisadas para o cenário Sc2 para 1000 configurações, com um caudal à entrada da rede $Q_0 = 667 L s^{-1} \pm 20 \%$ e uma altura piezométrica de 256,7 m (sem sobreprensa).

No cenário Sc2 existem oito bocas de rega que apresentam falhas (38, 39, 114, 111, 116, 133, 175 e 176), o que significa que a pressão é menor que a requerida para o fornecimento do caudal necessário. Destas, cinco falham mais do que 97 % das vezes em que funcionam. Em ambos os cenários, as bocas de rega/hidrantes com falhas são as que apresentam as cotas mais elevadas (200 a 220 m) e são, simultaneamente, as mais distantes da estação de bombagem (Fig.14).

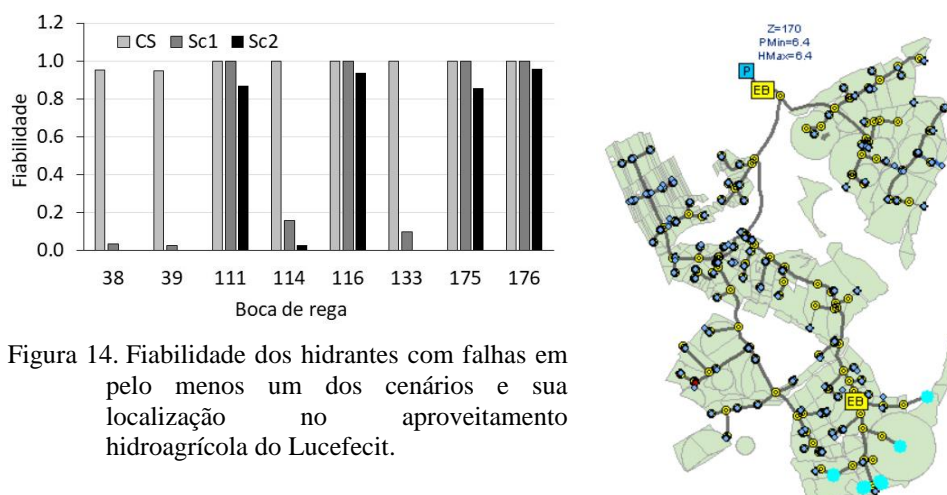


Figura 14. Fiabilidade dos hidrantes com falhas em pelo menos um dos cenários e sua localização no aproveitamento hidroagrícola do Lucefecit.

Para cada cenário, foi também analisado o funcionamento do sistema com a estação sobrepessora (PS_2) em operação (variante do cenário). Com a PS_2 a funcionar (Sc2_b), não existem bocas de rega com deficit de pressão. No entanto, o superavit é muito elevado, com valores máximos de 58,3 e 57,8 m e valores médios de 28,7 e 27,3 m para os cenários Sc1 e Sc2, respetivamente. O Quadro 6 resume os resultados da análise de desempenho das bocas de rega para os três cenários. Estes resultados refletem a topografia da área beneficiada. Para garantir pressão suficiente na área mais desfavorável, que representa apenas 19% da área considerada no projeto, a grande maioria das bocas de rega está em sobrepressão, tornando o sistema energeticamente ineficiente.

Quadro 6. Resultados da análise de desempenho das bocas de rega para os cenários estudados e as suas variantes.

cenário	Número de bocas de rega		Altura manométrica (m)				Área (% AP)	Caudal (% CA)
	ativas	com falhas	Deficit máximo	Deficit médio	Superavit máximo	Superavit médio		
CS	70	2	2,2	0,7	64,0	34,0	0,8	1,7
Sc1	134	5	10,1	3,7	58,3	28,7	9,6	12,3
Sc1_B	134	0	na	na	62,2	30,2	na	Na
Sc2	134	8	12,5	5,3	57,9	27,3	9,9	12,7
Sc2_B		0	na	na	57,8	29,1	na	na

AP = área de projeto; CA = caudal acumulado.

Com base nos resultados obtidos para os cenários Sc1 e Sc2, podem propor-se soluções que conduzem a diminuições no consumo de energia e, portanto, permitem reduzir o peso dos custos energéticos relativamente no total dos

custos MOM. Por exemplo, a desativação da estação sobrepessora levaria a uma redução significativa nos custos operacionais e de manutenção do sistema. No entanto, seria necessário estabelecer um preço diferenciado por metro cúbico de água para as bocas de rega com menor fiabilidade, compensando assim a necessidade de os agricultores instalarem bombas de reforço nas suas parcelas. Pode ainda equacionar-se uma segunda solução para alterar o horário de rega dos pequenos agricultores, que se concentra preferencialmente no período de maior custo de energia. No entanto, esta solução não se revela viável devido à dimensão das parcelas e ao sistema de rega dominante, que é a aspersão fixa sem automatização.

Nível de preparação tecnológica: TRL8 - O sistema completo está qualificado e pode operar em ambiente real, mostrando a sua eficácia.

Utilizador final: técnico/Eng. Associação de Beneficiários

Custo: computador com ArcMap e SIGOPRAM e internet.

Dificuldade operacional: os utilizadores devem ser capazes de lidar com múltiplas fontes de dados e ambientes e de realizar análise de dados.

5. Considerações finais

No âmbito do projeto PRIMA HubIS (PRIMA/0006/2019), uma metodologia sinérgica, que combina uma abordagem participativa e a avaliação rápida, foi utilizado com sucesso para a seleção de uma série de inovações destinadas a melhorar o uso eficiente de água e energia no Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit.

O diagnóstico resultante do cálculo dos indicadores de desempenho do RAP aponta para elevado consumo de energia por hectare de área regada e por m³ de água de rega fornecida, com mais de 50% dos custos de operação, manutenção e gestão (MOM) associados à energia. Portanto, o AHL é um consumidor intensivo de energia, exigindo inovações adaptadas. Além disso, existe uma elevada variabilidade na produtividade da água de rega (WP_I) entre as parcelas que apresentavam diferentes níveis de equipamento e práticas de condução da rega. A aplicação da abordagem participativa *top-down* permitiu selecionar um cesto de inovações adaptadas aos desafios específicos previamente identificados no diagnóstico. Destacaram os desafios e oportunidades associadas à utilização de abordagens *top-down*, custos de inovações e envolvimento das partes interessadas nos processos de tomada de decisão (co-decisão) e de co-desenho de soluções.

A principal limitação da metodologia apresentada é a sua dependência da vontade dos agricultores e técnicos em fornecer dados dos seus campos e da rede de rega. Tendo em conta que um dos principais desafios para a sustentabilidade do setor agrícola no contexto atual é o uso eficiente de recursos naturais como a água e a energia, os resultados deste projeto, cujo caso de estudo (*site i-Hub*) foi o Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefecit,

oferecem informações úteis para os gestores de recursos hídricos, sendo que os seus resultados e inovações podem ser estendidos a outros aproveitamentos hidroagrícolas. A transferência bem sucedida da metodologia proposta depende, por um lado, do adequado planeamento do RAP e, por outro lado, da identificação das partes interessadas que co-desenham as inovações de acordo com as especificidades dos contextos. Desta forma, o projeto PRIMA HubIS forneceu um estudo de caso elucidativo em Portugal, sobre as diversas formas como os projetos de transferência de inovação agrícola podem contribuir para aumentar a resiliência hídrica e energética dos aproveitamentos hidroagrícolas.

Referências

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrig Drain Paper No.56. Rome, FAO, 300(9): D05109.
- Alston JM, Pardey PG (2016) Antipodean agricultural and resource economics at 60: agricultural innovation. *Aust J Agric Resour Econ* 60: 554–568. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12162>
- Aparício PP (2022) Distribuição espacial das necessidades de rega das culturas no Perímetro de Rega do Lucefecit com recurso a imagens de satélite com elevada resolução espaço-temporal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 117 p. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/25019>
- Araya A, Prasad PVV, Gowda PH, Kisekka I, Foster AJ (2019) Yield and water productivity of winter wheat under various irrigation capacities. *J Am Water Resour Assoc* 55: 24–37. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12721>
- Benavides J, Mateos L, García-Vila M, Fereres E (2021) Evaluating irrigation scheme performance in a tropical environment: The Guanacaste scheme, Costa Rica. *Irrig Drain* 70: 1331–1346. <https://doi.org/10.1002/IRD.2621>
- Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H (2014) Making the user visible: analyzing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrig Sci* 32: 405–420. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0438-0>
- Blackmore C, Cerf M, Ison R, Paine M (2012) The role of action-oriented learning theories for change in agriculture and rural networks. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (Eds) - *Farming systems research into the 21st century: the new dynamic*, p. 159–177. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_8/COVER
- Borsato E, Martello M, Marinello F, Bortolini L (2019) Environmental and economic sustainability assessment for two different sprinkler and a drip irrigation system: A case study on maize cropping. *Agriculture* 9: 187. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE9090187>

- Bos MG, Burton MA, Molden DJ (2005) Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines. Wallingford, UK CABI VIII, 158 p.
- Cameira MR, Pereira LS (2019) Innovation issues in water, agriculture and food. *Water (Switzerland)* 11:1230. <https://doi.org/10.3390/w11061230>.
- Cameira MR, Rodrigo I, Garção A, Neves M, Ferreira A, Paredes P (2024) Linking participatory approach and rapid appraisal methods to select potential innovations in collective irrigation systems. *Agric Water Manag* 299:108885. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108885>.
- Chambers RC (1981) Rapid rural appraisal: Rationale and repertoire. *Public Adm Dev* 1:95–106. <https://doi.org/10.1002/PAD.4230010202>.
- Chambers, R, 1981. Rapid rural appraisal: Rationale and repertoire. *Public Adm Development* 1: 95–106. <https://doi.org/10.1002/PAD.4230010202>
- Chavas JP, Nauges C (2020) Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture. *Appl Econ Perspect Policy* 42: 42–53. <https://doi.org/10.1002/AEPP.13003>.
- Chevalier JM, Buckles DJ (2013) Participatory action research: Theory and methods for engaged inquiry (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203107386>.
- Córcoles JI, Juan JA, Ortega JF, Tarjuelo JM, Moreno MA (2012) Evaluation of irrigation systems by using benchmarking techniques. *J Irrig Drain Eng* 138: 225–234. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000386](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000386)
- COTR (2023) Dados Meteorológicos. Obtido em 15 de maio de 2023, do Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio. Website: <https://www.cotr.pt/>
- Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (2012) Farming systems research: an approach to inquiry. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (Eds) - Farming systems research into the 21st century: the new dynamic, Dordrecht, Springer, p. 3-30. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_1/COVER
- Dechmi F, Playán E, Faci JM, Tejero M (2003a) Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: I. Characterisation and water use assessment. *Agric Water Manag* 61: 75–92. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00020-9)
- Dechmi F, Playán E, Faci JM, Tejero M, Bercero A (2003b) Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agric Water Manag* 61: 93–109. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00021-0)
- DGADR (2022). Dados do aproveitamento hidroagrícola de Lucefecit. Obtido em 15 de maio de 2024 na Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Website: <https://www.dgadr.gov.pt/>
- Domínguez A, Schwartz RC, Pardo JJ, Guerrero B, Bell JM, Colaizzi PD, Baumhardt R (2022) Center pivot irrigation capacity effects on maize yield and profitability in the Texas High Plains. *Agric Water Manag* 261: 107335. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.107335>
- EDIA (2020) Anuário Agrícola de Alqueva 2019. Obtido em 15 de julho de 2021, de Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A., Beja. Website: <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>

- EARTO (2014) TRL scale as a research & innovation policy tool, European Association of Research and Technology Organizations recommendations. Obtido em 12 de março de 2022. Website: <https://docplayer.net/21819778-The-trl-scale-as-a-research-innovation-policy-tool-earto-recommendations.html>
- El-Gamal T (2018) Examining an Egyptian irrigation network using MASSCOTE approach. *J Soil Sci Agric Eng* 9: 103–110. <https://doi.org/10.21608/JSSAE.2018.35577>
- Expósito A, Berbel J (2017) Agricultural irrigation water use in a closed basin and the impacts on water productivity: The case of the Guadalquivir River Basin (Southern Spain). *Water (Switzerland)* 9: 136. <https://doi.org/10.3390/w9020136>
- FAO (2018) Concept note, The FAO International Symposium on Agricultural Innovation for Family Farmers: Unlocking the potential of agricultural innovation to achieve the Sustainable Development Goals. Rome, 21-23 November. <https://www.fao.org/3/BU658en/bu658en.pdf>
- Fernández JE, Alcon F, Diaz-Espejo A, Hernandez-Santana V, Cuevas MV (2020) Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high-density olive tree orchard. *Agric Water Manag* 237: 106074. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106074>
- Ferreira A, Rolim J, Paredes P, Cameira MR (2023) Methodologies for water accounting at the collective irrigation system scale aiming at optimizing water productivity. *Agronomy* 13: 1938. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071938>
- GEE (2022) Platform Google Earth engine. Obtido em 15 de maio de 2023. Website: <https://code.earthengine.google.com/>
- Grassini P, Yang H, Irmak S, Thorburn J, Burr C e Cassman KG (2011) High-yield irrigated maize in the Western US Corn Belt: II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Res* 120: 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.013>
- IDAE (2008) Protocolo de auditoria energética en comunidades de regantes. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, Spain.
- INE (2024) Base de dados sobre agricultura. Instituto Nacional de Estatística. Obtido em 12 de março de 2022.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15: 259–263.
- Kourgialas NN, Psarras G, Morianou G, Pisinaras V, Koubouris G, Digalaki N et al (2022) Good agricultural practices related to water and soil as a means of adaptation of Mediterranean olive growing to extreme climate-water conditions. *Sustain (Switzerland)* 14: 13673. <https://doi.org/10.3390/su142013673>
- Lima FA, Córcoles JI, Tarjuelo JM, Martínez-Romero A (2019) Model for management of an on-demand irrigation network based on irrigation scheduling of crops to minimize energy use (Part II): Financial impact of

- regulated deficit irrigation. *Agric Water Manag* 215: 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.006>
- Lorite IJ, Mateos L, Fereres E (2004) Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment: II. Variability among crops and farmers. *Irrig Sci* 23: 85–92. <https://doi.org/10.1007/s00271-004-0096-8>
- Lorite IJ, García-Vila M, Carmona MA, Santos C, Soriano MA (2012) Assessment of the Irrigation Advisory Services' recommendations and farmers' irrigation management: a case study in Southern Spain. *Water Resour Manag* 26: 2397–2419. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0023-3>
- Lozano D, Mateos L (2008) Usefulness and limitations of decision support systems for improving irrigation scheme management. *Agric Water Manag* 95: 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.003>
- Marra FP, Marino G, Marchese A, Caruso T (2016) Effects of different irrigation regimes on a super-high-density olive grove cv. “Arbequina”: Vegetative growth, productivity and polyphenol content of the oil. *Irrig Sci* 34:313–325. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0505-9>
- Mohammed, AT, Irmak, S (2022) Maize response to coupled irrigation and nitrogen fertilization under center pivot, subsurface drip and surface (furrow) irrigation: Soil-water dynamics and crop evapotranspiration. *Agric Water Manag* 267: 107634. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2022.107634>
- Moreno MA, Ortega JF, Córcoles JJ, Martínez A, Tarjuelo JM (2010) Energy analysis of irrigation delivery systems: Monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrig Sci* 28(5): 445–460. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0206-8>
- Moreno-Pérez MF, Roldán-Cañas J (2013) Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Córdoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agric Water Manag* 120:98–106. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.020>
- Norton GW, Alwang J (2020) Changes in agricultural extension and implications for farmer adoption of new practices. *Appl Econ Perspect Policy* 42:8-20. <https://doi.org/10.1002/aapp.13008>
- OECD/Eurostat (2005) Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data. 3rd ed. Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD, Paris, 164 p. <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>
- Paredes P, Rodrigues GC, Alves I, Pereira LS (2014) Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agric Water Manag* 135:27–39. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.010>
- Pereira LS, Cordery I, Iacovides I (2012) Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and management. *Agric Water Manag* 108:39–51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>
- Pereira LS, Paredes P, Hunsaker DJ, López-Urrea R, Shad ZM (2021a) Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to

- the FAO56 crop water requirements method. *Agric Water Manag* 243:106466. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106466>
- Pereira LS, Paredes P, López-Urrea R, Hunsaker D, Mota M, Shad ZM (2021b) Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agric Water Manag* 243:106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>
- Rocamora C, Vera J, Abadía R (2013) Strategy for efficient energy management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. *Irrig Sci* 31:1139-1158.
- Rodrigues GC (2022) Sistemas agrícolas de regadio no aproveitamento hidroagrícola do Lucefecit: Eficiência do uso da água e da energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa. 117 p. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/29551>
- Rodrigues GC, Carvalho S, Paredes P, Silva FG, Pereira LS (2010) Relating energy performance and water productivity of sprinkler irrigated maize, wheat and sunflower under limited water availability. *Biosyst Eng* 106:195–204. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.03.011>
- Rodríguez Díaz JA, Camacho Poyato E, Blanco Pérez M (2011) Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Southern Spain. *J Irrig Drain Eng* 137: 644–650. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000338](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000338)
- Rodríguez Díaz JA, Camacho Poyato E, López Luque R, Pérez Urrestarazu L (2008) Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. *Agric Syst* 96:250–259. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.07.010>
- Salgado R, Salvatierra JI, Mitre C, Prieto GD, Angella GA, Arriaza M, Mateos L (2021) Irrigation management transfer: The experience of the Río Dulce Irrigation Scheme, Argentina. *Irrig Drain* 70: 845–860. <https://doi.org/10.1002/ird.2572>
- Salvador R, Martínez-Cob A, Caveró J, Playán E (2011) Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agric Water Manag* 98: 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.003>
- Santos SJS (2023) Rega de precisão do olival com o recurso a imagens Sentinel-2. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 92 p.
- Segovia-Cardozo DA, Rodríguez-Sinobas L, Zobelzu S (2019) Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero River basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images. *Agric Water Manag* 212: 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.042>
- SNIS (2024) Sistema Nacional de Informação de Solos. Obtido em 17 de outubro de 2024. Website: <https://snisolos.dgadr.gov.pt/#undefined>.
- Soto-García M, Martínez-Alvarez V, García-Bastida P A, Alcon F, Martín-Gorriz B (2013) Effect of water scarcity and modernization on the performance of

- irrigation districts in south-eastern Spain. *Agric Water Manag* 124: 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.019>
- Souissi, A, Chebil, A, Mtimet, N, Thabet, C, (2019) Virtual water flows and water value in Tunisia: The case of wheat and olive. *Arab J Geosci*.12:1-10. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4589-4>
- Taylor SP (2017) What is innovation? A study of the definitions, academic models and applicability of innovation to an example of social housing in England. *Open J Soc Sci* 5:128–146. <http://www.scirp.org/journal/jss>
- Teixeira JL, Pereira LS (1992) ISAREG, an irrigation scheduling simulation model. *ICID Bull* 41: 29–48.
- Tushman ML, O'Reilly CA (1997) *Winning through innovation: A practical guide to leading organizational change and renewal*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Wongtragoon U, Trisup K, Suwanmaneepong S (2017) Evaluating the irrigation efficiency using Rapid Appraisal Process Technique (RAP) in a large-scale irrigation: case study of Mae Lao operation and maintenance project and Chiang Rai irrigation project, Thailand. *Int J Agric Technol* 13(7.2): 1821–1834. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183304177>
- Zapata N, Bahddou S, Latorre B, Playán E (2023) A simulation tool to optimize the management of modernized infrastructures in collective and on-farm irrigation systems. *Agric Water Manag* 284:108337. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108337>
- Zema DA, Nicotra A, Tamburino V, Zimbone SM (2015) Performance assessment of collective irrigation in Water Users' Associations Of Calabria (Southern Italy). *Irrig Drain* 64(3): 314–325. <https://doi.org/10.1002/ird.1902>
- Zema DA, Nicotra A, Zimbone SM (2018) Diagnosis and Improvement of the Collective Irrigation Drain Services in Water Users' Associations of Calabria (Southern Italy). *Irrig Drain* 67(5): 629–644. <https://doi.org/10.1002/ird.2276>