

**X Simpósio em Gestão no Agronegócio -
*Ecoinovação no agronegócio: segurança hídrica e
energética para um futuro sustentável***

Workshop:

**Indicadores de Desempenho para o
Gerenciamento de Água na Agricultura**

Formadores:

José Manuel Gonçalves (jmmg@esac.pt)

Teresa Maria Vasconcelos (tvasconcelos@esac.pt)

***Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de
Coimbra, Portugal*** (www.esac.pt)

Sumário

- I. Avaliação de desempenho de sistemas de uso de água em agricultura. Indicadores de desempenho em regadio**
- II. Estudos de caso de aplicação de indicadores de desempenho em regadio**
 - 1. Gestão da água em agricultura**
 - 2. Uso da água e energia em aproveitamentos hidroagrícolas**
 - 3. Modernização de aproveitamento hidroagrícola em rede gravítica**
 - 4. Comparação da microrrega com rega de superfície na cultura do algodão**
 - 5. Comparação da microrrega com rega por aspersão na cultura do milho**
- III. Indicadores de desempenho agroambientais**
 - 1. Biodiversidade**

I. Avaliação de desempenho de sistemas de uso de água em agricultura. Indicadores de desempenho em regadio

Avaliação de desempenho de sistemas de uso de água em agricultura

Objetivo de apreciar a eficiência e eficácia do uso dos variados recursos aplicados no processo de produção agrícola

- Fornece feedback à gestão
- Permite comparar com sistemas similares
- Identifica problemas e potencialidades de desenvolvimento

Tipos de avaliação de desempenho

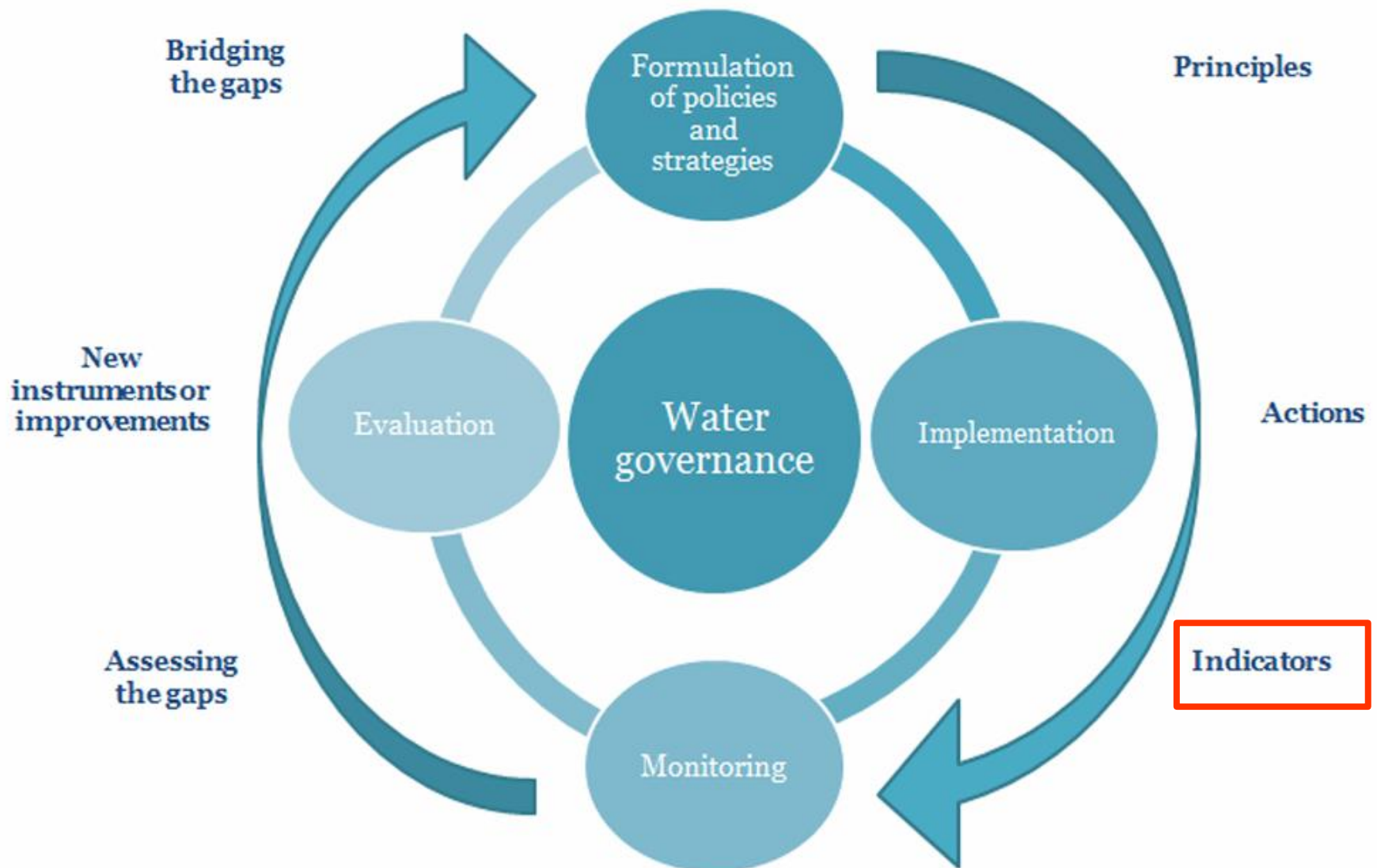
Classes de avaliação de desempenho	Definição
Responsabilidade	Avaliar o desempenho dos gestores dos aproveitamentos hidroagrícolas
Diagnóstico	Motivos específicos do desempenho para que as melhorias sejam feitas ou os níveis atuais sejam mantidos
Intervenção	Impacto da reabilitação ou transformação de um sistema
Operacional	Monitorização e avaliação de desempenho diários e sazonal
Sustentabilidade	Examinar os impactos do uso dos recursos a longo prazo

Bos, M. G., Burton, M. A. & Molden, D. J. (Eds.) (2005) Irrigation and Drainage Performance Assessment- Practical Guidelines. Wallingford, UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851999678.0000>

Indicadores de desempenho - medidas quantitativas do desempenho de um sistema, que revelam informação sobre os processos envolvidos, sob a forma de um valor ou parâmetro

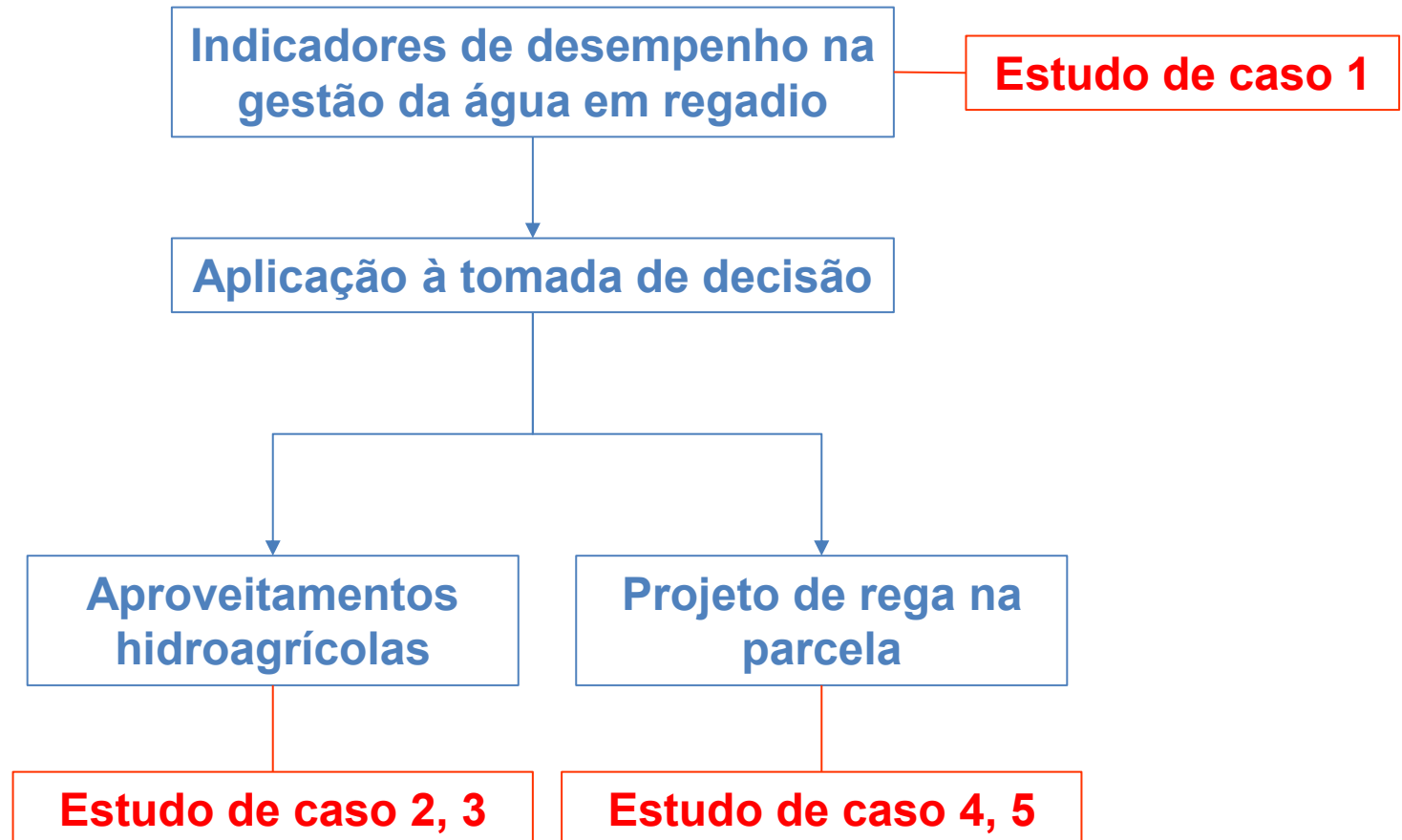
- Descrevem variados aspetos dos sistemas de rega (inputs, processos, outputs, impactes, etc.), reduzindo a índices simples uma grande quantidade de informação, por vezes complexa.
- Informam os decisores de diferentes dimensões do funcionamento do sistema.
- Referem-se a diferentes escalas espaciais do uso da água: parcela, exploração agrícola, aproveitamentos hidroagrícolas e bacia hidrográfica.

Figure 2. The role of Indicators in the Water Governance Cycle



II. Estudos de caso de aplicação de indicadores de desempenho em regadio

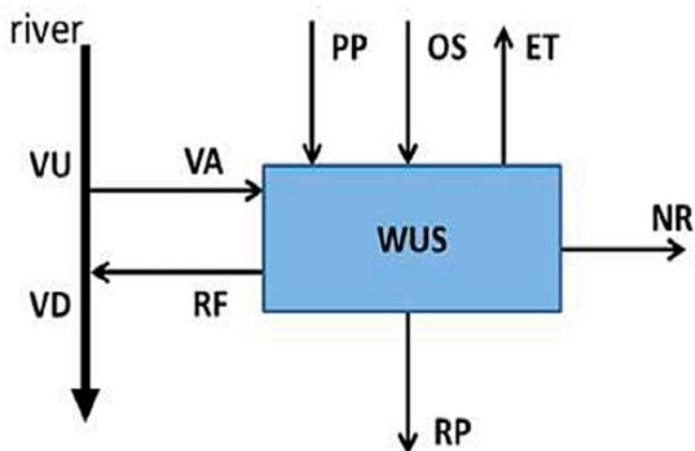
Indicadores de desempenho na agricultura de regadio



Estudo de caso 1

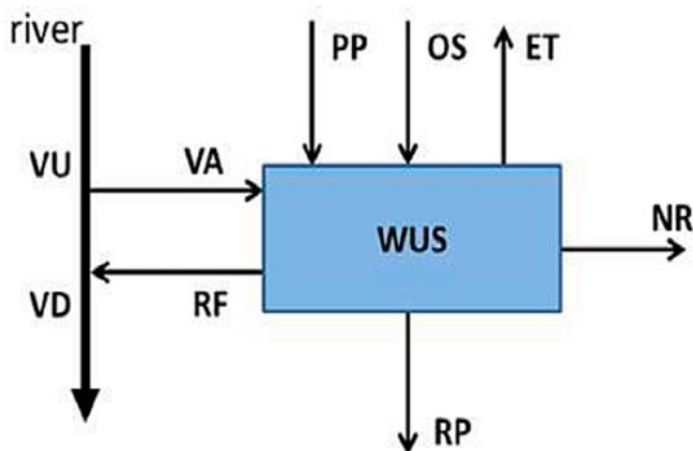
Indicadores de desempenho para gestão da água em regadio

Ahmad, M.T., Haie, N., Gonçalves, J.M., Pinho, J., Yen, H., Yakubu, M.L. et al. (2024) Performance assessment and indicators for agricultural water management—A review. *Water and Environment Journal*, 1–20.
<https://doi.org/10.1111/wej.12913>



Variables	Description
ET	Evapotranspiration
NR	Non-reusable
OS	Water from other sources
PP	Total precipitation
RF	Return flow
RP	Potential return (does not return to the main source)
VA	Abstracted/applied water from the main source
VD	Volume of water downstream after return flow in the main source
VU	Volume of water upstream before abstraction in the main source

Indicadores de desempenho	Significado
CE - Eficiência	Relação do volume usado na rega e a procura de água da cultura
WP - Produtividade da água	Avalia volume de água usada para produzir unidade de produto
RIS - Fornecimento relativo de rega	Relação dos volumes de água usada na rega e a respetiva procura
RWS - Abastecimento relativo de água	Avalia o desempenho do uso de água em regadio
P_E - Equidade	Estima o fluxo de água real para cada área regada em várias escalas espaciais
P_A - Adequabilidade	Representa o nível em que a água fornecida é em quantidade suficiente para as necessidades das culturas
RET - Evapotranspiração relativa	Mostra a diminuição relativa da evapotranspiração, revelando áreas onde há escassez de água (stress hídrico)
DF - Fração de depleção	Relação da ETc com o total da água usada, permitindo rastrear a distribuição da água num aproveitamento
D_p - Confiabilidade	Expressa a medida em que a aplicação de água é feita de acordo com a procura planeada



Variables	Description
ET	Evapotranspiration
NR	Non-reusable
OS	Water from other sources
PP	Total precipitation
RF	Return flow
RP	Potential return (does not return to the main source)
VA	Abstracted/applied water from the main source
VD	Volume of water downstream after return flow in the main source
VU	Volume of water upstream before abstraction in the main source

$$CE = \frac{ET}{VA}$$

$$WP = \frac{Y}{ET_c}$$

$$RIS = \frac{\text{irrigation supply}}{\text{irrigation demand}}$$

$$RWS = \frac{\text{precipitation} + \text{irrigation supply}}{ET_c}$$

$$P_E = \frac{1}{T} \sum_T CV_R \left[\frac{Q_D}{Q_R} \right]$$

$$P_A = \frac{1}{T} \sum_T \left[\frac{1}{R} \sum_R (P_a) \right], P_a = \frac{Q_D}{Q_R} \leq 1$$

$$RET = \frac{\text{actual evapotranspiration } (ET_c)}{\text{potential evapotranspiration } (ET_p)}$$

$$DF = \frac{ET_c}{V + P_g}$$

$$D_P = 1 - 1/R \sum^R C_{VT} (Q_D/Q_R) ; Q_D \leq Q_R$$

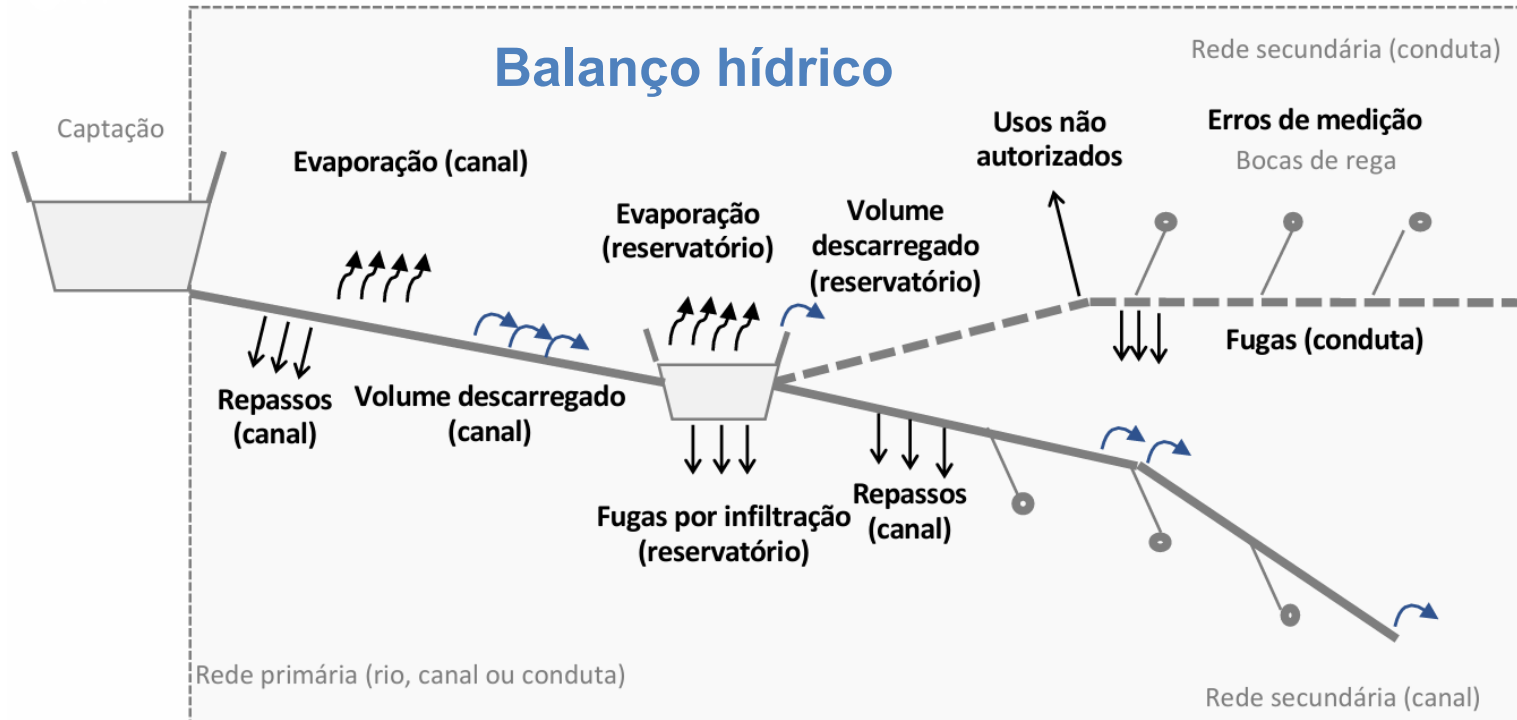
Estudo de caso 2

Avaliação da eficiência do uso da água e da energia em aproveitamentos hidroagrícolas

<http://www.fenareg.pt/agir-sistema-de-avaliacao-da-eficiencia-do-uso-da-agua-e-da-energia-em-aproveitamentos-hidroagricolas/>

Loureiro, D., Alegre, H., Moreira, M., Chibeles, C., Sousa, G., Matos, M., Cordeiro, D., Arranja, C. (2020) Proposta de sistema de avaliação do desempenho no uso da água e de energia em aproveitamentos hidroagrícolas. Artigo publicado para o VIII Congresso Nacional de Rega e Drenagem.

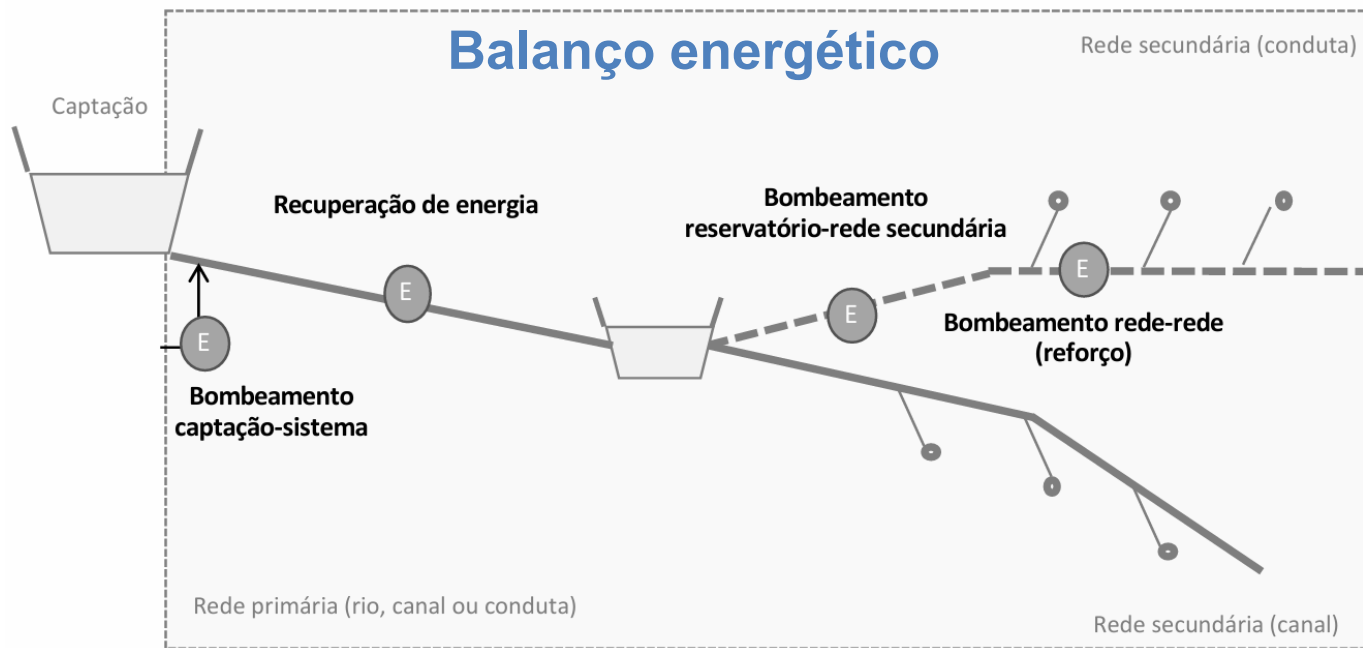
Balanço hídrico



Componentes de perdas na rede primária e secundária

Água captada	Água entrada no Sistema corrigida dos erros sistemáticos (*)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido	Água faturada	
Água importada				Consumo faturado não medido		
Água entrada por precipitação em canais e reservatórios		Perdas de água	Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada	
Água entrada por afluentes a reservatórios de compensação e controle				Consumo não faturado não medido (*)		
Contribuição de reservatórios de compensação e controle			Perdas por evaporação			Perdas por evaporação em canais (*)
						Perdas por evaporação em reservatórios de compensação e controle (*)
			Perdas aparentes			Usos não autorizados
						Erros de medição
						Erros na estimativa do consumo não medido
						Erros na aquisição, transmissão e tratamento dos dados
Perdas reais		Fugas em condutas				
		Repassos em canais (*)				
		Descargas em canais (*)				
		Repassos em reservatórios de compensação e controle				
			Descargas em reservatórios de compensação e controle			

Balço energético



Componente de bombagem e recuperação de energia na rede primária e secundária

Energia potencial gravítica	Energia para bombeamento	Energia fornecida ao sistema, corrigida dos erros sistemáticos	Energia associada a consumo autorizado	Energia entregue aos utilizadores	Energia mínima requerida
				Energia dissipada associada ao consumo autorizado	Energia dissipada na rede (traçado e operação)
				Energia recuperada	Energia dissipada em turbomáquinas
					Associada a consumo autorizado
			Energia associada a perdas de água	Energia associada a perdas de água sem incluir energia recuperada	Associada a perdas de água

OBJETIVOS	CRITÉRIOS	MÉTRICAS
1. Sustentabilidade da prestação do serviço	1.1 Sustentabilidade económico-financeira	AH01 – Cobertura de gastos totais (%)
		AH02 – Adesão ao serviço na área beneficiada (%)
		AH03 – Adesão total (%)
		AH04 – Água não faturada (%)
	1.2 Sustentabilidade infraestrutural	AH05 – Índice de valor da rede (-)
		AH06 – Índice de valor das instalações elevatórias (-)
		AH07 – Avarias na rede [nº/(100km.ano)]
		AH08 – Reabilitação da rede (%/ano)
		AH09 – Perdas de água por repassos em canais (l/(m2.dia))
		AH10 – Perdas de água por fugas em condutas (m3/(km.dia))
	1.3 Sustentabilidade operacional e de manutenção	AH11 – Perdas de água totais por comprimento de rede [m3/(km.dia)]
		AH12 – Perdas de água em descargas (%)
		AH13 – Avarias em órgãos de controlo, limpeza e medição [nº/(100km.ano)]
		AH14 – Avarias em instalações elevatórias (nº/(instalação.ano))
		AH15 – Modernização da rede (%)
2. Sustentabilidade energética	2.1 Eficiência no consumo de energia	AH16 – Eficiência energética das instalações elevatórias (%)
		AH17 – Índice de energia fornecida (-)
3. Sustentabilidade no uso dos recursos hídricos	3.1 Eficiência no uso da água	AH18 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)
4. Adequação do serviço prestado aos regantes	4.1 Acessibilidade do serviço	AH19 – Capacidade própria de fornecimento de água (-)
		AH20 – Acessibilidade económica (%)
	4.2 Qualidade do serviço	AH21 – Falhas no serviço [nº/(1000 tomadas de rega. ano)]
		AH22 – Área beneficiada com serviço a pedido (%)

9 | MATRIZ DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO

NOME DO INDICADOR	DEFINIÇÃO	REFERÊNCIA
AH01 – Cobertura de gastos totais (%)	Rácio entre os rendimentos e ganhos totais e os gastos totais	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH02 – Adesão ao serviço na área beneficiada (%)	Percentagem da área beneficiada que efetivamente utilizou serviço durante a campanha de rega	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH03 – Adesão total (%)	Rácio entre a área regada total durante a campanha de rega e a área beneficiada	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH04 – Água não faturada (%)	Percentagem da água entrada que não foi faturada durante a campanha de rega e no ano em análise	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH05 – Índice de valor da rede (-)	Rácio entre o valor atual da rede e o respetivo valor de substituição	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH06 – Índice de valor das instalações elevatórias (-)	Rácio entre o valor atual das instalações elevatórias e o respetivo valor de substituição	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH07 – Avarias na rede [n°/(100km.ano)]	Número de avarias em canais e condutas por 100km de rede	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH08 – Reabilitação da rede (%/ano)	Percentagem média anual de canais e condutas que foram reabilitados nos últimos 5 anos relativamente ao ano em análise	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH09 – Perdas de água por repassos em canais (l/(m².dia))	Volume de perdas de água por repassos em canais durante a campanha	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH10 – Perdas de água por fugas em condutas (m³/(km.dia))	Volume de perdas de água por fugas em condutas durante a campanha	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH11 – Perdas de água totais por comprimento de rede [m³/(km.dia)]	Volume de perdas totais de água durante a campanha por comprimento de rede	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH12 – Perdas de água em descargas (%)	Volume de perdas de água em descargas em canais e reservatórios durante a campanha por volume de água entrada no sistema	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH13 – Avarias em órgãos de controlo, limpeza e medição [n°/(100km.ano)]	Número de avarias em órgãos de medição, controlo e limpeza por comprimento de rede	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH14 – Avarias em instalações elevatórias (n°/(instalação.ano))	Número de avarias por instalação elevatória	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH15 – Modernização da rede (%)	Percentagem da área beneficiada modernizada	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH16 – Eficiência energética das instalações elevatórias (%)	Fração de energia fornecida às instalações elevatórias que é transferida ao escoamento	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH17 – Índice de energia fornecida (-)	Rácio entre a energia fornecida ao sistema (gravítica e de bombeamento) e a energia mínima teoricamente necessária para garantir o abastecimento aos regantes, durante a campanha	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH18 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)	Percentagem da água entrada que foi devida a perdas físicas ao longo do sistema durante a campanha	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH19 – Capacidade própria de fornecimento de água (-)	Rácio entre o volume de água armazenado em albufeira disponível para uso pelo aproveitamento Hidroagrícola e o consumo autorizado durante a campanha	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH20 – Acessibilidade económica (%)	Peso do encargo médio com o serviço de abastecimento de água no rendimento médio das culturas	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH21 – Falhas no serviço [n°/(1000 tomadas de rega.ano)]	Número de interrupções no serviço com duração superior a 1 dia por 1000 tomadas de rega	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório
AH22 – Área beneficiada com serviço a pedido (%)	Percentagem da área beneficiada que não necessita de antecipar o pedido de fornecimento	● Bom ● Mediano ● Insatisfatório

Estudo de caso 3

Modernização de aproveitamento hidroagrícola em rede gravítica

Gonçalves J.M., Pereira L.S., Fang S.X., Dong B. 2007. Modelling and multicriteria analysis of water saving scenarios for an irrigation district in the upper Yellow River Basin. *Agricultural Water Management* 94 (1-3): 93-108. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.08.011

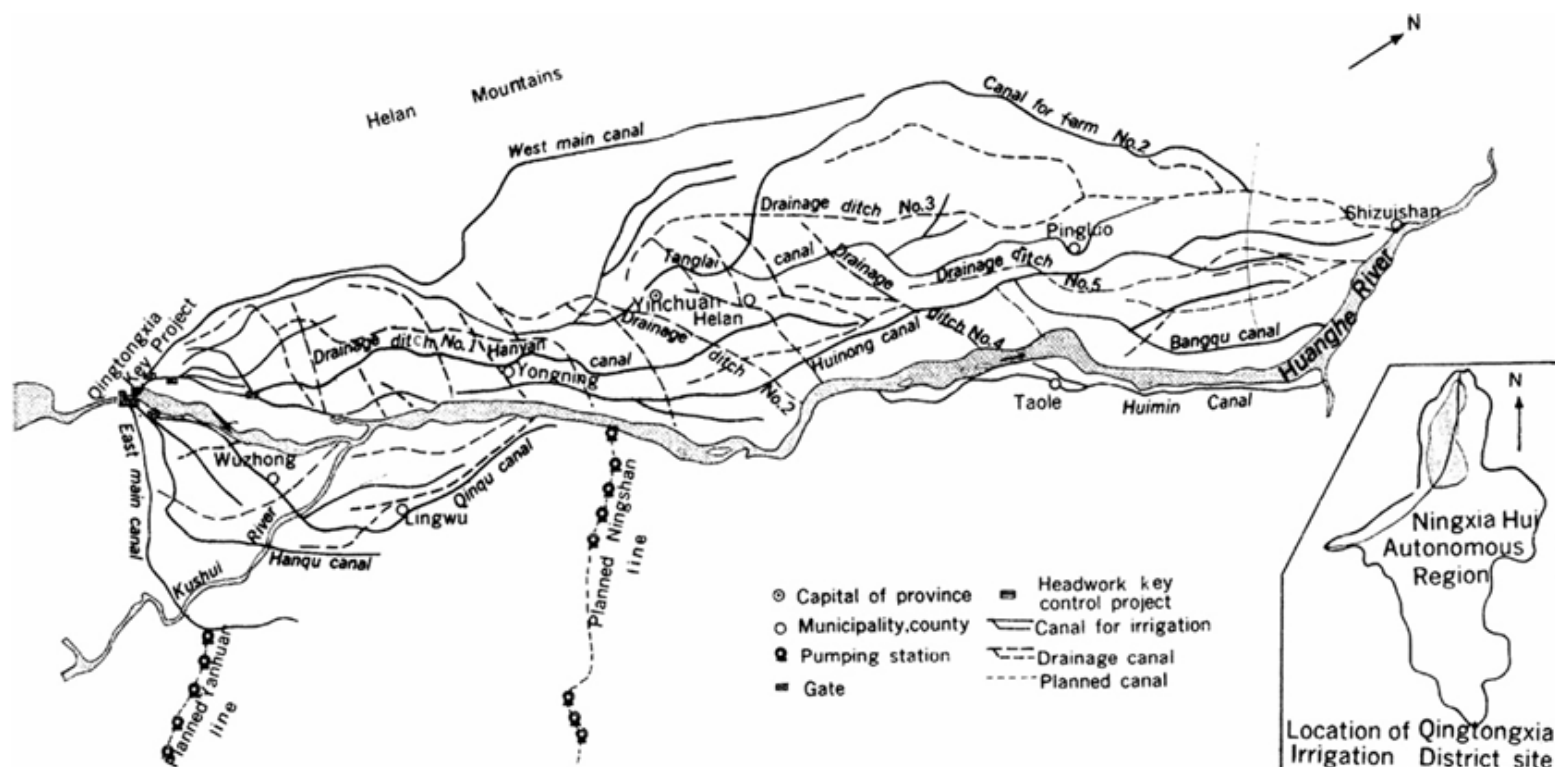


Fig. 1 – The Qingtongxia Irrigation District and the Huinong canal, Ningxia.

Table 1 – Irrigated areas (ha) by county in HID (2000)

County	Rice	Wheat/maize	Flax	Sorghum	Beet	Other crops	Tree crops	Total
Yongning	800	900	60	0	0	33	180	1,973
Yinchuan	3067	3,453	240	0	0	120	147	7,027
Helan	3067	3,427	240	0	0	133	180	7,047
Pingluo	1167	23,853	1940	1100	2920	980	1953	33,913
Huinong	0	18,613	1513	867	2120	887	440	24,440
Total	8101	50,246	3933	1967	5040	2153	2900	74,400

Appendix A. Performance indicators: definition and units

I_1 = farm irrigation cost per unit irrigation area	$I_1 = C_{fw} + C_{fl}/A$	¥/ha
I_2 = farm irrigation cost per unit irrigation volume	$I_2 = C_{fw} + C_{fl}/V_{ft}$	¥/m ³
I_3 = yield of cereals per unit irrigation area	$I_3 = Y_c/A$	kg/ha
I_4 = yield of cereals per unit irrigation volume	$I_4 = Y_c/V_{ft}$	kg/m ³
I_5 = gross product (GP) per irrigated area	$I_5 = GP/A$	¥/ha
I_6 = gross product per irrigation water volume	$I_6 = GP/V_{ft}$	¥/m ³
I_7 = gross margin per unit irrigation area	$I_7 = GM/A$	¥/ha
I_8 = gross margin per unit irrigation water volume	$I_8 = GM/V_{ft}$	¥/m ³
I_9 = total water cost per unit yield	$I_9 = C_{fwt}/Y_c$	¥/kg
I_{10} = total water cost per water used	$I_{10} = C_{fwt}/V_{ft}$	¥/m ³
I_{11} = total water cost per gross product	$I_{11} = C_{fw}/GP \times 100$	%
I_{12} = ratio total water cost to yield cost	$I_{12} = C_{fwt}/C_{fyc} \times 100$	%
I_{13} = land levelling cost per irrigation area	$I_{13} = C_{landlev}/A$	¥/ha
I_{14} = land levelling cost per GP	$I_{14} = C_{landlev}/GP \times 100$	%
I_{15} = fraction of runoff and percolation	$I_{15} = V_{frp}/V_{ft} \times 100$	%
I_{16} = application efficiency	$I_{16} = V_{fn}/V_{ft} \times 100$	%
I_{17} = farm water saving	$I_{17} = V_{ft}^{pre} - V_{ft}^{imp}/V_{ft}^{pre} \times 100$	%
I_{18} = soil improvement (salinity)	$I_{18} = A^{imp} - A^{pre}/A^{pre} \times 100$	%
I_{19} = fraction of saline soils	$I_{19} = A_{salt}^{imp}/A^{pre} \times 100$	%
I_{20} = relative yield improvement	$I_{20} = Y_c^{imp} - Y_c^{pre}/Y_c^{pre}$	%
I_{21} = relative GP improvement	$I_{21} = GP^{imp} - GP^{pre}/GP^{pre} \times 100$	%
I_{22} = ratio delivery cost to water delivered	$I_{22} = C_{dwt}/V_{dt}$	¥/m ³
I_{23} = ratio runoff and percolation to volume delivered	$I_{23} = V_{drp}/V_{dt} \times 100$	%
I_{24} = delivery labour costs	$I_{24} = C_{dlb}^{imp} - C_{dlb}^{pre}/C_{dlb}^{pre} \times 100$	%
I_{25} = delivery lining costs	$I_{25} = C_{dli}/A$	¥/ha
I_{26} = total water savings	$I_{26} = V_{dt}^{pre} - V_{dt}^{imp}/V_{dt}^{pre} \times 100$	%
I_{27} = total irrigation cost per irrigation area	$I_{27} = C_{girrig}/A$	¥/ha
I_{28} = ratio irrigation cost to irrigation volume allocated	$I_{28} = C_{girrig}/V_{dt}$	¥/m ³
I_{29} = global system application efficiency	$I_{29} = V_{fn}/V_{dt} \times 100$	%
I_{30} = global water cost per total irrigation water allocated	$I_{30} = C_{gwater}/V_{dt}$	¥/m ³

Symbols: A, irrigated area; A_{salt} , saline soil area; C_{dlb} , delivery labour cost; C_{dli} , lining cost (annual); C_{dwt} , delivery water cost; C_{fl} , farm irrigation labour cost; $C_{landlev}$, land levelling cost; C_{fyc} , farm yield cost; C_{fw} , farm water cost; C_{fwt} , total farm water cost; C_{gw} , global irrigation cost; C_{gwater} , global water cost (total irrigation + drainage cost); GM, farm gross margin; GP, gross product; V_{drp} , delivery runoff, percolation and seepage losses; V_{dt} , total water allocated; V_{fn} , farm net water use; V_{frp} , farm runoff, percolation and seepage losses; V_{ft} , total farm water use; Y_c , yield of cereals.

Table 3 – Decision-making process for improved irrigation and water saving

	Decision-making scales	
	Farm system	Delivery system
Objectives	<ul style="list-style-type: none"> ■ Minimizing cost ■ Maximizing yield ■ Maximizing benefits ■ Minimizing salinization ■ Maximizing water savings 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Minimizing cost ■ Maximizing yield & benefits ■ Minimizing impact on drainage system ■ Maximizing social benefits (employment^a and farmers income)
Decision variables	(A) Field inflow (B) Field irrigation scheduling (C) Field levelling (D) Field rice intensity (I) Salinity control	(E) Frequency of non-used delivered water (F) Delivery branch lining (G) Delivery schedule (H) Delivery night runoff (I) Salinity control
Constraints	<ul style="list-style-type: none"> ■ Water cost ■ Land cultivated area ■ Land taxes ■ Agronomic field practices 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Canal system network ■ Maximum inlet discharge

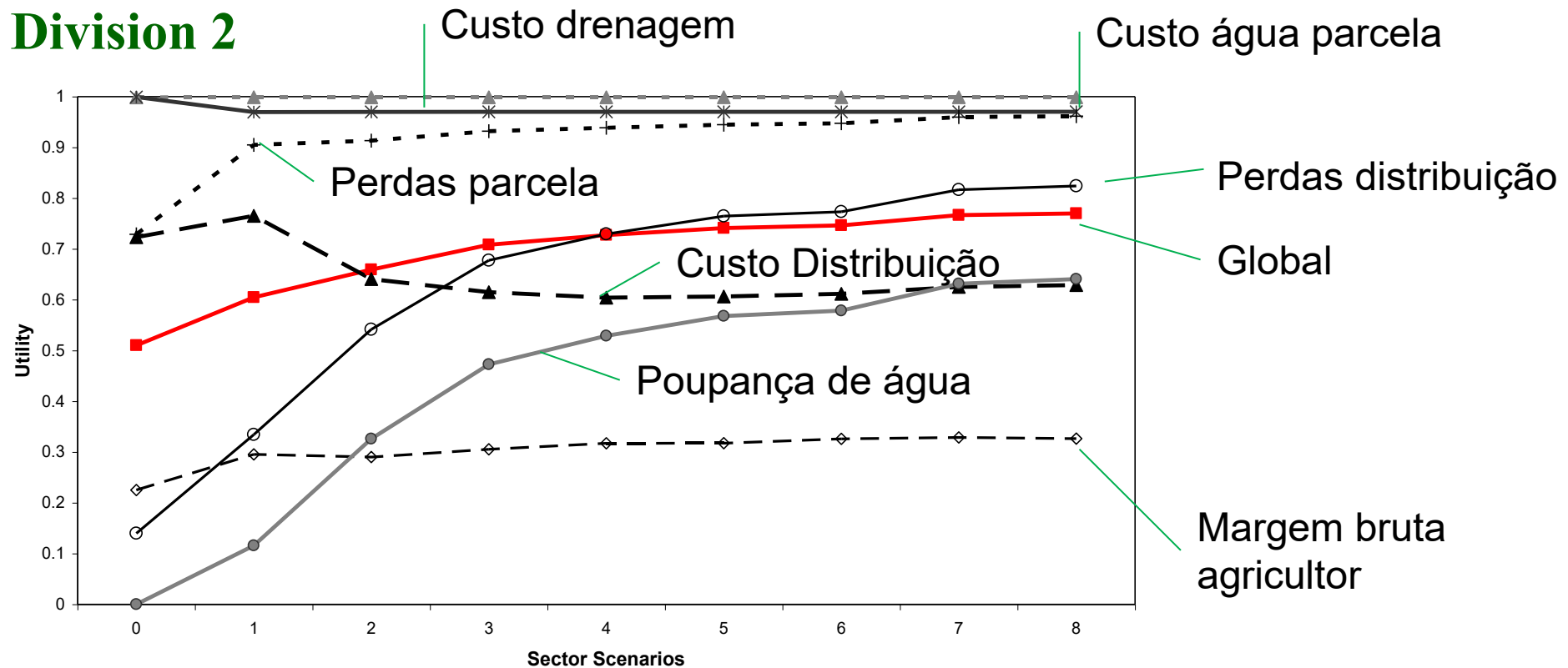
^a Objective considered at level of township influence area.

Table 7 – Criteria, attributes and weights used in the multicriteria analysis

Criteria	Attributes	Units	Weights (%)
Benefits	(1) Farm gross margin	Yuan/ha	12.5
Costs	(2) Farm total water cost	Yuan/ha	12.5
	(3) Delivery cost	Yuan/ha	12.5
	(4) Drainage cost	Yuan/ha	12.5
Environmental	(5) Water use	m ³ /ha	16.7
	(6) Farm water seepage and runoff	m ³ /ha	16.7
	(7) Delivery water seepage and runoff	m ³ /ha	16.7

Utilidades da situação de referência (0) e dos cenários de melhoria (1 to 8), para os vários critérios

Division 2



Estudo de caso 4

Comparação da microrrega com rega de superfície na cultura do algodão

Darouich H., Pedras C.M., Gonçalves J.M., Pereira L.S. 2014. Drip vs. surface irrigation: a comparison focusing water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton, Biosystems Engineering 122, 74-90.

Table 2 – Indicators computed through the performance analysis simulation.

Indicators	Equations
Emission uniformity, EU (%)	$EU = 100 \left[1.0 - \frac{1.27C_v}{\sqrt{np}} \right] \frac{q_n}{q_a}$
Uniformity coefficient UC (%)	$UC = 100 \left(1 - \frac{1}{nq_a} \sum_{i=1}^n q_i - q_a \right)$
Emitter flow variation, V_q	$V_q = \frac{q_x - q_n}{q_x}$
Pressure head variation, VH	$VH = \frac{H_x - H_n}{H_x}$
Relative application deficit (%)	$P_D = 100 \left(1 - \frac{q_{qd}}{q_a} \right)$
Potential for contamination estimated by the volume of water percolating out of the root zone (mm year^{-1})	$V_P = \frac{N_{se}}{10A_p} \left(\frac{t_r}{60} \right) N_r \sum_{j=1}^{n_{qe}} (q_i - q_a)$
Percentage area wetted, P_{aw} (%)	$P_{aw} = 100 \left(\frac{a_w}{a_p} \right)$
Gross daily irrigation depth, (mm day^{-1})	$I_g = \frac{I_n}{(EU/100)(1-LR)} T_r$
Gross water volume per tree (L day^{-1})	$G = I_g a_p$
Irrigation application time (min day^{-1})	$t_r = \frac{G}{npq_a} * 60$
Annual fixed cost (€ year^{-1})	$AFC = \left[\frac{T_{ac}(1+T_{ac})^{n_{pa}}}{(1+T_{ac})^{n_{pa}} - 1} \right] \sum_{k=1}^{n_{comp}} \left(IC_k + \sum_{j=1}^{n_{sub}} \frac{IC_k}{(1+T_{ac})^{(j \times v_k) - v_k}} \right)$
Operation and maintenance cost, (€ year^{-1})	$OMC = C_{en} + C_w + C_{op} + C_{ma}$
All symbols are defined in the nomenclature box.	

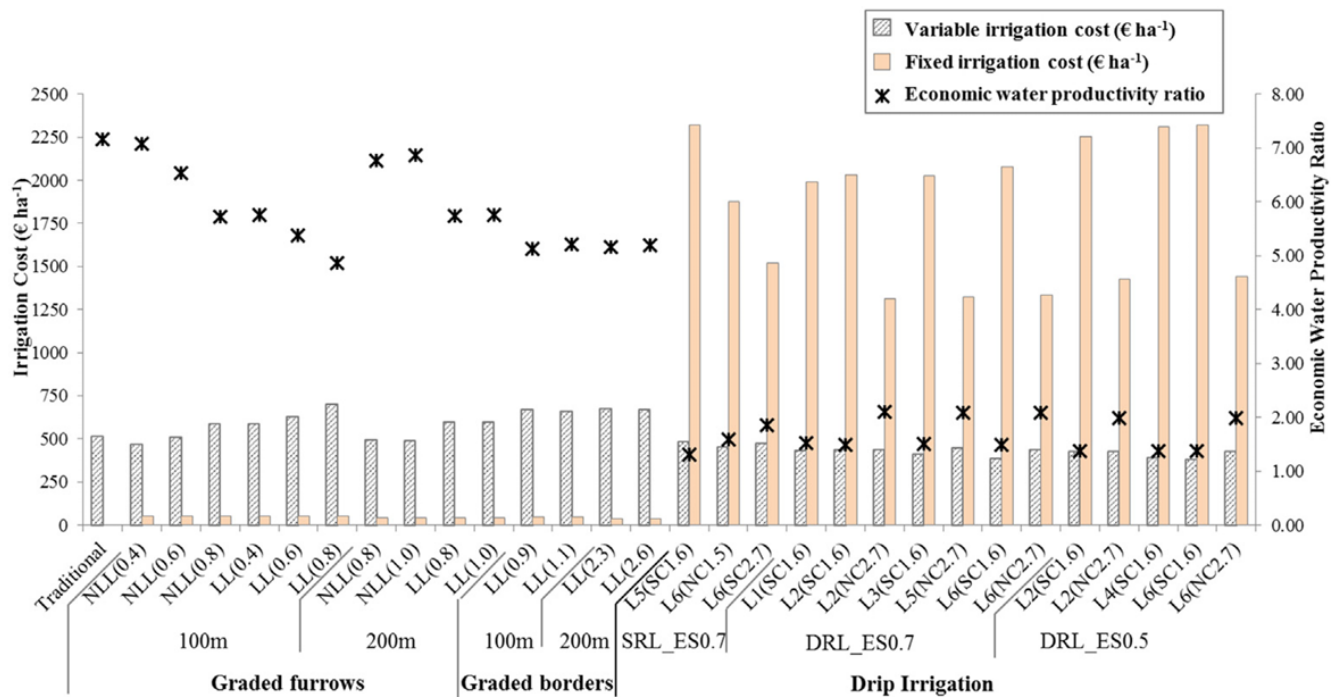
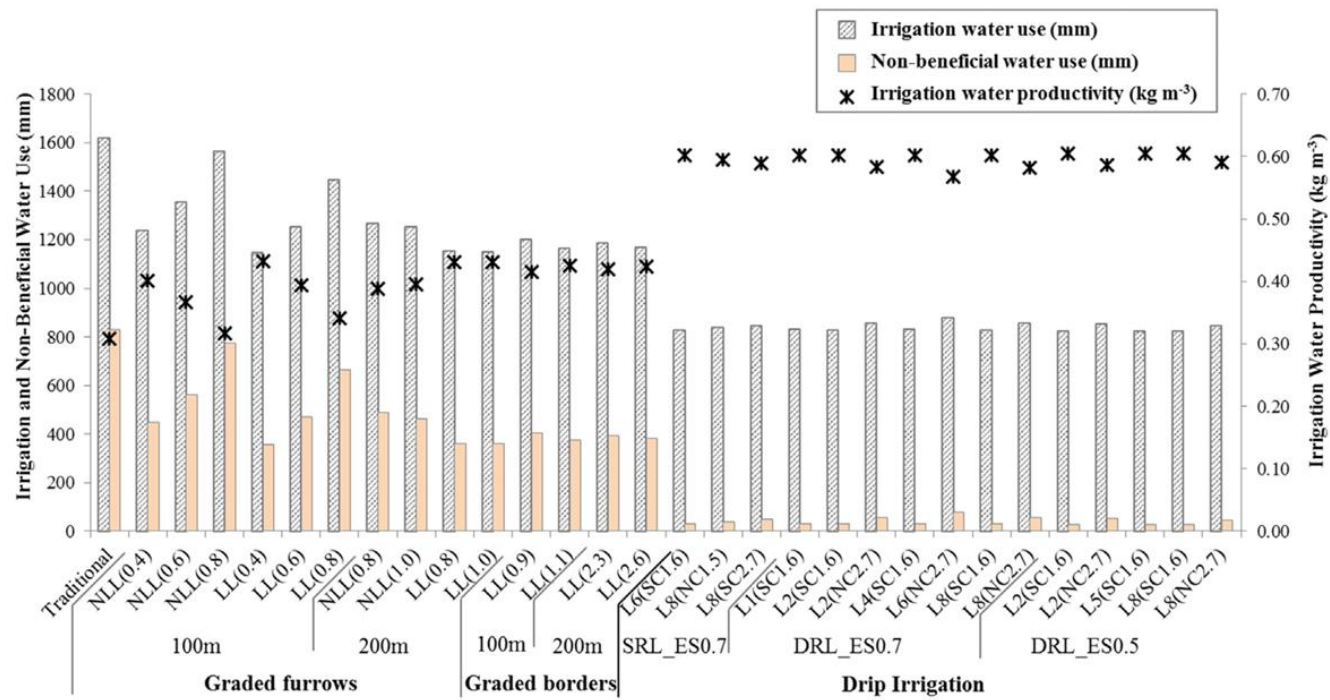
Table 1 – Irrigation scheduling considering the irrigation method and full and deficit irrigation.

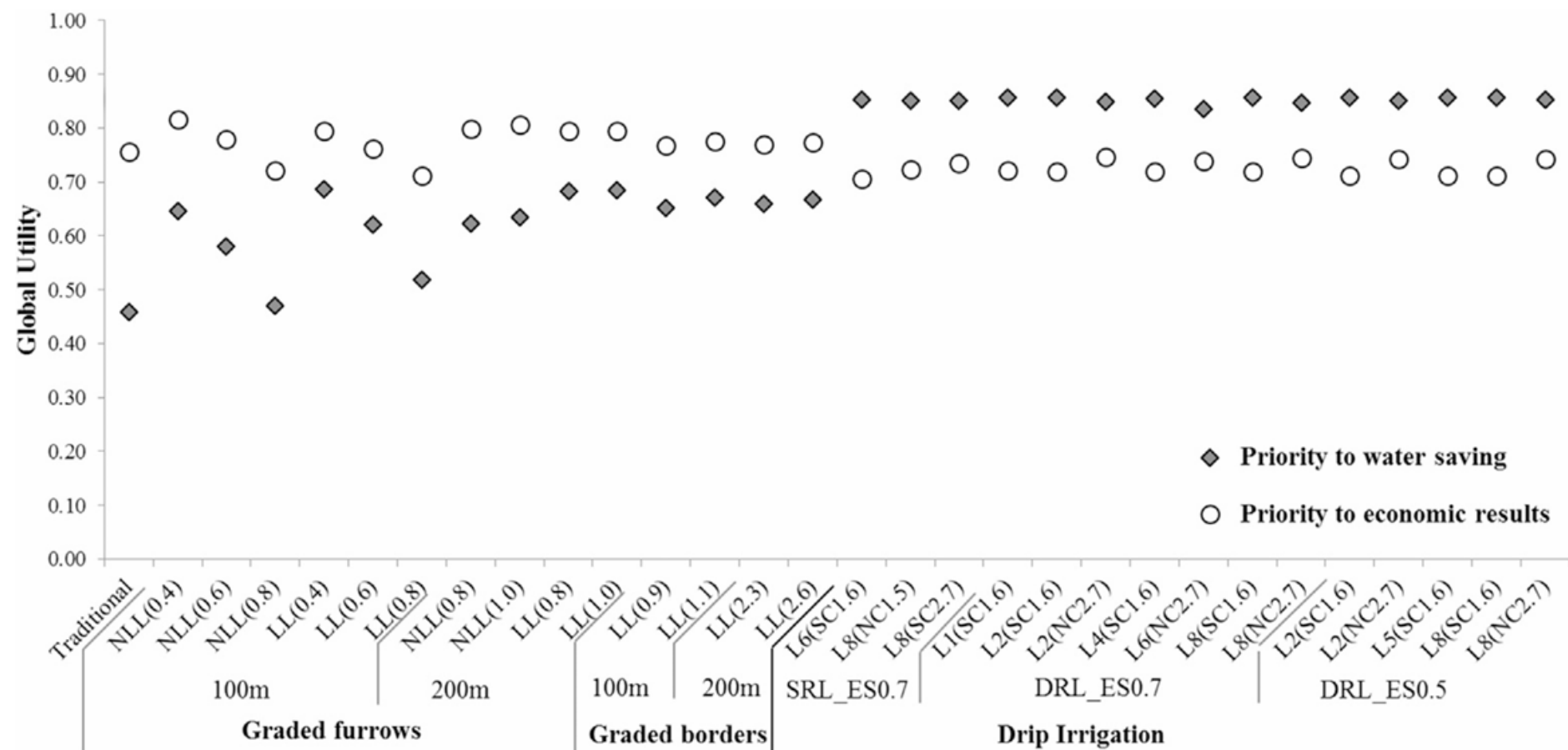
Irrigation method	Irrigation strategy	Number of irrigation events	Net irrigation depth per event (mm)	Net irrigation water use (mm)
Surface	Full	10	80	800
Drip	Full	32	25	800
Surface	Deficit	8	80	640
Drip	Deficit	26	25	640

Note: for double rows per lateral the same net irrigation depths as for single row per lateral were used but the time duration of irrigation was 1.21 times larger in average.

Table 4 – Criteria attributes, utility functions and attribute weights.

Criteria attributes (x)	Symbol	Units	Utility functions	Weights (%) assigned to attributes when considering		
				Water saving	Economic returns	
Economic				20	80	
Economic land productivity	ELP	€ ha ⁻¹	$U(x) = 0.27 \times 10^{-3} x$	5	15	
Economic water productivity	EWP	€ m ⁻³	$U(x) = 1.73 x$	4	15	
Economic water productivity ratio	EWPR	Ratio	$U(x) = 0.133 x$	5	20	
Fixed irrigation costs	FIC	€ ha ⁻¹	$U(x) = 1 - 0.17 \times 10^{-3} x$	3	15	
Variable irrigation costs	VIC	€ ha ⁻¹	$U(x) = 1 - 0.17 \times 10^{-3} x$	3	15	
Water saving				80	20	
Total irrigation water use	IWU	mm	$U(x) = 1.67 - 1.031 \times 10^{-3} x$	20	5	
Beneficial water use fraction	BWUF	Ratio	$U(x) = 1.0 x$	15	4	
Irrigation water productivity	WP _{Irrig}	kg m ⁻³	$U(x) = 1.27 x$	15	5	
Non-beneficial water use	Irrigation tail-end runoff	IRO	mm	$U(x) = 1 - 0.118 \times 10^{-2} x$	15	3
	Irrigation deep percolation	IDP	mm	$U(x) = 1 - 0.118 \times 10^{-2} x$	15	3





Estudo de caso 5

Comparação da microrrega com rega por aspersão na cultura do milho

Rodrigues G.C., Paredes P., Gonçalves J.M., Alves I., Pereira L.S.
2013. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agricultural Water Management* 126, 85-96.

Main characteristics and costs of farm irrigation systems.

System scenario	Irrigated area (ha)	Discharge (l h ⁻¹)	System pressure (kPa)	Emitter spacing (m)	DU (%)	Potential application efficiency (%)	Investment annuity (€ ha ⁻¹)	Maintenance annual cost (€ ha ⁻¹)
Center-pivot	5	80–270	150	Variable	83.5	83.5	345	35
	32	80–750	290		90.8	87.3	152	21
Set sprinkler	5	890	214	14 × 14	84.1	84.1	289	75
	32						270	70
Drip	5	1.10	118	0.2 × 1.4	93.8	93.8	867	120
	32						815	112

Allowed soil water depletion fractions (ASWD) relative to each treatment and crop stage.

Treatments	Imposed stress during maize development stages			
	Initial	Development	Mid	End
A	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$
B	ASWD = $1.2p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$
C	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $1.2p \times \text{TAW}$
D	ASWD = $1.2p \times \text{TAW}$	ASWD = $1.05p \times \text{TAW}$	ASWD = $p \times \text{TAW}$	ASWD = $1.2p \times \text{TAW}$

Criteria attributes, utility functions and criteria weights.

Attributes (<i>x</i>)	Units	Utility function	Weights (%) for the attributes in condition of		
			Balance among economics and water saving	Priority to water saving	Priority to economic results
Economic					
Economic land productivity	€ ha ⁻¹	$U(x)=0.22 \times 10^{-3}x$	14	5	22
Irrigation costs	€ m ⁻³	$U(x)=1-1.47x$	14	6	22
Total production costs	€ m ⁻³		14	6	22
Economic water productivity ratio	–	$U(x)=0.60x$	14	5	22
Water saving					
Beneficial water use fraction	–	$U(x)=1.02x$	14	26	4
Total water use	m ³ ha ⁻¹	$U(x)=5.41-0.82 \times 10^{-3}x$	15	26	4
Water productivity	kg m ⁻³	$U(x)=0.35x$	15	26	4

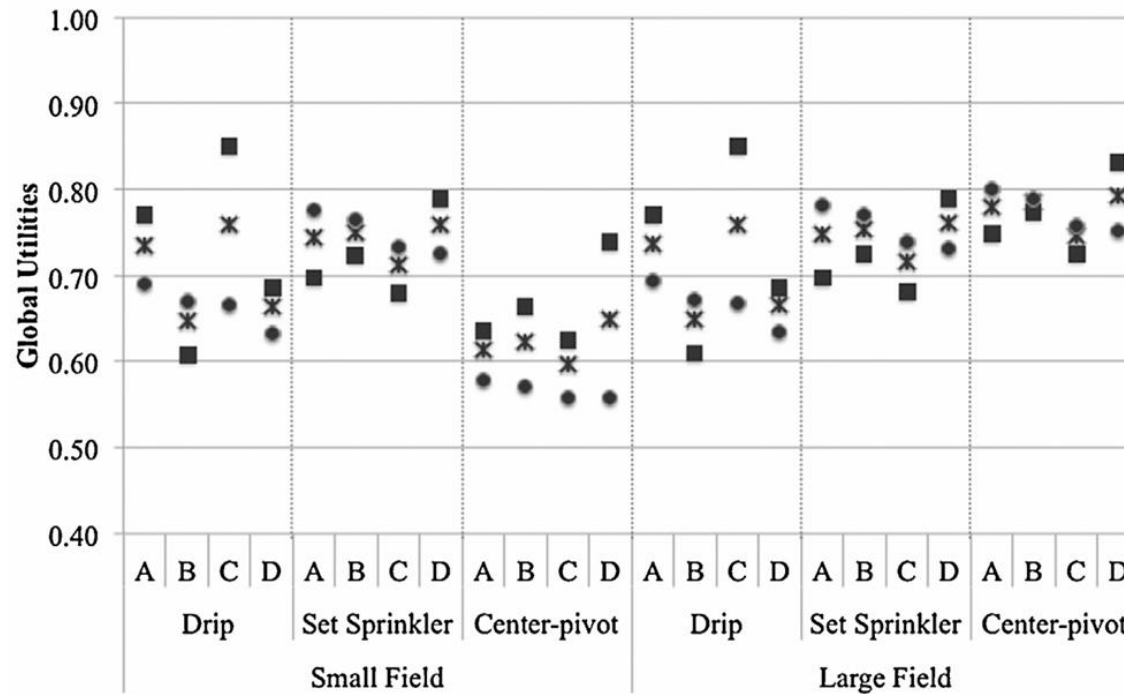


Fig. 3. Global utilities relative to the prioritization schemes adopted: water saving (■), farm economic returns (●), or a balance between both (X), when considering various deficit irrigation treatments A through D, drip and sprinkler systems as well as small and large fields.

The five best alternatives relatives to the considered prioritization scheme for both irrigation managements, field sizes and commodity price.

Priorities	Rank	Treatment	Field size				
			5 ha			32 ha	
			Irrigation system	Utility	Treatment	Irrigation system	Utility
Water saving	1	C	Drip	0.85	C	Drip	0.85
	2	D	Set sprinkler	0.79	D	Center-pivot	0.83
	3	A	Drip	0.77	D	Set sprinkler	0.79
	4	D	Center-pivot	0.74	B	Center-pivot	0.77
	5	B	Set sprinkler	0.72	A	Drip	0.77
Economic results	1	A	Set sprinkler	0.78	A	Center-pivot	0.80
	2	B	Set sprinkler	0.77	B	Center-pivot	0.79
	3	C	Set sprinkler	0.74	A	Set sprinkler	0.78
	4	D	Set sprinkler	0.73	B	Set sprinkler	0.77
	5	A	Drip	0.69	C	Center-pivot	0.76
Balance between water saving and economic results	1	D	Set sprinkler	0.76	D	Center-pivot	0.79
	2	C	Drip	0.76	B	Center-pivot	0.79
	3	B	Set sprinkler	0.75	A	Center-pivot	0.78
	4	A	Set sprinkler	0.75	D	Set sprinkler	0.76
	5	A	Drip	0.74	C	Drip	0.76

III. Indicadores de desempenho agroambientais. Biodiversidade

Indicadores de desempenho agroambientais (OCDE)

OECD, 1999, Environmental Indicators for Agriculture
https://www.oecd.org/en/publications/environmental-indicators-for-agriculture_9789264173873-en.html

Indicadores de desempenho agroambientais (identificados pela OCDE como prioritários)

- Uso de nutrientes
- Uso de pesticidas
- Uso de água
- Uso e conservação da terra
- Qualidade do solo
- Qualidade da água
- Gases de estufa
- Biodiversidade
- Habitats da vida selvagem
- Paisagem
- Gestão agrícola
- Recursos financeiros agrícolas
- Problemas socioeconómicos

Biodiversidade

A relevância da Biodiversidade nos Agroecossistemas foi reconhecida na Convenção sobre Biodiversidade, Rio Summit, 1992

A definição de Biodiversidade inclui três níveis de análise

1 - Nível Genético

Diversidade dentro das espécies

2 - Nível Específico

Alteração no número de espécies e no tamanho das populações

3 - Nível Ecossistémico

Alteração dos habitats naturais

Nível Genético - Diversidade dentro das espécies

A **Nível Genético**, a agricultura “utiliza” a biodiversidade como um reservatório de genes para melhorar a produtividade das culturas



Fig. 1 - Evolução da planta do milho

Esquerda: Planta ancestral, *Zea mays ssp. parviglumis* (teosinte), com espigas pequenas e grãos protegidos

Direita: Milho moderno (*Zea mays*), resultado de melhoramento genético para alta produtividade, espigas maiores e grãos expostos

Conduz a situações de **diversidade genética** muito baixa.



E com um reduzido número de espécies - Monocultura

A **Biodiversidade** passa a ter expressão ao **Nível Específico** - Alteração no número de espécies e no tamanho das populações

Nível Específico - Alteração número de espécies e tamanho da população

As monoculturas apresentam um índice de diversidade muito baixo

A título de exemplo, o Índice de Shannon-Wiener (H'), Shannon, 1948 é (0) zero numa monocultura pura aumentando em função do número de espécies

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

S = nº espécies
 p_i – Proporção dos indivíduos espécie i em relação ao total de indivíduos
 \ln – logaritmo natural

Os riscos Agro-Ambientais das monoculturas são elevados

Maior Risco de ataque
de pragas e doenças

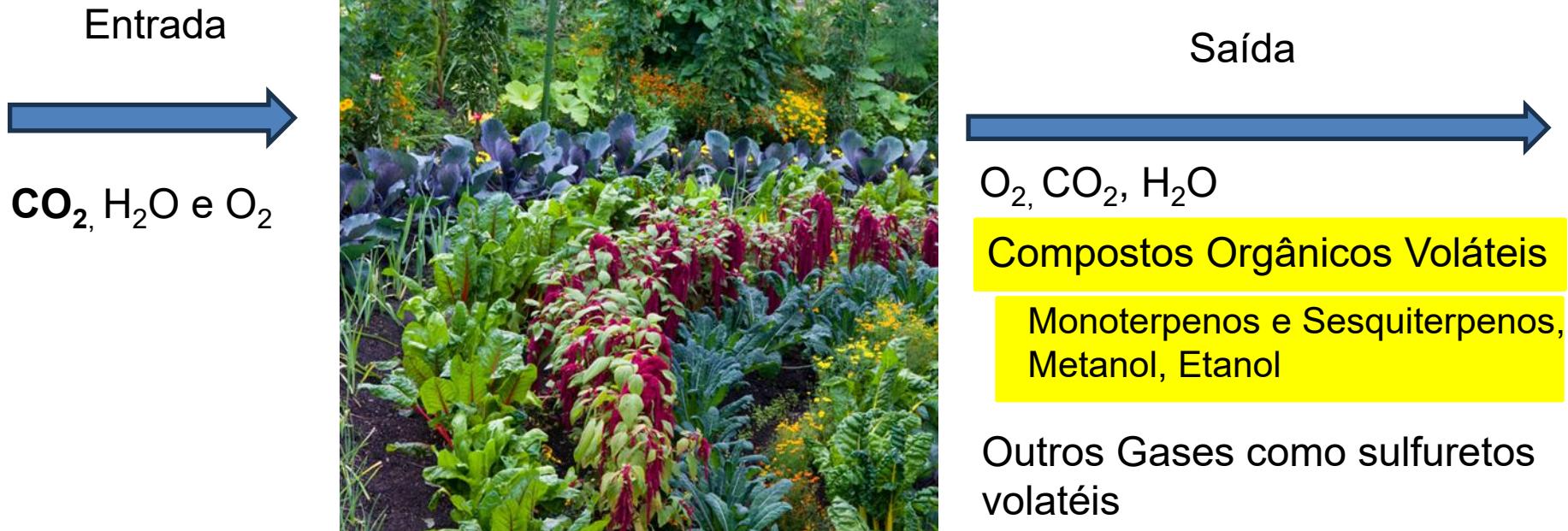
Maiores custos
Prevenção e Controle



Maior Impacte Ambiental

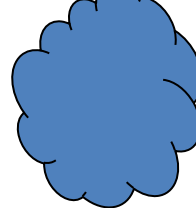
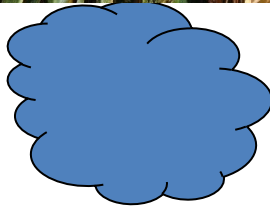
Interações estabelecidas ao Nível Específico

As plantas estão permanentemente em trocas gasosas com o meio envolvente



Monoterpenos e sesquiterpenos - Odores Atrativos

Os insetos, e entre eles as pragas das culturas, reconhecem os odores emitidos pelas plantas e são atraídos para que lhe forem mais adequadas para a sobrevivência.



Qual o melhor
hospedeiro?

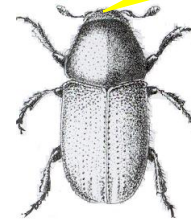
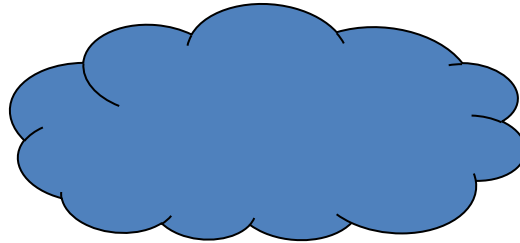
Monoterpenos e sesquiterpenos - Odores repelentes

Afastam os insetos....

Os odores emitidos por plantas não hospedeiras indicam aos insetos que não há interesse em colonizar a espécie vegetal.



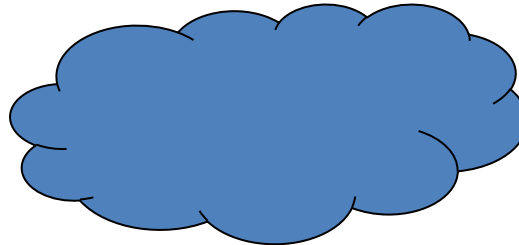
Trigo (*Triticum aestivum*)



Aqui não tenho
alimento



Brassica sp



Numa monocultura, os insetos têm luz verde à expansão...



Pois é !!!

Muito alimento
para todos!!!

Que paraíso!!!

Qual é o cenário num Agrocossistema de grande Biodiversidade?



Há emissão de uma grande diversidade de substâncias químicas atrativas e repulsivas



Há abrigo e alimento para **predadores** de insetos e artrópodes e para **parasitóides**

Há muitas plantas produtoras de néctar

Predadores



Dendrocopus major



Dendrocopus minor



Picus viridis

Artrópodos Predadores



Parasitóides

Insetos de dimensões muito pequenas que se alimentam de néctar e que põe os ovos dentro de insetos



E onde vão eles buscar o néctar?

Às plantas.....



Cenário num Ecossistema com elevada Biodiversidade



Polinização das culturas e produção de um conjunto de produtos de interesse económico para o homem



Mel;

Pólen;

Geleia real;

Propólis;

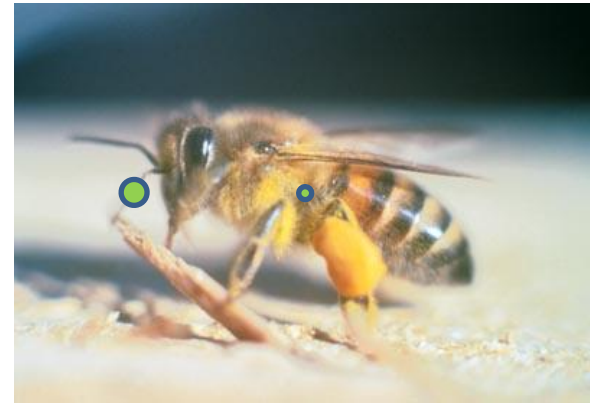
Veneno;

Cera.

O néctar é transportado no **papo**, um órgão interno.

Para obter uma carga de néctar, a abelha visita cerca de 1500 flores. Pode fazer em média 10 cargas de néctar/dia.

Hoje visitei
15000 flores!



Na colónia somos cerca
de 20 000!!! Imaginem
quantas flores podemos
polinizar!!



Conseguimos ser polinizadas!
Assegurámos a transmissão dos
nossos genes às gerações
futuras!!!

Ótimo! Conseguimos recolher
a matéria prima necessária à
nossa sociedade!

Eu também estou contente!
Adoro os produtos apícolas
tanto pelo sabor como pelas
propriedades medicinais e
terapêuticas que possuem!!!!



Como aplicar estes conceitos?

Permitir o estabelecimento das populações de inimigos naturais;

Utilizar práticas de gestão que favoreçam a ocorrência de inimigos naturais das pragas e de polinizadores;

Promover a existência de plantas que providenciem alimento, refúgio ou habitat aos inimigos naturais ou a presas/hospedeiros alternativos;

Aplicar medidas que favoreçam a sobrevivência de insetos polinizadores como a presença de plantas produtoras de néctar e pólen.

Exemplos

Hotéis de Insetos

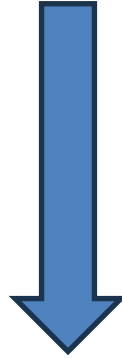


Faixas Multifuncionais



Integração das relações estabelecidas nos Agroecossistemas

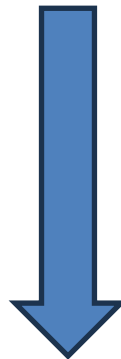
Nível Ecosistêmico da Biodiversidade



Modificação das paisagens agrícolas

Alteração dos habitats naturais

Alterações nos habitats da vida selvagem



Valorização dos Serviços Ecosistêmicos

Obrigada pela atenção!!!