



**Análise da produtividade física e económica da água.
Aplicação do modelo SEDAM no perímetro de rega de
Huinong, bacia do Rio Amarelo.**

Carina da Conceição Mendes de Almeida

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente – Gestão Ambiental

Orientador: Doutor Luis Alberto Santos Pereira

Co-Orientador: Doutor José Manuel Monteiro Gonçalves

Júri

Presidente: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutor Luis Alberto Santos Pereira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Doutora Isabel Maria Cerqueira Lopes Alves, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Doutor José Manuel Monteiro Gonçalves, Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra.

Lisboa, 2008

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Luis Santos Pereira pela possibilidade de realização deste trabalho, assim como todo o apoio e orientação prestada. Ao Professor José Manuel Gonçalves pela total disponibilidade apesar da distância, pela enorme paciência e compreensão, o meu mais sincero obrigado.

Aos colegas do CEER, em especial ao Gonçalo, pela constante transmissão de conhecimentos e pela amizade. Foram, sem saber, uma enorme lufada de ar fresco no meu dia-a-dia, ao longo deste último percurso.

Aos grandes amigos que fiz ao longo destes anos no ISA, sempre presentes, desde o primeiro dia.

Aos amigos de sempre, Kalashcrew, nem tenho palavras, vocês são os maiores, obrigado por estarem sempre ao meu lado!

À minha irmã, pela pessoa que é, pelo que me transmite e pela amizade.

E em especial à minha mãe, pela pessoa que me fez ser, pela mulher lutadora que é, pela força que me transmite, pelo seu positivismo e esforço, a quem dedico todo este trabalho. O teu objectivo está cumprido, obrigado por nunca teres desistido, agora é a tua vez de viveres.

RESUMO

A otimização dos usos de água e uma gestão eficiente de todo um sistema de rega é fulcral para que sejam maximizados rendimentos e lucros de produção dos agricultores, assim como alcançar uma sustentabilidade ambiental.

Neste trabalho, propõe-se uma análise das produtividades física e económicas da água no perímetro de rega de Huinong, na bacia do rio Amarelo, Noroeste da China, local onde a escassez e o excesso de água é uma constante. Esta análise foi desenvolvida com recurso ao modelo SEDAM, que simula a procura e distribuição de água adoptando a análise multicritério para apoiar decisões nas questões de melhoramento da gestão da distribuição, assim como na redução da procura de água.

Foi assim possível uma análise dos usos e impactos nos cenários de melhoria do sistema, e dos valores de utilidade e produtividades. Concluindo-se que com uma melhoria nos sistemas de distribuição e drenagem é possível reduzir significativamente os usos não benéficos e aumentar os benéficos, observando-se conseqüentemente um aumento das produtividades física e económica da água para todas as culturas.

Palavras-chave: usos de água, rega, produtividades da água, modelo SEDAM.

ABSTRACT

The water use optimization and the efficient management of an irrigation system are critical in order to maximize farmers' yields and profits, as well as to achieve an environmental sustainability.

The purpose of this dissertation is the analysis of the physic and economic water productivity on Huinong Irrigation District, in the Yellow river basin, Northeast China, where both water scarcity and excess are a reality. This analysis was prepared using SEDAM model, which was developed to simulate the demand and delivery using multicriteria analysis to support decisions, regarding the delivery management improvement as well as the decrease of water demand.

It was possible to analyse the use and impact in improvement scenarios and the utility and productivity values. In conclusion, with an improvement of the drainage and delivery systems it is possible to significantly reduce the non-beneficial water use and increase the beneficial, leading to an increase of the physic and economic water productivity.

Keywords: water use, irrigation, water productivity, SEDAM model.

Extended abstract

The Yellow river, also known as Huang He, is the second largest river in China, with about 5464 km long and a basin of 752000 km².

This river is a very important resource for the country, supplying 130 million people, mostly farmers and rural populations of nine Provinces: Qinghai, Sichuan, Gansu, Ningxia, Inner Mongolia, Shanxi, Shaanxi, Henan e Shandong (Cai et al., 2003).

Because irrigation water is required in agriculture, water is needed (about 95%) throughout the year in the arid Northwest, being this its main use in the basin. The annual average water yield is 58 billion m³, thus less than 500 m³ *per capita*, i.e. clearly bellow the commonly assume water scarcity threshold of 1000 m³ *per capita*. This extreme water scarcity is anthropogenic and influenced by climatic variations (Pereira, 2003).

The Yellow river raises great concerns: floods, due to the de-icing which occurs every summer at Western China Mountains; characteristic sediments, given the continuous deposition on the lower basin regions which increase the river bed; water scarcity, for a period of years regular droughts were observed during several days, resulting on a total water shortage in the nearest Province of the Bohai sea.

The Yellow river basin is bordered by the Yangtze River basin in the South and Southwest; the interior basins in the North and Northwest; the Haihe river basin in the Northeast; and Huaihe river basin in the Southeast. In the Western part, upstream of Lanzhou, is situated in the Northeast corner of Qinghai-Tibet Plateau, where the elevation of the land surface is superior to 4000 m above sea level (Cai et. al., 2003). The Yellow river crosses the Qinghai-Tibet Plateau, the Loess Plateau, the Inner Mongolia Plateau and the North China Plain.

The *loess* is composed of loamy sands and is rich in nutrients required for the development of crops, generally presenting a layer of 100 m deep. However, despite being considered an extremely fertile area, factors like looseness of the soil, low density vegetation and frequent storms in summer have lead to severe soil erosion, reduce its productivity and lead also to an augmentation of the sediments in the river waters. Due to the fast increase of upstream water extraction, the river flow downstream has been decreasing, occurring seasons of very low or even drought flow.

With the goal of mitigate floods and scarcity in the North China Plain, and given the strong competition for water between Provinces and the users, it was created Yellow River Conservation Comission (YRCC), which purpose is the management of the basin and the protection against floods in the North China Plain (Zhu et al., 2003), having the cooperation of water resources management institutions of the nine Provinces.

Nonetheless, the demand is by far superior to the supply, which difficult the water management, resulting in a complex attribution process, requiring negotiations between YRCC and the Provinces.

An inefficient irrigation management in the irrigated areas of the basin results in waterlogging and salinity, due to the excess of water, having an effect on about 60% of the irrigated areas, on the main Provinces of Ningxia and Inner Mongolia (Fang e Chen, 2001). An improvement of the water

and soil management practices have positive impacts on the water use efficiency and consequently on productivity.

Given this, it is necessary to ask for a more efficient irrigation water management at farm level and for the development of more adequate policies. Therefore, on this dissertation a case-study irrigation district (Huinong Irrigation District), located in the upper basin, is analysed.

The Huinong Irrigation District (HID) is part of the irrigation system of Qingtongxia (QIS), located in the North of the Ningxia Hui Autonomous Region. The main canals named Xigan, Hanyan, Tanglai e Huinong, are placed on the left bank of the Yellow River and are used to divert water into the QIS. The main crops at HID are maize, wheat and rice. Maize and wheat are intercropped and are in rotation with rice on a yearly basis.

The drainage and delivery systems have been studied, as well as the uses and costs associated with crops production. The SEDAM (SEctor Demand and delivery Aggregation Model), decision support system was applied to simulate the water demand and delivery, at Sector level, adopting the multicriteria analysis to support decisions regarding the improvement of delivery management, in addition to the decrease of water demand, comparing environmental and economic criteria, aiming a more sustainable irrigation water management.

Along with the SEDAM simulation results, it was developed an analysis of the economic and physic water productivities. A productivities increase was observed in the improvement system scenarios. A decrease of the non-beneficial uses and an increase of the beneficial uses for all crops were verified. This evolution is caused by the improvement on the drainage and delivery systems that have been made, such as: irrigation scheduling; rice management; reduction by 50% of the farmer non-used delivery volume; decrease the delivery time from 24 to 18 hours; delivery branch lining and land levelling, which are critical to decrease water losses and increase the production.

As a result, the water productivity analysis can be considered as an evaluation tool of the development improvements in the scenarios, aiming a conservative water management and an optimization of cereal production in HID.

Take into consideration that not always an improvement on the physic and economic water productivity results on a significant water saving. An optimization of the uses is critical, as well as all processes management associated with irrigation and policies of incentives in water saving.

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Pesquisa bibliográfica | 3 |
| 2.1. Produtividade da água em regadio | 3 |
| 2.1.1. Usos e consumos de água | 3 |
| 2.1.2. Eficiência do uso da água | 5 |
| 2.1.3. Produtividade física da água | 7 |
| 2.1.4. Produtividade económica da água | 10 |
| 2.1.5. Estratégias para a melhoria da produtividade da água nos sistemas de rega..... | 11 |
| 2.2. Gestão de água na bacia hidrográfica do Rio Amarelo | 13 |
| 2.3. Metodologias de apoio à decisão para otimizar o uso de água..... | 17 |
| 2.3.1. Conceitos, objectivos, vantagens e desvantagens | 17 |
| 2.3.2. Fases do processo e intervenientes..... | 18 |
| 2.3.3. Análise multicritério | 20 |
| 2.3.3.1. Elementos básicos | 20 |
| 2.3.3.2. Limitações..... | 22 |
| 3. Materiais e métodos | 23 |
| 3.1. Perímetro de rega de Huinong..... | 23 |
| 3.1.1. Caracterização geral | 23 |
| 3.1.2. Canal Huinong..... | 24 |
| 3.1.3. Gestão do perímetro de rega | 28 |
| 3.1.4. Culturas | 29 |
| 3.1.5. Condições socio-económicas..... | 31 |
| 3.1.6. Conclusão..... | 32 |
| 3.2. Modelo SEDAM..... | 33 |
| 3.2.1. Estratégia de aplicação do modelo | 37 |
| 3.2.1.1. Simulação da procura e distribuição de água à escala da unidade | 38 |
| 3.2.1.2. Simulação da procura e distribuição de água ao nível do sector | 42 |
| 3.2.2. Variáveis de decisão | 43 |
| 3.2.3. Aplicação da análise multicritério | 45 |
| 4. Resultados e discussão..... | 48 |
| 4.1. Resultados da simulação ao nível da Divisão..... | 48 |
| 4.1.1. Análise dos custos associados à produção das culturas..... | 48 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2. Análise dos impactos associados à produção das culturas..... | 50 |
| 4.1.3. Utilidades..... | 52 |
| 4.1.4. Análise das produtividades físicas da água..... | 54 |
| 4.1.5. Análise da produtividade económica da água..... | 56 |
| 4.1.6. Análise das razões das produtividades económicas da água..... | 58 |
| 4.2. Resultados da simulação à escala do Sub-sector..... | 61 |
| 5. Conclusões..... | 64 |
| 6. Bibliografia..... | 65 |
| 6. Anexos..... | 70 |
| Anexo I – Resultados da simulação, para a Divisão 1..... | 71 |
| Anexo II – Resultados da simulação, para a Divisão 4..... | 73 |
| Anexo III – Resultados da simulação, para o Subsector 1217..... | 75 |
| Anexo IV – Resultados da simulação, para o Subsector 42119..... | 76 |
| Anexo V – Ficheiro de entrada do modelo SEDAM para as características dos canais..... | 77 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Usos consumptivos, reutilizáveis e não reutilizáveis (Fonte: Pereira, 2004).

Tabela 2 – Área regada de cada concelho (em ha) e culturas no HID para o ano de 2000 (Fonte: Cai et al., 2003).

Tabela 3 – Área de exploração agrícola por família e concelho (Fonte: Xu e Tian, 2003).

Tabela 4 – Classes de solos da TAW.

Tabela 5 – Custos unitários e taxa de rega na parcela.

Tabela 6 – Preço unitário de produção para cada cultura e factor de resposta ao défice hídrico.

Tabela 7 – Custos unitários da parcela, à escala do Sub-sector por cultura.

Tabela 8 – Produção máxima unitária e nível de salinidade, por cenários do Sub-sector e cultura.

Tabela 9 – Características dos dados do sistema de rega a várias escalas e respectivas origens (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

Tabela 10 – Processo da tomada de decisão para a melhoria de rega e poupança de água (Fonte: Gonçalves et al., 2003)

Tabela 11 – Variáveis de decisão do sub sector para desenvolver alternativas para melhoria dos cenários (Fonte: Gonçalves et al., 2003).

Tabela 12 – Características dos cenários ao nível do Sub-sector (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

Tabela 13 – Cenários característicos para a poupança de água ao nível do Sector e Divisão (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

Tabela 14 – Indicadores de desempenho: fórmulas e Unidades (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

Tabela 15 – Critérios, atributos e pesos utilizados na análise multicritério.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Usos e consumos de água, benéficos e não benéficos, perdas e desperdícios (Fonte: Pereira, 2004).
- Figura 2** – Diferentes definições de produtividade da água e eficiência de uso de água (Fonte: Pereira, 2007).
- Figura 3** – Bacia hidrográfica do Rio Amarelo (Fonte: Cai et al., 2003)
- Figura 4** – Parcelas de terraços no Planalto de Loess (Fonte: Cai et al., 2003).
- Figura 5** – Mapa esquemático do sistema de rega de Qingtongxia (QIS) e do perímetro de rega de Huinong (HID) (Fonte: Cai et al., 2003).
- Figura 6** – Diagrama esquemático do canal principal e dos canais secundários no HID (Fonte: Cai et al., 2003).
- Figura 7** – Representação esquemática da rede de distribuição no HID.
- Figura 8** – Representação esquemática do canal Huinong, canais secundários e Divisões (Fonte: Xie et al., 2003).
- Figura 9** – Balanço hídrico para cada Divisão (Xie et al., 2003).
- Figura 10** – Agricultura de regadio em Ningxia; associação de milho e trigo e arrozais (Fonte: Campos et al., 2003).
- Figura 11** – Representação esquemática e componentes do modelo SEDAM (Fonte: Gonçalves et al., 2007).
- Figura 12** – Ficheiro de entrada do SEDAM para o calendário de rega melhorado, para exemplo das culturas de trigo e milho.
- Figura 13** – Esquema da simulação da exigência e distribuição de água à escala da Unidade (Fonte: Gonçalves et al., 2007).
- Figura 14** – Custos de rega, água, mão-de-obra e produto bruto para as diferentes culturas, nas Divisões 4 e 1, respectivamente a) e b), para os vários cenários.
- Figura 15** – Usos total de água, benéficos e não benéficos, para as Divisões 4 e 1, respectivamente a) e b), para os vários cenários.
- Figura 16** – Utilidades do custo de água, usos não benéficos, margem bruta e uso total de rega, para as diferentes culturas e cenários, para as Divisões 4 e 1, respectivamente, a) e b).
- Figura 17** – Produtividade física da água para as diferentes culturas e cenários, para as Divisões 1 e 4.
- Figura 18** – Produtividade económica da água para as diferentes culturas e cenários, e respectivamente para as Divisões 1 e 4.
- Figura 19** – Razões das produtividades económicas da água para as diferentes culturas e cenários, para ambas as Divisões.
- Figura 20** – Custos associados à produção da cultura do arroz nos Sub-setores 42119 e 1217, respectivamente a) e b) para os vários cenários.

Figura 21 – Impactos associados à produção da cultura do arroz nos sub-setores 42119 e 1217, respectivamente, a) e b).

Figura 22 – Produtividades físicas da cultura do arroz respectivamente para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

Figura 23 – Produtividades económicas da cultura do arroz respectivamente para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

Figura 24 – Razões das produtividades económicas das diferentes culturas para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

LISTA DE SÍMBOLOS

ALFABETO ROMANO

| | |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Área regada [ha] |
| A_{salt} | Área de solo salino [ha] |
| C_{dlb} | Custo de mão-de-obra no abastecimento [¥] |
| C_{dli} | Custo de revestimento (anual) [¥] |
| C_{dwt} | Custo do abastecimento de água [¥] |
| C_{fl} | Custo de mão-de-obra da rega [¥] |
| $C_{landlev}$ | Custo de nivelamento do terreno [¥] |
| C_{fyc} | Custo de produção [¥] |
| C_{fw} | Custo de água na exploração [¥] |
| C_{fwt} | Custo total de água na exploração [¥] |
| C_{gw} | Custo global de rega [¥] |
| C_{gwater} | Custo global de rega (rega total + custo de drenagem) [¥] |
| CR | Movimento de ascensão capilar [mm] |
| CE | Coefficiente de Engel [] |
| ETa | Evapotranspiração actual [mm] |
| ET_0 | Evapotranspiração de referência [mm/dia] |
| EWP | Produtividade económica da água [¥/m ³] |
| Ef_T | Razão de eficiência dos distribuidores [] |
| FL | Fracção de lavagem [%] |
| GM | Margem bruta [¥] |
| GP | Produto bruto [¥] |
| I | Dotação de rega [mm] |
| IWU | Água de rega utilizada [m ³] |
| $K_{c\ end}$ | Coefficiente cultural médio do período final do desenvolvimento das culturas [m ³ /m ³] |
| $K_{c\ ini}$ | Coefficiente cultural médio do período inicial do desenvolvimento das culturas [m ³ /m ³] |
| $K_{c\ mid}$ | Coefficiente cultural médio do período intermédio do desenvolvimento das culturas [m ³ /m ³] |
| K_y | Factor de resposta ao défice hídrico [] |
| L | Comprimento da parcela [m] |
| LF | Fracção de lavagem [mm] |
| L_T | Comprimento terciário [m] |
| N_F | Número de parcelas regadas simultaneamente [] |
| NBWU | Uso de água não benéfico [mm] |
| n | Rugosidade da parcela [] |
| P | Precipitação [mm] |

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| p | Fracção de esgotamento da água do solo para condições de conforto hídrico [] |
| Q | Caudal de entrada na parcela [$l\ s^{-1}m^{-1}$] |
| q_F | Caudal de entrada na parcela [$l\ s^{-1}$] |
| Q_T | Caudal de entrada num distribuidor [$l\ s^{-1}$] |
| Q'_T | Caudal de entrada líquido na unidade [$l\ s^{-1}$] |
| q'_F | Caudal ajustado [$l\ s^{-1}$] |
| RWP | Razão da produtividade económica da água [] |
| S_0 | Declive da parcela [] |
| S_f | Factor de infiltração [$l\ s^{-1}m^{-1}$] |
| TAW | Água total disponível na zona radicular [mm/m] |
| TWU | Uso total da água [mm] |
| TWU_{Farm} | Água utilizada total ao nível da parcela [m^3] |
| t_i | Tempo de duração da rega [s] |
| V_{drp} | Perdas por escoamento, percolação e infiltração no abastecimento [m^3] |
| Y_c | Produção de cereais [kg] |
| V_{ft} | Uso total de água na exploração [m^3] |
| V_{frp} | Perdas por escoamento, percolação e infiltração na exploração [m^3] |
| V_{fn} | Uso líquido de água [m^3] |
| V_{dt} | Água total distribuída [m^3] |
| WP | Produtividade da água [$kg\ m^{-3}$] |
| WP_i | Produtividade da água de rega utilizada mobilizada ao nível do sistema [$kg\ m^{-3}$] |
| WP_{Farm} | Produtividade da água considerando a água da parcela [$kg\ m^{-3}$] |
| WP_{I-Farm} | Produtividade da água considerando somente a água de rega [$kg\ m^{-3}$] |
| Y_a | Produção real de uma cultura [$kg\ ha^{-1}período^{-1}$] |
| ΔSW | Diferença de armazenamento da água do solo entre a plantação e a colheita [mm] |
| Z_r | Profundidade radicular [m] |

ALFABETO GREGO

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| α_M | 1×10^{-4} [€/ha] |
| α_W | $3,33 \times 10^{-5}$ [m^3/ha] |
| λ_j | Pesos estabelecidos pelo utilizador [%] |
| θ_{fc} | Teor de água do solo à capacidade de campo [%] |
| θ_{wp} | Teor de água no solo ao coeficiente de emurchecimento [%] |

1. INTRODUÇÃO

A água é utilizada por várias actividades, tal como a agricultura, indústria e energia, tendo cada utilização as suas necessidades específicas em termos de utilização do recurso e um determinado efeito nos meios hídricos. As disponibilidades e a procura da água para satisfação das necessidades das actividades humanas apresentam variações consideráveis no espaço e no tempo, frequentemente em sentidos opostos, resultando em períodos de escassez.

Na agricultura consomem-se quantidades significativas de água havendo, em geral, alterações das características físicas e ambientais dos meios hídricos, com a restituição ao ambiente com uma qualidade inferior.

A gestão ineficiente da água pode provocar por exemplo, a salinização dos solos. A gestão de água torna-se assim uma questão cada vez mais importante.

Entre os factores que explicam situações como a salinização dos solos, contam-se a precariedade dos sistemas de distribuição e drenagem, bem como o baixo grau de integração dos valores ambientais nas políticas sectoriais e a falta de incentivos à redução da utilização da água.

O objectivo principal deste trabalho é avaliar cenários de modernização dum perímetro de rega, aplicando indicadores de poupança e de produtividade física e económica da água, e a sua integração por análise multicritério. O caso de estudo é o perímetro de rega do Huinong na bacia do Rio Amarelo, onde a água de rega é distribuída por redes colectivas em canal. Dada a grande quantidade de parcelas de terreno e as diferentes culturas, a distribuição de água torna-se um processo muito complexo. Há assim um grande impacto a nível da produção das culturas neste local (principalmente o arroz, o milho e o trigo) nos rendimentos e lucros dos agricultores, bem como no ambiente.

Na perspectiva de conservação e poupança da água é necessário aumentar a sua produtividade, para que seja possível obter maior quantidade produzida por unidade de água, assim como aumentar os lucros. Para que este aumento seja observado é necessário que se observem melhoramentos nos sistemas de distribuição e de drenagem.

Foi utilizado um sistema de apoio à decisão com o objectivo de simular a procura e distribuição de água do local de acordo com as melhorias que se desenvolvem no sistema de distribuição e de drenagem, adoptando a análise multicritério. De forma a analisar as vantagens destas melhorias e os reflexos que terão na produção das culturas e na utilização de água para este mesmo efeito, são utilizados os indicadores das produtividades físicas e económicas da água com os resultados do modelo. Pretende-se desta forma identificar os cenários de melhoria do sistema mais adequados como resposta a um melhor desempenho do sistema de rega, em particular na gestão e usos de água, idealizando o máximo rendimento de produção e lucro para o agricultor, assim como a minimização dos impactos ambientais.

Organização da tese

No capítulo 2 apresenta-se a pesquisa bibliográfica sobre a problemática do uso de água e do apoio à decisão.

No capítulo 3 apresentam-se os materiais e métodos utilizados neste trabalho, caracterizando o perímetro de rega, localmente, o canal principal em estudo, a gestão de todo o perímetro de rega, as culturas predominantes do local, assim como as condições socio-económicas da população do local. Como método estudado apresenta-se o modelo SEDAM, as estratégias da sua aplicação, bem como as escalas de simulação do modelo, variáveis de decisão, a aplicação da análise multicritério, assim como os dados de base que contêm os ficheiros do modelo.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos e uma breve discussão. Os resultados são efectuados ao nível da Divisão, comparando-se os resultados da Divisão 4 e 1, bem como ao nível de Sub-sector. Estas comparações foram estabelecidas através das análises dos custos e impactos associados à produção das culturas, dos valores de utilidades, e por fim a análise das produtividades física e económica da água para as diferentes escalas.

Por fim, apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. Pesquisa bibliográfica

2.1. Produtividade da água em regadio

Considerando uma população mundial de 6 mil milhões e tendo em conta que se considera em 2030 um aumento de 35%, isto é, cerca de 8100 milhões de pessoas (Ali e Talukder, 2008), é esperado um aumento da procura de alimentos. Simultaneamente, a procura de água nos países desenvolvidos e em desenvolvimento também irá manter o crescimento, e tendo em conta que 40% das regiões são consideradas áridas e semi-áridas (Gamo, 1999), é de extrema importância um uso eficiente da água ou uma optimização da produtividade da água. A produção de alimentos e o uso de água são processos que estão intimamente relacionados.

2.1.1. Usos e consumos de água

As denominações uso e consumo de água podem ser muitas vezes utilizadas com o mesmo objectivo. No entanto, **uso** da água corresponde à mobilização de uma determinada quantidade de água para um certo fim, sendo uma parte dessa retornada ao ciclo da água, com a mesma qualidade ou degradada; o **consumo** corresponde à parte não retornada, ou seja, a parte que é extraída do ciclo natural da água (Pereira, 2004).

Num sistema de rega, a água consumida é a fracção transpirada pelas plantas e evaporada a partir do solo, de reservatórios ou de canais, e a que é usada por outras plantas não úteis que lhe acedem, bem como a que é incorporada na produção. A outra fracção de água usada mas não consumida é a que se infiltra e percola até aos aquíferos subjacentes a partir de reservatórios, canais e dos campos regados, ou a que escoar para cursos de água superficial por descargas dos canais ou por escoamento como excedente de rega. Estas águas poderão ser reutilizadas ou, se adicionadas a corpos de água cuja qualidade não permita o reuso, são consideradas perdidas (Pereira et al., 2004).

É importante distinguir **perda** de **desperdício** de água (Figura 1). Em rega, as perdas correspondem às águas evaporadas sem que tal processo esteja relacionado a necessidades da produção e as águas adicionadas a corpos de água cuja qualidade seja degradada não permitindo o seu reuso. As restantes fracções ou foram consumidas para o objectivo em causa ou retornam à natureza, podendo ser usadas de novo, mais tarde e por outros utilizadores. Define-se desperdício como a quantidade de água que foi usada em excesso relativamente ao necessário no processo, caso de descargas a partir de condutas, de excessos na rega ou de torneiras abertas sem necessidade, por exemplo. Os desperdícios implicam custos na mobilização dos recursos hídricos sem que se retire benefício da sua utilização (Pereira, 2004).

Relativamente ao uso de água, é necessário distinguir **usos benéficos** de **não benéficos** (Tabela 2). Os usos benéficos são aqueles que levam à obtenção do produto desejado. Em agricultura, considera-se uso benéfico a água utilizada para a evapotranspiração da cultura e, em presença de salinidade, a fracção de lavagem (água que percola através da zona radicular e arrasta os sais de modo a controlar a qualidade do solo). Não são benéficos os usos de água em excesso que, em rega, percola para além da zona radicular ou que escoia à superfície do terreno (Pereira, 2004).

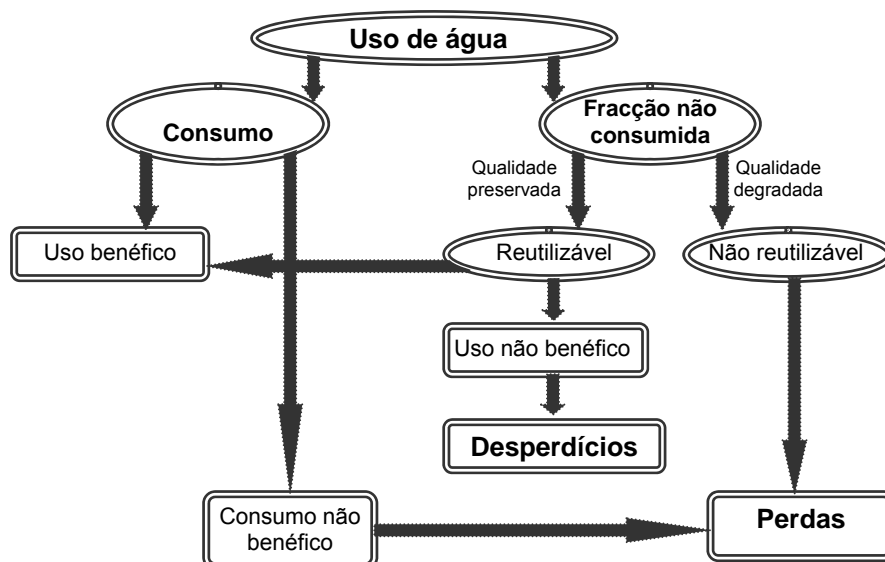


Figura 1 – Usos e consumos de água, benéficos e não benéficos, perdas e desperdícios (Fonte: Pereira, 2004).

Adoptando estes conceitos é possível reconhecer os percursos da água mobilizada, saber a fracção consumida e a restante disponível para novas utilizações após o seu uso, bem como saber se o seu uso foi ou não benéfico.

Assim, segundo Pereira (2004) define-se:

- **Fracção consumida e benéfica** como a fracção de água usada que se evapora consequente das exigências de uso, que é incorporada no produto ou é consumida como bebida ou alimento e, portanto, deixa de ser disponível após uso;
- **Fracção consumida e não benéfica** como a fracção de água usada que se evapora em processo associado ao da finalidade de uso mas não requerido por este, ou por qualquer outra forma é perdida, deixando de estar disponível após uso;
- **Fracção não consumida mas reutilizável** como sendo a fracção de água usada que não tendo sido consumida quando usada em dada actividade – produção, processo ou serviço – é retornada com qualidade aceitável a águas doces superficiais ou subterrâneas não degradadas e pode ser usada de novo. A esta fracção correspondem tanto os usos benéficos como os não benéficos;

- **Fracção não reutilizável** como a fracção de água usada que não sendo consumida quando usada em dada actividade – produção, processo ou serviço – é retornada com qualidade inaceitável, ou é adicionada a águas superficiais ou subterrâneas degradadas, ou a meios de água salgada. Só recorrendo a processos de tratamento especiais torna-se capaz de ser reutilizada. Correspondem-lhe igualmente usos benéficos e não benéficos.

Tabela 1 – Usos consumptivos, reutilizáveis e não reutilizáveis (Fonte: Pereira, 2004).

| | CONSUMPTIVO | NÃO CONSUMPTIVO MAS REUTILIZÁVEL | NÃO CONSUMPTIVO E NÃO REUTILIZÁVEL |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| USOS BENÉFICOS | <ul style="list-style-type: none"> • ET das culturas regadas • Evaporação para controlo climático • Água incorporada no produto | <ul style="list-style-type: none"> • Fracção de lavagem adicionada a águas reutilizáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Fracção de lavagem adicionada a águas salinas |
| USOS NÃO BENÉFICOS | <ul style="list-style-type: none"> • ET de excesso de água do solo e de freatófitas • Evaporação a partir dos aspersores • Evaporação a partir dos reservatórios e canais | <ul style="list-style-type: none"> • Percolação para lençóis freáticos de boa qualidade • Águas de retorno e de descargas reutilizáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Percolação para lençóis freáticos de água salinos • Águas de retorno e de descargas drenando para águas degradadas |
| | Fracção consumida | Fracção reutilizável | Fracção não reutilizável |

Sendo o objectivo tornar mais racional e sustentável o uso da água, é então necessário saber como ser usada, conservada, poupada e os seus percursos.

Segundo Pereira (2004), a convivência com a escassez exige que os desempenhos dos sistemas hídricos, agrícolas e não agrícolas, sejam reconhecidos a nível de percursos da água, objectivando:

- A maximização dos usos benéficos;
- A minimização dos usos não benéficos (evitar as perdas e controlar os desperdícios);
- Maximizar os consumos benéficos;
- Optimizar os usos benéficos não consumptivos.

2.1.2. Eficiência do uso da água

O conceito de eficiência foi definido por Israelsen (1932) como a relação entre a quantidade de água consumida na produção de uma dada cultura e a quantidade de água mobilizada para a rega.

A eficiência do uso de água, termo utilizado vulgarmente em rega, é no entanto muitas vezes relacionado com diferentes significados. Alguns autores referem-se a esta como um sinónimo de eficiência de aplicação, assim como uma razão *output/input* adimensional; outros adaptam-na para expressar a produtividade da água como uma relação do rendimento de água. Contudo, a expressão eficiência do uso de água deve ser limitada a funções fisiológicas e eco – fisiológicas (Steduto, 1996) ou ser substituída pelo termo de relação de transpiração ou semelhante (Pereira, 2007).

A ideia de que aumentar a produtividade da água ou que a eficiência do uso de água leva à poupança desta, também não é correcta, pois é necessário distinguir uso consumptivo de não-consumptivo, como definido anteriormente.

Para os sistemas de rega, a eficiência de aplicação E_a pode ser definida como a razão entre a quantidade média adicionada ao armazenamento na zona radicular no quartil mínimo da parcela e a dotação bruta adicionada (Pereira, 2004).

Para que o desempenho da eficiência de aplicação não seja influenciado, este indicador não deve ser utilizado isoladamente – mas em conjunto com os indicadores de uniformidade de distribuição (Pereira e Trout, 1999) – e deve ser específico para cada evento de rega, uma vez que a disponibilidade hídrica do solo e as profundidades de água de rega aplicadas variam (Pereira, 2007).

Durante muito tempo a melhoria dos sistemas de rega estava relacionada com a melhoria da eficiência, dado que uma baixa eficiência era sinónimo de elevadas perdas de água. Hoje sabe-se que esta ideia não é necessariamente verdade. O que condiciona a eficiência é a uniformidade, e os seus indicadores (uniformidade de distribuição, coeficiente de distribuição e uniformidade estatística) têm um papel fundamental no desenvolvimento de um projecto de rega, dado o seu significado estatístico (Pereira, 2004).

Uma melhoria da eficiência do uso da água pode ser alcançada:

Reduzindo a procura:

- Seleccionar a cultura mais apropriada ao local;
- Adoptar rega deficitária.

Adoptando medidas de poupança ou conservação da água:

- Melhorar a gestão e uniformidade dos sistemas de rega;
- Reutilizar água de escoamento;
- Adopção de práticas de gestão do solo;
- Controlar a evaporação do solo.

Aumentando produção por unidade de água:

- Adopção de melhores práticas agrícolas;
- Evitar o stress hídrico das culturas em fases críticas.

Aumentar o rendimento do produtor:

- Adopção de tecnologias de rega apropriadas.

2.1.3. Produtividade física da água

Existem factores que influenciam o rendimento das culturas e a água aplicada ou necessária na produção, como o tipo de cultura escolhido, a quantidade de água aplicada, o tipo de solo, os factores económicos, entre outros. A deficiência hídrica e uma disponibilidade de nutrientes reduzida limita muitas vezes o crescimento das culturas e uma potencial produção, dado que as culturas são muito sensíveis ao défice de água durante as diferentes fases críticas do seu desenvolvimento (Ali e Talukder, 2008). Por outro lado, o uso excessivo de água aumenta o custo de produção e polui.

Mais importante do que conhecer a eficiência é entender como a água é usada, quais os benefícios que se retiram do seu uso. Para o efeito, foi adaptado o conceito de produtividade da água a qual é definida pela razão entre a quantidade de produto ou serviço produzido e a quantidade de água usada (não só consumida) para a sua obtenção (Pereira, 2004).

O conceito de produtividade da água pode ter diferentes interpretações entre os utilizadores de água. Para um hidrologista, significa a relação entre o volume de água utilizada de forma produtiva, ou seja, transpirada ou nalguns casos evaporada, para um volume de água potencialmente disponível para esse efeito. Para um economista, significa a relação entre o valor monetário de saída e a água necessária de entrada. Para um engenheiro rural, significa a razão entre a quantidade ou valor da cultura produzida pela água necessária (Ali e Talukder, 2008).

Também pode ser considerado em diferentes escalas. Ao nível das culturas, os processos fisiológicos são os mais relevantes a ter em consideração, como a fotossíntese. Considerando à escala da parcela, salientam-se processos como a aplicação de nutrientes, a conservação da água ou práticas de preparação do solo. Quando a água é distribuída num sistema de rega, destacam-se processos como a distribuição, procura da água para os diferentes usos ou a drenagem (Molden et al., 2003). Ao nível da bacia, os processos de distribuição da água são igualmente importantes, considerando-se a variedade de utilizações e utilizadores.

A produtividade da água é um indicador extremamente útil para quantificar o impacto das decisões num sistema de rega no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, referindo-se aos benefícios derivados do uso da água.

O termo produtividade da água é definido e usado de variadas formas (Figura 2). No entanto, não existe uma única definição que englobe todas as situações (Barker et al., 2003).

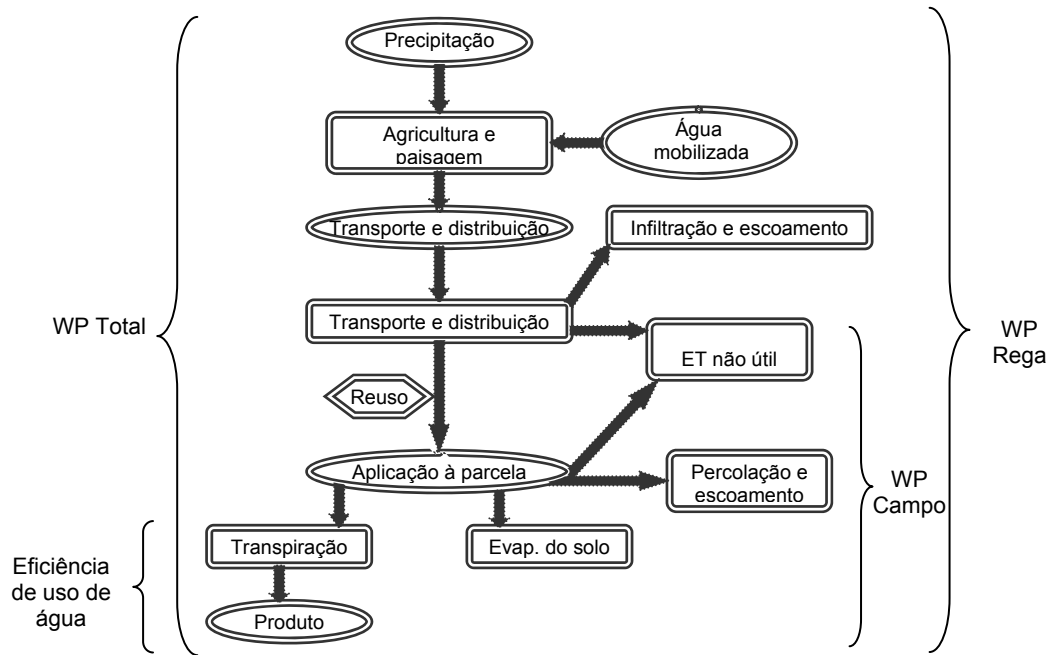


Figura 2 – Diferentes definições de produtividade da água e eficiência de uso de água (Fonte: Pereira, 2007).

Assim, a produtividade da água pode ser definida como a relação entre a produção atingida pela cultura, Y_a (actual yield achieved), em kg, e o uso de água para esse mesmo fim, em m^3 . No entanto, o denominador pode referir-se ao uso total de água, TWU (total water use), em m^3 , incluindo a precipitação, sendo definida por WP:

$$WP = \frac{Y_a}{TWU}$$

(2.1)

ou referir-se também, apenas à água de rega utilizada, IWU (irrigation water use), mobilizada ao nível do sistema (WP_i), em kg/m^3 ,

$$WP_i = \frac{Y_a}{IWU}$$

(2.2)

ou o total de água utilizada ao nível da parcela (TWU_{Farm}), incluindo a precipitação, a água de rega e a ascensão capilar (WP_{Farm}), em kg/m^3 :

$$WP_{Farm} = \frac{Y_a}{TWU_{Farm}}$$

(2.3)

ou ainda relacionando-se apenas com a água de rega (IWU_{Farm}), em kg/m^3 .

$$WP_{I-Farm} = \frac{Ya}{IWU_{Farm}}$$

(2.4)

O significado destes indicadores é diferente, podendo induzir a contradições caso a expressão “produtividade da água” seja usada sem especificação do alvo a que é considerada.

Assim, considerando as diferentes abordagens de definir produtividade de água, pode-se adoptar diferentes formas a partir da definição base, decompondo o indicador, água total utilizada (TWU), podemos definir:

$$WP_{Farm} = \frac{Ya}{Eta + LF + NBWU}$$

(2.5)

onde ETa é a evapotranspiração actual (mm), LF a fracção de lavagem (mm) e NBWU o uso de água não benéfico (mm). Neste caso estão incluídas as perdas por evaporação e pelo vento, a percolação e escoamento.

Podemos ainda definir, de acordo com as diferentes origens de água utilizada:

$$WP_{Farm} = \frac{Ya}{P + CR + \Delta SW + I}$$

(2.6)

onde P diz respeito à precipitação (mm), CR ao movimento de ascensão capilar (mm), ΔSW é a diferença de armazenamento da água do solo entre a sementeira e a colheita (mm), e I o volume de rega (mm).

Com uma produção máxima e com um mínimo de usos não benéficos de água, é possível alcançar a produtividade física da água máxima para uma determinada cultura. Neste caso, a evapotranspiração actual é igual à evapotranspiração de uma cultura de gestão ideal a todos os níveis.

$$\max(WP) = \frac{Y \max}{ETc + LF + \min(NBWU)}$$

(2.7)

2.1.4. Produtividade económica da água

A água é um bem público e privado, com múltiplos usos, cuja qualidade e quantidade é constantemente gerida e estudada.

Os factores económicos podem influenciar o nível óptimo da produtividade da água. Geralmente, o aumento da produtividade da água está associado ao aumento de custos associados, principalmente no que se refere a inovação tecnológica. O retorno após este aumento de custos pode provir do aumento da produção ou mesmo dum aumento da poupança de água (Ali e Talukder, 2008).

Assim, dado que o objectivo do produtor é atingir o maior rendimento e lucro possível, é importante considerar as questões económicas relacionadas com a produtividade da água, considerando-se produtividade económica da água (EWP) como a relação entre o valor monetário da produção atingida pela cultura (unidade monetária) e o uso total da água (TWU), em m³, expressando-se em €/m³:

$$EWP = \frac{\text{Valor}(Ya)}{TWU}$$

(2.8)

No entanto, para que seja mais visível a nível económico, a produtividade económica da água pode ser definida apenas em unidades monetárias, considerando o custo total da água utilizada, ao invés da expressão anterior que considera o volume total de água utilizada, sendo definida como a razão da produtividade económica da água (RWP),

$$RWP = \frac{\text{Valor}(Ya)}{\text{Custo}(TWU)}$$

(2.9)

Alternativamente, esta definição pode ser expressa assumindo que todos os custos de água dizem respeito aos custos da rega,

$$RWP = \frac{\text{Valor}(Ya)}{\text{Custo}(I)}$$

(2.10)

2.1.5. Estratégias para a melhoria das produtividades da água ao nível dos sistemas de rega

Actualmente existe uma tendência para apelar ao aumento da produtividade da água (Molden et al., 2003), dado que na agricultura estamos interessados em produzir mais com uma menor quantidade de água, uma vez que esta é um factor limitante em diversos locais, assim como atingir rendimentos e lucros máximos.

Assim, e de acordo com Molden et al. (2003), ao nível dos sistemas de rega as produtividades física e económica da água podem ser melhoradas:

Aumentando a produção por unidade de água consumida:

- Melhoria da gestão da água – proporcionar uma melhor calendarização de rega de forma a evitar o stress hídrico no crescimento das culturas em fases críticas, ou aumentar a fiabilidade do abastecimento de água, para que os agricultores invistam mais na melhoria das condições do sistema de rega;
- Melhoria das condições da exploração – associado a estratégias de rega e a práticas agronómicas, como a preparação dos terrenos ou adubação.

Redução de perdas não-benéficas:

- Diminuição da evaporação não-benéfica – reduzindo as perdas por evaporação nos terrenos, através da diminuição da área da superfície livre da água e diminuindo a vegetação menos benéfica e controlo de infestantes;
- Redução dos desperdícios – intervenções que reduzam a percolação profunda e o escoamento superficial irrecuperáveis;
- Minimizar a salinização das águas de retorno de drenagem – minimizando a drenagem de água através de solos salinos ou de águas salinas subterrâneas para reduzir a poluição causada pela circulação de sais nas águas de drenagem recuperadas para a rega;
- Diminuição da poluição das águas de drenagem – para evitar a diluição com água doce, salgada ou de outra natureza, devem ser rejeitadas águas poluídas directamente para sumidouros;
- Reutilização das águas de drenagem.

Redistribuição da água:

- Redistribuição da água de baixo valor para elevado valor de utilização – a redistribuição geralmente não resulta em qualquer poupança de água directa, mas pode aumentar drasticamente a produtividade económica da água.

Intercepção dos caudais de saída:

- Melhoria da gestão das actuais instalações – de forma a obter mais usos benéficos a partir de fontes de abastecimento de água existentes;
- Reutilização dos caudais de retorno – para aumentar a área de rega;
- Aumento dos reservatórios – para que maior quantidade de água fique disponível durante os períodos secos.

2.2 Gestão de água na bacia do Rio Amarelo

O Rio Amarelo, também denominado como Huang He, é o segundo maior rio da China, com cerca de 5464 km de comprimento e uma bacia hidrográfica de 752 mil km². Nasce a cerca de 4500 m de altitude e desagua no mar Bohai (Cai et al., 2003).

O Rio Amarelo suscita grandes preocupações: a nível de inundações, devido ao degelo que ocorre todos os Verões nas montanhas do Oeste da China; a nível de sedimentação dos materiais que lhe são característicos, dada a contínua deposição nas zonas baixas provocam um aumento do leito; a nível de escassez de água, durante anos observou-se secas regulares durante dias resultando a total ausência de água na província mais próxima do mar Bohai.

Dada a grande fertilidade dos solos em toda esta zona, várias estruturas hidráulicas e diques foram construídos e actualizados de forma a tornar esta área numa das mais produtivas regiões da China. Ao longo do rio foram construídas as barragens Longyangxia, Lijiaxia, Liuji Xia, Yongguoxia, Bupanxia, Qingtongxia, Sanmenxia e Xiaolangdi, para controlar cheias e para o abastecimento de água e energia hidroeléctrica (Pereira, 2003).

A disponibilidade média anual de água é de 58 mil milhões m³, correspondente a menos de 500 m³ *per capita*, ou seja, claramente abaixo do limiar da escassez de água, geralmente assumido como 1000 m³ *per capita*. Esta extrema escassez de água é antropogénica e influenciada por variações climáticas (Pereira, 2003).

Devido à grande necessidade de água para a rega, esta é necessária durante todo o ano no Noroeste árido, sendo este o principal uso na bacia hidrográfica, cerca de 95% (Pereira, 2003) apesar de ter vindo a decrescer para cerca de 81% (Zhu et al., 2003). No entanto, não é somente o uso agronómico que lhe está associado, também o uso doméstico, industrial e energético está a aumentar, devido essencialmente ao aumento da população.

Este rio é um recurso muito importante para o país, uma vez que abastece cerca de 130 milhões de pessoas, sendo estas maioritariamente agricultores e populações rurais de nove províncias: Qinghai, Sichuan, Gansu, Ningxia, Interior da Mongólia, Shanxi, Shaanxi, Henan e Shandong (Cai et al., 2003).

A bacia do Rio Amarelo é rodeada pela bacia do rio Yangtze a Sul e Sudoeste, pelas bacias interiores a Norte e Noroeste, pela bacia hidrográfica do Haihe a Nordeste, e do Huaihe a Sudeste (Figura 3). A parte ocidental, a montante de Lanzhou, está situada a Nordeste do Planalto Qinghai – Tibete, onde a elevação da superfície terrestre é superior a 4000 metros, acima do nível do mar (Cai et al., 2003). O Rio Amarelo atravessa o Planalto Qinghai-Tibete, o Planalto de Loess, Planalto Interior da Mongólia, e a grande planície do Norte da China.



Figura 3 – Bacia hidrográfica do Rio Amarelo (Fonte: Cai et al., 2003)

A zona principal da bacia insere-se no Planalto de Loess e a zona Sul no Planalto Interior da Mongólia, com um elevação que varia entre os 1000 e os 2000 metros. O Planalto de Loess é o maior do mundo com uma área de 430 mil km², e é a maior zona da China onde se pratica agricultura em terraços, em zonas inclinadas (Figura 4) (Cai et al., 2003).

O *loess* é composto por sedimentos franco-arenosos e rico em nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas, apresentando geralmente uma camada com cerca 100 metros de profundidade. No entanto, apesar de ser considerada uma área muito fértil, factores como a perda de solo, a baixa densidade da vegetação e as frequentes tempestades de Verão têm conduzido a graves problemas de erosão do solo, reduzindo a sua produtividade, e conduzindo também a um aumento do teor de partículas limosas nas águas do rio. Os rendimentos de produção são assim, muito baixos e instáveis. Em muitas partes do planalto, o acesso à água potável é muito restrito (Cai et al., 2003).



Figura 4 – Parcelas de terraços no Planalto de Loess (Fonte: Cai et al., 2003).

A parte oriental da bacia está situada no Norte da Planície da China, onde a elevação da superfície terrestre é inferior a 100 metros, e onde têm sido desenvolvidos muitos perímetros de rega em larga escala ao longo de ambos os lados do rio. Com a evolução tecnológica e a construção e

instalação de várias infra-estruturas, a área de rega aumentou de cerca de meio milhão de ha em 1949 para 7,33 milhões de ha (Cai et al., 2003).

A bacia hidrográfica do Rio Amarelo apresenta um clima tipicamente semi-árido, com uma precipitação média anual de 476 mm, equivalente a 360 mil milhões de m³, diminuindo de Noroeste a Sudeste. A recarga dos aquíferos é de aproximadamente 10 mil milhões de m³, e esta adicionada à água superficial é de 58 mil milhões de m³ (Bai et al., 1986).

A Noroeste, na parte superior da bacia, nas planícies de Ningxia e Hetao, o clima é árido com uma precipitação média anual de 200 mm, ocorrendo durante o Verão e os cinco meses frios. A Sudeste, na planície Norte da China, a precipitação média anual varia de 500 a 700 mm, ocorrendo principalmente durante as monções de Verão e nos três meses de Inverno. Cerca de 60 a 80% da precipitação tem ocorrência no Verão e no Outono, o que propicia inundações. A grande variação da precipitação anual e sazonal tem efeitos na produção agrícola, podendo causar constantes secas ou inundações na bacia (Cai et al., 2003).

Com o desenvolvimento das áreas de rega, o aumento populacional e o crescimento e desenvolvimento económico, o uso da água aumentou substancialmente. Durante o período de 1988 a 1992, a média anual de extracção de água do rio atingiu os 39,5 mil milhões de metros cúbicos, correspondendo 68% deste ao escoamento total. Durante o mesmo período, a exploração de águas subterrâneas atingiu os 9,7 mil milhões de metros cúbicos por ano (Ke, 1997).

Devido ao rápido aumento da extracção de água a montante, o caudal do rio a jusante tem vindo a decrescer, ocorrendo épocas de caudal muito baixo ou mesmo nulo. No ano de 1997, por exemplo, o rio a jusante secou durante 226 dias, observando-se extensões com cerca de 700 km completamente secas (Cai et al., 2003).

Com o aumento da exploração das águas subterrâneas nas planícies de Weihe – Fenhe e na planície do Norte da China, observou-se uma quebra no nível das toalhas freáticas (Cai et al., 1999). Esta escassez de água tem um grande impacto na produção agrícola e industrial, nas condições de vida da população, no ambiente e ecossistemas.

Com a finalidade de minorar as inundações e a escassez nas planícies no Norte da China, e dada a forte competição pela água entre as províncias e os utilizadores, foi criada a Comissão de Conservação do Rio Amarelo (YRCC), que tem como objectivo a gestão de toda a bacia e está encarregue da protecção contra inundações na planície do Norte da China (Zhu et al., 2003), tendo a cooperação de instituições de gestão de recursos hídricos das nove províncias.

No entanto a procura é muito superior à oferta, o que dificulta a gestão de água, resultando num processo de atribuição complexo, requerendo negociações entre a YRCC e as províncias.

Em períodos de escassez de água a prioridade de uso é maioritariamente municipal, industrial e energético, e não agrícola. No entanto, em certas áreas, o desenvolvimento da agricultura regada é prioritário, sendo estas consideradas aquando a atribuição da água, apesar da escassez de água (Pereira, 2003).

Dada a importância do regadio para a produção e desenvolvimento rural, existem vários planos para sustentar as áreas de rega existentes e para o desenvolvimento de novas áreas de rega. Existe um programa nacional, que tem como objectivo a melhoria do abastecimento de água potável nas zonas rurais, e evitar a erosão e desertificação nas regiões do Noroeste da China (Cai et al., 2003).

Com o aumento da procura de água, e de forma a aumentar a sua disponibilidade, novos reservatórios estão a ser construídos e planeados, estando também a ser estudada a transferência de água do rio Yangtze para Norte e Noroeste da China. No entanto, a prioridade para os utilizadores, especialmente para a agricultura, é a poupança de água. Só considerando esta poupança, é possível um desenvolvimento sustentável (Cai et al., 2003).

Ao longo dos últimos 30 anos, têm sido desenvolvidos projectos com o objectivo de incentivar a poupança de água na China, fazendo aumentar a eficiência do uso da água de rega. Uma gestão de rega ineficiente nas zonas regadas da bacia resulta na saturação e salinização dos solos devido ao excesso de água, afectando cerca de 60% das áreas regadas, nas principais províncias de Ningxia e Mongólia Interior (Fang e Chen, 2001). Uma melhoria das práticas de gestão de água e do solo tem impactos positivos na eficiência do uso da água e consequentemente na produtividade.

2.3. Metodologias de Apoio à Decisão para otimizar o uso da água

2.3.1. Conceitos, objectivos, vantagens e desvantagens

De entre os múltiplos objectivos do planeamento de um sistema de rega, a optimização da gestão e uso de água na bacia do Rio Amarelo é a chave para a minimização dos problemas expostos. Contudo, para a concretização destes objectivos e dada a complexidade de todo o projecto, o projectista necessita de recorrer a técnicas que visem uma escolha mais acertada.

As decisões exigem cada vez mais e melhor informação, assim como um maior volume de dados, pois têm em consideração um grande número de alternativas para satisfazer um elevado número de objectivos.

Os modelos de apoio à decisão permitem lidar com problemas de decisão cuja dimensão ultrapasse a capacidade cognitiva normal, ou exceda os recursos temporais e financeiros disponíveis. Normalmente estes modelos consistem em aplicações informáticas, em conjunto com uma componente humana que pode filtrar grandes quantidades de dados e escolher entre as diversas opções.

O problema de decisão tem início na tomada de consciência de certa insatisfação que gera motivações orientadas para objectivos (Tavares et al., 1996). Num sistema de rega estas insatisfações podem surgir numa ineficácia ou inviabilidade do projecto, da necessidade de modernização do sistema, num objectivo de melhoria de produção ou rentabilidade, ou na preservação do ambiente.

Os modelos são uma representação simplificada dum sistema (processo ou teoria) para alcançar a nossa capacidade para entender, prever, e se possível controlar o comportamento do sistema e são uma aproximação para desenvolver e avaliar estratégias alternativas para a rega.

Durante o processo de decisão o sistema de apoio à decisão (SAD) utiliza:

- Modelos analíticos;
- Bases de dados especializadas;
- Discernimento e capacidade de avaliação do decisor;
- Processo informático interactivo de modelação, de apoio à tomada de decisões semi-estruturadas ou não estruturadas.

Ao aplicar-se uma metodologia de apoio à decisão são esperadas vantagens, as quais se traduzem segundo Klein e Methlie (1995) em melhorias:

- ✓ **Na qualidade do processo de decisão** – atribuída ao fácil acesso à informação, ao mais rápido e eficiente reconhecimento do problema, ao acesso a modelos, e à capacidade para gerar e avaliar um largo número de alternativas;

- ✓ **Nos procedimentos do processo de decisão** – é de esperar a redução no custo da decisão e a redução do tempo necessário para se alcançar a decisão, pressupondo o mesmo nível de detalhe da análise;
- ✓ **Na comunicação e colaboração entre intervenientes** – que pode assumir carácter dinâmico;
- ✓ **No processo de aprendizagem pelos utilizadores** – esta consequência está também claramente relacionada com a melhoria na qualidade do processo de decisão, na medida em que melhora o processo de aprendizagem dos utilizadores.

Mesmo que seja bem concebido, a disponibilidade de um sistema de apoio à decisão pode também ter efeitos adversos.

Estes modelos destinam-se a ajudar os gestores a decidir, permitindo-lhes uma melhor compreensão das consequências das suas decisões e como se relacionam com as suas preferências. Mas a principal tarefa de um gestor é actuar no seu meio para alcançar os objectivos da sua organização, pelo que deve ser consciencioso e não esquecer que há que alcançar um bom equilíbrio entre o estudo do problema e a actuação. Num entanto, e apesar destas metodologias apresentarem-se como positivas, o homem terá sempre que considerar a impossibilidade de alterar o meio (Klein e Methlie, 1995).

Segundo Winograd e Flores (1986) podem identificar-se as seguintes desvantagens decorrentes da aplicação do sistema de apoio à decisão:

- ❖ **Orientação da escolha** – todo e qualquer SAD é concebido para apoiar um certo tipo de decisões. Um novo utilizador deve ser capaz de utilizar a sua inteligência para verificar que o problema que está a estudar pertence à classe para que o SAD foi concebido em termos de apoio, parcial ou total; esta capacidade do utilizador nem sempre é fácil de implementar.
- ❖ **Relevância das hipóteses** – qualquer aplicação em computador assenta num certo número de hipóteses para a sua implementação. Se o utilizador não reconhece que as condições de uso do sistema não são ajustáveis a estas hipóteses, então o sistema pode ser prejudicial.

2.3.2. Fases do processo e intervenientes

Por si só, uma situação indesejável, ou uma situação onde não haja alternativas disponíveis, não representa um problema de decisão. Este só tem lugar quando se perspectiva agir em busca da resolução do problema (Tavares et al., 1996).

Com base no modelo genérico do processo de decisão proposto por Simon (1960), considera-se que o processo de decisão num projecto de rega colectivo compreende as seguintes fases:

- **Identificação** – em que se procura identificar os problemas que exigem uma decisão; segue-se o diagnóstico, visando compreender-se os sinais evidenciados pelo problema, e determina-se a relação causa-efeito da situação de decisão;
- **Concepção** – em que se criam, desenvolvem e analisam as alternativas de projecto;
- **Seleção** – em que se procede à comparação e escolha de uma alternativa;
- **Implementação** – que corresponde à execução de obras, à instalação de equipamentos e ao funcionamento do sistema.

Na fase de identificação está patente: o reconhecimento e compreensão dos problemas que levam à insatisfação do decisor, procurando compreendê-los, e identificando as suas origens; a identificação dos objectivos evidentes no projecto, como a minimização dos custos de produção, a minimização da poluição do ambiente circundante e do desperdício de água, a conservação do solo, e objectivos de carácter social relacionados com a mão-de-obra; a avaliação dos recursos disponíveis, como os recursos naturais, humanos, tecnológicos e financeiros; e a identificação de possíveis soluções para atingir os objectivos. Os objectivos dependem sempre do espaço de valores que caracterizam o decisor (Tavares et al., 1996).

A identificação dos objectivos é de extrema importância devido à sua vertente económica e ambiental, que são factores de grande peso na tomada de decisão. Uma minimização global dos custos é obviamente uma alternativa muito apelativa ao decisor.

Na fase de concepção, é necessário preparar dados de base e desenvolver soluções alternativas compatíveis com os objectivos pretendidos, caso seja pretendida a implementação (ou modernização) do sistema de rega.

A avaliação das alternativas envolve a previsão dos seus resultados e a respectiva apreciação segundo perspectivas que reflectam directa, ou indirectamente, o espaço de valores do decisor, dado que cada perspectiva corresponde a um atributo diante o qual o decisor não é insensível (Tavares et al., 1996).

Após a fase de selecção, cabe ao decisor a escolha de uma das soluções. A decisão representa um compromisso para alcançar o estado desejado do sistema, em que são satisfeitos os objectivos estabelecidos, no contexto em que há limitações de ordem técnica e de recursos.

No entanto, o ciclo de fases é na realidade mais complexo do que aparenta. A fase de concepção, por exemplo pode solicitar novas actividades de identificação. Assim, um processo de decisão não se limita a uma simples sequência de passos.

Em todo o processo de decisão podem intervir um grupo ou apenas um indivíduo. De acordo com Gonçalves (1997), num processo de decisão identificam-se os seguintes intervenientes:

- **Decisor** – tem o poder de escolha e é o responsável pela decisão. Estabelece objectivos e exprime preferências, as quais deverão prevalecer na evolução do processo. Na prática, o decisor é um gestor de empresa agrícola, podendo recorrer a apoios e pareceres de especialistas em diversos domínios para alicerçar decisões fundamentadas. O decisor deve estar envolvido e participar em todas as fases do processo de decisão.
- **Analista** – É o interveniente do processo que modela a situação concreta objecto de estudo e que poderá fazer recomendações quanto à escolha final. Não exprime as preferências pessoais, limitando-se a recolher as do decisor e a tratá-las de maneira tão objectiva quanto possível. Na prática do projecto de rega, o analista corresponde ao projectista.
- **Consultores** – Apoiam o decisor e o analista de forma a assegurar a qualidade do projecto, promovendo o acesso às tecnologias mais ajustadas, atendendo aos objectivos da empresa e às limitações técnicas e financeiras; na prática são técnicos extensionistas ou especialistas.

2.3.3. Análise multicritério

A optimização através do multicritério destina-se a melhorar o compromisso entre diferentes interesses ou pontos de vista (Roy e Bouyssou, 1993) atenuando o processo de aprendizagem e compreensão e facilitando a interacção entre o utilizador.

2.3.3.1. Elementos básicos

Para além do decisor e analista (descritos anteriormente), as alternativas, os atributos e os critérios são também elementos básicos da análise multicritério.

Existe uma tendência cada vez maior de o decisor substituir o analista por um programa de computador. No entanto, dado que o computador é apenas um suporte para formalização, memorização e reflexão, um modelo pré-definido, a análise preliminar fica a cargo do decisor (Pomerol e Barba-Romero, 1993).

Alternativas

A cada decisão possível corresponde uma alternativa. A definição de um conjunto de alternativas Ω_A não deve ser considerado *a priori* do processo de decisão, mas somente como resultado da fase de concepção que depende da capacidade do decisor e de outros intervenientes, das metodologias utilizadas, assim como da própria formulação do problema multicritério (Vincke, 1992). Muitas aplicações originam espaços Ω_A contínuos e com domínios muito vastos, sendo

necessário efectuar a sua discriminação e substituição por um conjunto finito Ω_a de alternativas de Ω_A (Tavares et al., 1996).

Um espaço de alternativas denomina-se conjunto de Pareto se os seus elementos são óptimos de Pareto, ou seja, qualquer alternativa desde que seleccionada pelo decisor é melhor relativamente a qualquer outra. Toda a racionalidade de um modelo multicritério se exprime no conjunto de Pareto. Sem informação suplementar, todas as alternativas “óptimos de Pareto” representam uma escolha racional.

Atributos

Os atributos são características mensuráveis das alternativas que permitem a sua apreciação relativamente aos objectivos estabelecidos pelo decisor. Os atributos podem traduzir-se por grandezas definidas através de variáveis reais ou por apreciações qualitativas dizendo respeito a perspectivas diversas. Geralmente, é possível associar cada uma destas perspectivas diversas variáveis reais que contribuem qualitativamente para a sua definição, já que se supõe que são causa da impressão produzida no decisor (Pomerol e Barba-Romero, 1993).

Critérios

No âmbito de um problema de escolha, é necessário estabelecer critérios de decisão, uma vez que a medida de um determinado atributo não permite avaliar nem a utilidade duma alternativa em relação ao objectivo em questão, nem as diferenças de utilidade relativas a diferentes alternativas.

Os critérios de decisão são expressões qualitativas ou quantitativas de pontos de vista, de objectivos, atitudes ou de restrições relativas ao contexto real, que exprimem as preferências do decisor relativamente a determinado atributo. A constituição de um critério pressupõe o conhecimento da função de valor do decisor em relação ao atributo em questão. A medida de um atributo tem um significado diferente do de valor ou utilidade, dado que esta exprime realmente as preferências do decisor. Nos problemas de escolha somente interessa a utilidade (Pomerol e Barba-Romero, 1993).

Um critério visa resumir as avaliações de uma alternativa sobre diversas dimensões, as quais podem ser correlacionadas com um mesmo objectivo. Conceber vários critérios é admitir que uma decisão será inevitavelmente o resultado de um compromisso entre vários objectivos adversativos (Roy e Bouyssou, 1993).

Na análise multicritério o decisor apercebe-se, de forma espontânea, que os critérios não têm todos eles a mesma importância. A natureza conflitual entre alguns dos critérios faz realçar a necessidade de explicitar as prioridades, que o decisor deve estabelecer por forma a garantir que a escolha representará o melhor compromisso.

Designa-se por **peso** a medida da importância relativa entre critérios para o decisor. As prioridades do decisor ficam expressas no conjunto dos pesos da totalidade dos critérios.

2.3.3.2. Limitações

Na análise multicritério estamos perante um problema formulado com imprecisão, dado que não tem uma solução objectiva. Em geral não existe nenhuma alternativa que se destaque de todas as outras, quando se consideram em simultâneo todos os critérios. Por isso, o conceito de "solução óptima" não faz sentido no contexto multicritério (Vincke, 1992).

Resolver um problema multicritério não consiste, assim, na busca de algo que existe mas que está oculto, ajudando o decisor a dominar os dados envolvidos no problema e avançar na procura de uma solução. Esta constitui um compromisso, devendo ser dada ênfase ao facto de que tal decisão depende da personalidade do decisor, nas circunstâncias em que o apoio ao processo de decisão tem lugar, no modo em como o problema é apresentado e no método usado (Roy, 1990).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Perímetro de rega de Huinong

3.1.1. Caracterização geral

O perímetro de rega de Huinong (HID – Huinong Irrigation District) é parte do sistema de rega de Qingtongxia (QIS), que está situado no Norte da região autónoma de Ningxia Hui, na China. Os canais principais denominados Xigan, Hanyan, Tanglai e Huinong, situam-se na margem esquerda do Rio Amarelo e são utilizados para o desvio de água para o QIS (Ding, 1991) (Figura 5).

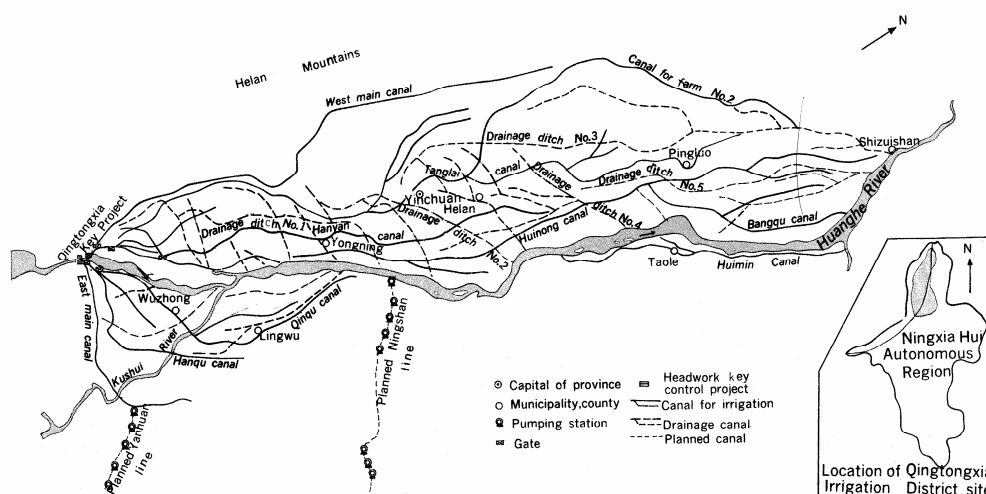


Figura 5 – Mapa esquemático do sistema de rega de Qingtongxia (QIS) e do perímetro de rega de Huinong (HID) (Fonte: Cai et al., 2003).

A área total do HID é de cerca de 129 mil ha, a sua altitude varia entre os 1100 e 1150 metros, e apresenta um declive de 60 e 80% de sudoeste para nordeste.

Com a reabilitação das áreas de regadio, o valor total da área do perímetro de rega de Huinong tem-se desenvolvido de 18866 ha, em 1949, para cerca 74400 ha em 2000, incluindo cinco concelhos e 33 municípios (Cai et al., 2003).

O clima é continental árido, sendo as características de maior relevância as graves secas, os ventos, a elevada evaporação e as grandes diferenças entre as temperaturas de dia e noite, e as de Verão e Inverno. A precipitação média anual varia entre os 100 e 290 mm, e a evaporação entre os 1500 e 2100 mm. A temperatura média do mês mais quente (Julho) é de 23,5°C, e o mês mais frio (Janeiro) apresenta uma média de 7°C (Cai et al., 2003).

Existem cinco estações meteorológicas localizadas nos cinco concelhos, de montante a jusante: Qingtongxia, Yongning, Yinchuan, Pingluo e Huinong.

A toalha freática é pouco profunda, sendo o valor médio anual da profundidade do lençol freático em toda a região é de cerca 1,5 metros, sendo que a montante permanece com uma profundidade média de 0,3 a 0,7 metros abaixo da toalha freática da parte a jusante.

O lençol freático permanece a uma profundidade que varia entre 1,5 e 2,5 metros entre a terceira década de Outubro e o final de Abril; 0 a 1,5 metros durante o início de Maio até à segunda década de Setembro (0 a 1 metro na área de plantação de arroz, e 0,8 a 1,5 metros na área de plantação de trigo e milho); e 1 a 1,5 metros na terceira década de Setembro até à segunda década de Outubro (Cai et al., 2003).

Os solos são aluviões de textura limosa originados dos sedimentos de *loess* transportados pelo Rio Amarelo das áreas a montante. Os solos são naturalmente não salinos, mas numa área – cerca de 96 mil hectares observa-se salinidade dos quais 39 mil hectares não são cultivados – estando esta relacionada com uma má gestão de água (Cai et al., 2003).

A maior parte dos problemas de salinidade surgem a jusante, especialmente nas áreas de terrenos mais baixos e onde os sistemas de drenagem não funcionam com eficácia. No entanto, a recuperação é viável se for melhorada a gestão de água ao nível do distrito e se for aplicada uma fracção de lavagem adequada.

3.1.2. Canal Huinong

O perímetro de rega de Huinong foi desenvolvido há mais de 2 mil anos e o canal Huinong foi reconstruído na dinastia de Qing (1729 d.C.) (Xu e Tian, 2003), tendo assim uma história de quase 3 séculos. O sistema foi reabilitado em 1949, mas as comportas antigas ainda são utilizadas para a regulação e controlo do canal, embora em condições precárias, o que causa problemas de funcionamento do sistema.

O canal Huinong é um dos canais principais mais longos do perímetro de rega de Qingtonxia (QID – Qingtonxia Irrigation District) com cerca de 171 km de comprimento, incluindo 32 km com função simplesmente de transporte de água e o restante também com função de distribuição (Cai et al., 2003).

A água desviada do Rio Amarelo é regulada pelo reservatório de Qingtongxia (Wu, 1988) que se encontra a cerca de 30 km, estando disponível para toda a época das culturas, desde o início da Primavera até ao Outono.

O caudal do canal na secção a montante é de cerca 110 m³/s e de 68,8 m³/s a jusante. Existem três canais secundários com cerca de 90 km: Changrun, Pang e Guansi, com caudais de 10 m³/s, 10 m³/s e 5 m³/s, respectivamente (Figura 6).

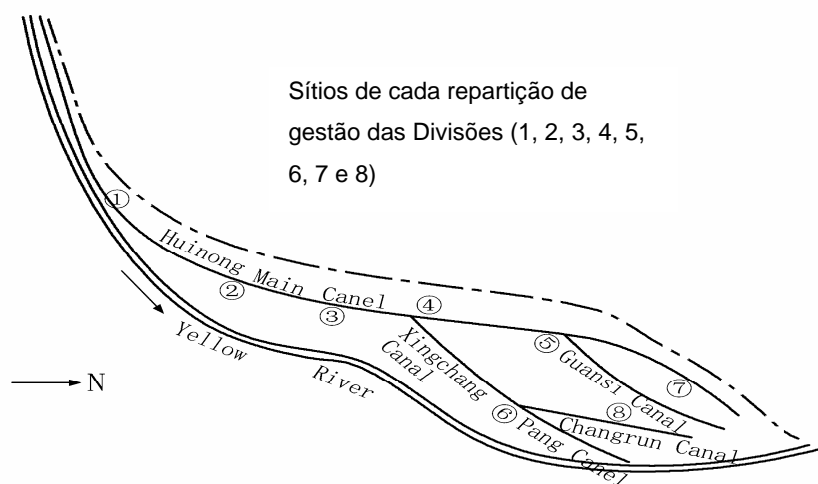


Figura 6 – Diagrama esquemático do canal principal e dos canais secundários no HID (Fonte: Cai et al., 2003).

As estruturas hidráulicas ao longo do canal principal e dos canais secundários estão geralmente em boas condições conseguindo suportar as exigências para a regulação do nível e distribuição da água (Cai et al., 2003).

Componentes do sistema de rega do Huinong (Figura 7):

- **Parcelas** regadas da responsabilidade dos agricultores;
- **Unidade** de área regada: área fornecida por um distribuidor que compreende um número variável de parcelas;
- **Sub-sector**: área servida por um canal secundário e através de canais terciários que abastecem os distribuidores das Unidades;
- **Sector**: área servida por vários canais secundários;
- **Divisão**: área comando situada entre duas grandes estruturas hidráulicas no canal principal onde os caudais são medidos. Cada Divisão compreende dois Sectors, um de cada lado do canal principal.

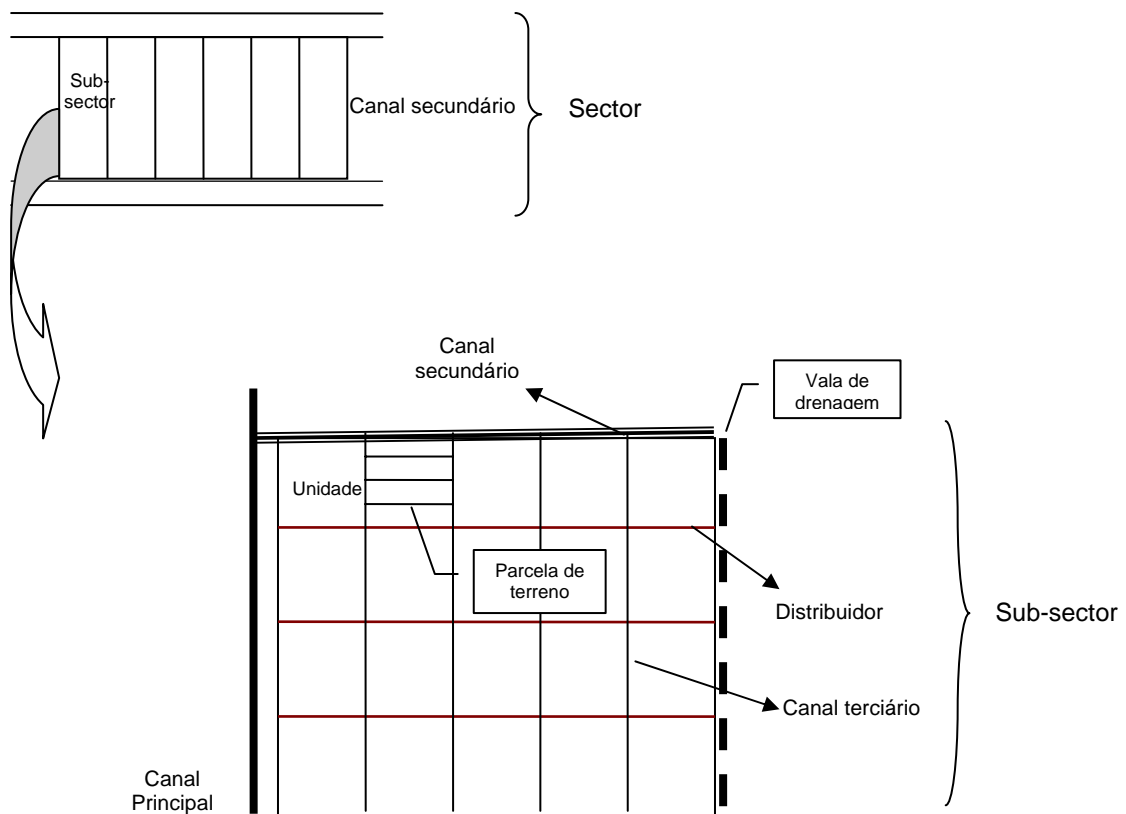


Figura 7 – Representação esquemática da rede de distribuição no HID.

Existem oito Divisões ao longo do canal principal de Huinong. Cada Divisão é responsável pela gestão de cerca de 20 km de canal principal. O desvio de água do canal Huinong para o Changrun está localizado no final da Divisão 4, o desvio do Huinong para Guansi é no interior da Divisão 5 e do Changrun para Pang está localizado na Divisão 6. As Divisões 7 e 8 têm duas admissões, enquanto que as restantes só possuem uma (Xie et al., 2003) (Figura 8).

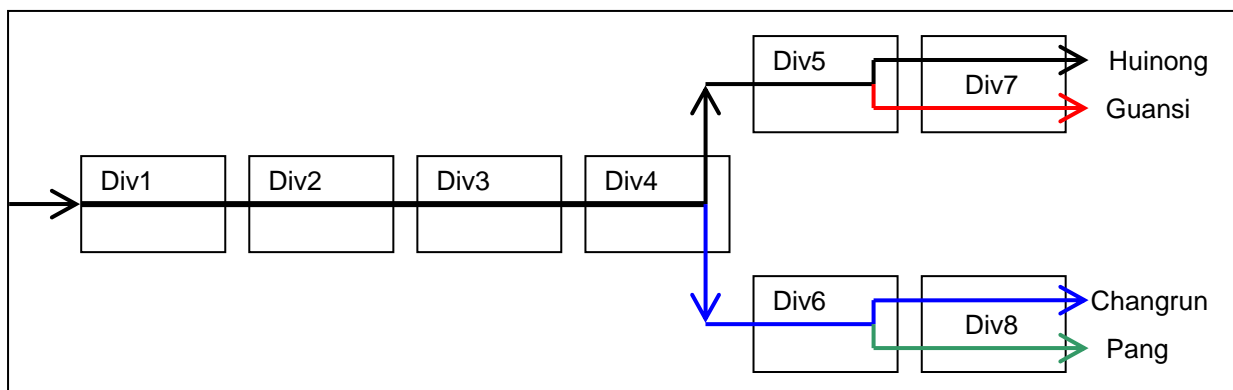


Figura 8 – Representação esquemática do canal Huinong, canais secundários e Divisões (Fonte: Xie et al., 2003).

A montante da Divisão 4, os problemas ocorrem principalmente durante o período de rega do arroz devido à sua elevada exigência de água, tornando-se difícil a distribuição de água aos canais a jusante pelo que é cultivado arroz apenas nas Divisões 1 a 4 (Xie et al., 2003).

Assim, para que haja uma distribuição adequada de água a todas as Divisões, o HID exige caudais muito elevados no canal principal – geralmente superiores a $80 \text{ m}^3/\text{s}$ –, escoando-se seguidamente o excesso de água para o Rio Amarelo.

O excesso de água é uma das principais causas para os problemas detectados no HID. Apenas parte da água não desviada para os canais (principal, secundários ou terciários) volta ao Rio Amarelo. A água pode assim escoar para o sistema de drenagem, infiltrar-se e acumular-se nas águas subterrâneas, ou evaporar-se ao longo dos processos (Xie et al., 2003) (Figura 9).

Estes desvios produzem um mau funcionamento de todo o sistema de drenagem, causando elevada saturação do solo e problemas de salinidade (Hollanders et al., 2003), que são comuns a outros distritos de rega na região.

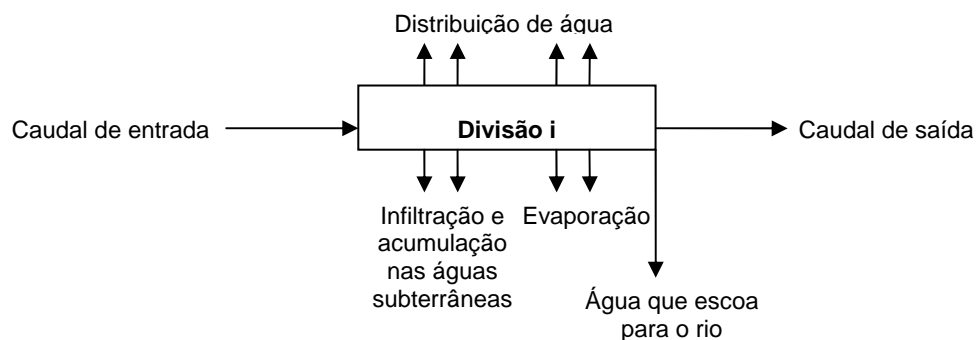


Figura 9 – Balanço hídrico para cada Divisão (Xie et al., 2003).

O sistema de drenagem no HID é um sistema em canal aberto. As funções da drenagem nesta área são (Hollanders et al., 2003):

- Controlo da toalha freática, que é influenciada pela aplicação de água de rega e pelas condições hidro-geológicas;
- Suporte para um bom crescimento de culturas;
- Controlo de salinidade causada pela evapotranspiração, ascensão capilar, saturação do solo e acumulação nas depressões;
- Descargas excessivas de água de rega, quando não são utilizadas pelas culturas.

3.1.3. Gestão do perímetro de rega

O Departamento de Gestão do perímetro de rega do Huinong (HID), sob a direcção da Secretaria dos Recursos Hídricos de Ningxia, tem a seu cargo a gestão de todo o perímetro de rega, ou seja, a operação, distribuição, manutenção e a cobrança de água. Para o Departamento de Gestão do HID, a principal tarefa é operar e gerir o canal principal, os canais secundários, terciários e as estruturas hidráulicas principais (Cai et al, 2003).

Este Departamento é a única administração que coordena a água total desviada do Rio Amarelo e a distribuição de água para rega em cada distrito, em Ningxia. Com base no volume e distribuição de água, o Departamento de Gestão decide a atribuição do volume da água e do caudal entre os principais canais (Cai et al, 2003).

Todos os anos o Departamento de Gestão do HID desenvolve um plano de uso da água de rega. Para tal, são recolhidas informações sobre a previsão de caudais do Rio Amarelo e as condições climáticas no perímetro de rega. O Departamento de Gestão de Água de Rega, sob a direcção da Secretaria dos Recursos Hídricos de Ningxia, examina e aprova o plano de uso de água de rega. Depois de aprovado, qualquer alteração ao mesmo, quer devido a fortes chuvadas quer por outros motivos, deve ser comunicada e aprovada pelo Departamento. Caso os agricultores não necessitem de água ou necessitem de uma menor quantidade, a estação deverá apresentar um relatório ao gestor da Divisão. Considerando dados de 2003 (Cai et al, 2003), o preço da água é de 0,012 ¥ por metro cúbico de água desviada, caso não exceda os requisitos planeados em 30%, caso contrário o preço é de 0,017 ¥ por metro cúbico.

A água é inicialmente repartida pelas diferentes Divisões, por decisão da Secretaria de Recursos Hídricos de Ningxia de acordo com o abastecimento previsto e considerando as eventuais restrições decididas pela Comissão de Conservação do Rio Amarelo (YRCC). Em seguida, as Divisões são responsáveis pela repartição de água pelos canais secundários. Para esta função, cada Divisão é decomposta em secções (geralmente quatro secções por Divisão).

Cada Divisão tem a responsabilidade de gerir os consumos dos canais de acordo com as necessidades previstas, seguindo as distribuições programadas para cada dia, mesmo quando chove.

As comportas dos canais não podem ser fechadas sem a autorização da Secretaria de Recursos Hídricos da Província de Ningxia. Se a autorização for concedida, o departamento do HID reduz primeiramente a descarga do canal principal, e de seguida as Divisões gerem os níveis da água utilizando as comportas e dão instruções sobre as tarefas operacionais, estando os agricultores ou os representantes dos municípios impedidos de fazer esta gestão (Xie et al., 2003).

Para otimizar o processo de distribuição, cada Divisão tem de gerir tanto um nível máximo de água, para reduzir perdas e proteger os canais, como um nível mínimo de água que permita distribuir

a água para todos os canais secundários, sem qualquer restrição. A diferença entre estes dois níveis da água não é, em geral, superior a 0,7 m (Xie et al., 2003).

O caudal diário total é constante durante cinco dias e geralmente, apenas 30 a 60% (Xie et al., 2003) da superfície lateral das comportas está aberta ao mesmo tempo.

A gestão de rega nas parcelas é muito débil, e uma grande quantidade de água é desperdiçada durante o período de rega. Consequentemente, uma melhoria na gestão de rega ao nível da parcela e uma poupança da água de rega são de extrema importância.

Os volumes consumidos são em média 4460 Mm³ por ano, numa área regada de cerca de 74 mil ha, correspondendo a um consumo médio de 6000 mm. Este valor está muito acima das necessidades de rega das culturas, que actualmente são, em média, 1400 mm para o arroz e 600 mm para o milho e trigo. Este excesso de água é em grande parte devido à necessidade de manter os níveis elevados de água nos canais para tornar possível o funcionamento das comportas. A maior parte desta água é distribuída pelos canais terciários e a água em excesso é escoada para os sistemas de drenagem ou para as águas subterrâneas (Xie et al., 2003).

3.1.4. Culturas

As principais culturas no Huinong Irrigation District (HID) são o trigo, o milho e o arroz (Wu, 1988). O trigo e o milho são geralmente associadas e em rotação anual com o arroz, que é plantado na zona a jusante no HID (Tabela 2).

Tabela 2 – Área regada de cada concelho (em ha) e culturas no HID para o ano de 2000 (Fonte: Cai et al., 2003).

| Concelho | Arroz | Trigo/ Milho | Linho | Sorgo | Beterraba | Outras culturas | Florestas ou Pomares | Total |
|----------|-------|-----------------|-------|-------|-----------|--------------------|----------------------------|-------|
| Yongning | 800 | 900 | 60 | 0 | 0 | 33 | 180 | 1973 |
| Yinchuan | 3067 | 3453 | 240 | 0 | 0 | 120 | 147 | 7027 |
| Helan | 3067 | 3427 | 240 | 0 | 0 | 133 | 180 | 7047 |
| Pingluo | 1167 | 23853 | 1940 | 1100 | 2920 | 980 | 1953 | 33913 |
| Huinong | 0 | 18613 | 1513 | 867 | 2120 | 887 | 440 | 24440 |
| Total | 8101 | 50246 | 3933 | 1967 | 5040 | 2153 | 2900 | 74400 |

O trigo de Primavera é semeado durante a segunda década de Março e é colhido na primeira década de Julho. O trigo de Inverno é semeado em Novembro e colhido em Junho. O milho é cultivado na terceira década de Abril e colhido na terceira década de Setembro. O arroz é transplantado na terceira década de Maio e colhido na segunda década de Setembro. As produções do trigo, milho e arroz variam entre 3750 – 6000, 5500 – 7500 e 6500 – 8500 kg/ha, respectivamente (Cai et al, 2003) (Figura 10).



Figura 10 – Agricultura de regadio em Ningxia; associação de milho e trigo e arrozais (Fonte: Campos et al., 2003).

O trigo e o milho são associados para que haja um maior e melhor uso do solo, assim como da energia disponível. O trigo é cultivado após derreter a água do solo, sendo o milho cultivado após o trigo alcançar a segunda ou terceira fase de crescimento (Campos et al., 2003).

Os calendários de rega do trigo e milho associados consistem basicamente em quatro aplicações durante todo o período de crescimento destas culturas (Cai et al, 2003):

- Primeira aplicação: nos primeiros dez dias de Maio, com uma dotação de rega de cerca 100~200 mm (em algumas áreas a rega é aplicada no final de Abril, podendo ocorrer uma quinta aplicação);
- Segunda aplicação: em meados de Maio, com uma dotação de cerca 100 mm;
- Terceira aplicação: nos primeiros dez dias de Junho, com uma profundidade de cerca 100 mm;
- Quarta aplicação: no início ou nos primeiros dez dias de Julho, com uma dotação de cerca 100 mm.

Se o milho for plantado separadamente, em média são aplicadas três regas em toda a fase de crescimento, a primeira no início de Maio, a segunda no final de Maio, enquanto que a terceira ocorre no final de Junho, todas com uma dotação de cerca 100 mm.

No geral, o trigo é regado 3~4 vezes e o milho 2~3 vezes, durante o período de crescimento. A quantidade de água a aplicar para preencher a capacidade de campo em cada rega é de cerca 100 mm, no entanto a actual dotação é maior, com cerca de 100~200 mm.

Para as plantações de arroz, a água de rega é aplicada cerca de 6~7 vezes durante o período de crescimento das culturas. O total de rega aplicado é de cerca 1950 mm, valor muito elevado relativamente ao valor necessário para esta cultura.

Para além da rega durante o crescimento das culturas, a rega de Inverno também é muito utilizada no perímetro de rega de Huinong. Geralmente é aplicada em Novembro ou no final de Outubro, com o intuito de conservar a água no solo para que no ano seguinte seja utilizada. A dotação desta aplicação é de cerca 200~300 mm (Cai et al, 2003).

3.1.5. Condições socio-económicas

Segundo dados estatísticos (Xu e Tian, 2003), em 2000 a população nos concelhos do HID é de cerca 515,150 habitantes, onde cerca de 78% são agricultores, distribuídos em mais de 40 municípios e 273 aldeias.

Cerca de 44% dos 55 agregados familiares no HID possuem explorações agrícolas com uma área de aproximadamente 0,67~1,33 ha, 29% tem cerca de 0,35~0,67 ha e apenas 5,5% possuem uma área superior a 6,67 ha de exploração agrícola. A média de área de exploração agrícola *per capita* é de 0,29 ha (Xu and Tian, 2003) (Tabela 3).

Tabela 3 – Área de exploração agrícola por família e concelho (Fonte: Xu e Tian, 2003).

| Concelho | Área de exploração (ha) por família | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|----------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | 0,007 ~0,35 | 0,35~0,7 | 0,7~1,4 | 1,4~2 | 2~3,3 | 3,3~6,7 | 6,7~8 |
| Pingluo | 1 | 4 | 9 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| Huinnong | 2 | 8 | 13 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Helan | 1 | 4 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Total | 4 | 16 | 24 | 5 | 3 | 0 | 3 |

Avaliação do estilo de vida das famílias

O Coeficiente de Engel (CE) é um índice adoptado como indicador do nível de vida de uma família. O CE é a relação entre as despesas de alimentação e o total de despesas para viver. Este pode ser dividido em 4 classes, como proposto pela FAO:

- CE > 0,6 – família pobre;
- CE = 0,5 ~ 0,59 – famílias que têm o suficiente para comer e vestir;
- CE = 0,4 ~ 0,49 – família confortável financeiramente;
- CE = 0,2 ~ 0,3 – reflecte uma família rica.

No perímetro de rega de Huinong, a média do CE considerada é de 0,445. No entanto, na avaliação dos padrões de vida, para além do CE, outras condições devem ser consideradas, tais como as instalações onde vivem, meios de comunicação, meio ambiente e educação. Portanto, apesar do valor CE calculado, pode-se considerar que os padrões de vida dos agricultores em HID,

correspondem à categoria de CE = 0,5 ~ 0,59, “famílias que têm o suficiente para comer e vestir” (Xu and Tian, 2003).

Desde 1980 que o governo chinês tem reestruturado a agricultura visando o aumento da produção de alimentos.

Com a introdução de um sistema de contrato parcelar, os agricultores têm o poder de tomar decisões relativas à produção, aumentando desta forma a motivação e iniciativa. Os agricultores têm contratos de terras por 30 anos com o governo, determinando que qualquer alteração num terreno nesse período exija uma aprovação de dois terços dos votos em assembleia da aldeia. No entanto, os agricultores apenas têm responsabilidade perante o Estado, podendo assinar contratos para plantar árvores em zonas acidentadas ou terrenos estéreis, ou mesmo para actividade piscatória em rios ou lagos. Todos estes contratos têm como objectivo garantir a estabilidade dos solos a longo prazo e conceder direitos de utilização dos solos aos agricultores (Xu and Tian, 2003).

3.1.6. Conclusão

O perímetro de rega Huinong foi construído e melhorado ao longo dos anos, no entanto, não existem grandes reconstruções desde o século XX. No HID é notório o conflito entre a escassez e o excesso de água que resulta em inúmeros problemas ambientais e conseqüentemente sociais.

De acordo com Cai et al. (2003), os problemas mais relevantes que se observam são:

- Grande quantidade de água de rega aplicada e baixa produtividade (30% abaixo do valor normal);
- Baixa eficiência de rega;
- Sistemas de drenagem de funcionamento inadequado, devido ao excesso de água desviado para o sistema de rega, resultado uma elevada salinidade do solo a jusante;
- Estruturas hidráulicas no sistema de rega insuficientes e distantes;
- Práticas de rega na parcela e gestão de água de rega muito antiquadas;
- Pouca qualidade técnica do pessoal;
- Comunicação entre as entidades gestoras é reduzida.

O perímetro de rega do Huinong é uma importante fonte de rendimento e produção de cereais, onde o desenvolvimento da rega na agricultura é muito importante. Este desenvolvimento é a garantia para uma agricultura sustentável e um aumento da produção das culturas, assim como o aumento do rendimento líquido dos agricultores. No entanto a dependência de rega não é a melhor forma de aumentar o rendimento familiar, uma vez que num ano de seca ou de uma outra catástrofe natural pode resultar em lucros muito baixos ou perda de dinheiro. É assim necessário desenvolver métodos de rega que visem uma gestão eficiente de forma a que a água seja distribuída uniformemente ao longo do tempo.

3.2. Modelo SEDAM

O modelo SEDAM (SEctor Demand and delivery Aggregation Model) foi desenvolvido para simular a procura e distribuição de água ao nível do Sector recorrendo à aplicação da análise multicritério (capítulo 2.3.3.) de forma a apoiar decisões para o melhoramento da gestão da distribuição e da procura de água. Este modelo aplica-se a redes colectivas de distribuição em canal (através de uma rede hierarquizada de canais) (ver capítulo 3.1.2).

Dado que as parcelas consideradas são muito pequenas, com uma média de cerca 0,1 ha, o primeiro nível para estimar e simular a procura é a Unidade, com uma área de cerca 2 a 6 ha. Considera-se que todas as parcelas da mesma Unidade têm a mesma cultura, calendários de rega, o mesmo tipo de solo, profundidade da toalha freática e condições de salinidade (Gonçalves et al., 2007).

Cada distribuidor abastece uma Unidade e está sob controlo directo dos agricultores. A procura de água ao nível dos distribuidores é calculada a partir da procura das respectivas parcelas de terreno, com base nas culturas praticadas. Os valores são posteriormente agregados de forma a avaliar a procura de água de rega em níveis mais elevados do sistema, contabilizando as perdas existentes nos canais (Figura 11).

A procura de água na Unidade é gerada utilizando interactivamente o modelo de calendarização de rega ISAREG (Liu et al., 1998), e os modelos de simulação da superfície de rega SIRMOD e SRFR [(Walker et al., 1998) e (Strekoff, 1993)] bem como os dados relativos aos arrozais (Mao et al., 2004).

Para obter os dados de entrada para o ISAREG são utilizados os modelos KCISA e EVAP56. O EVAP56 calcula a evapotranspiração de referência ET_0 (mm/dia) (Allen et al., 1998). Nesta aplicação, os dados diários das temperaturas máxima e mínima, humidade relativa, insolação e a velocidade do vento, são usados para calcular a ET_0 utilizando o método de FAO Penman-Monteith. O programa KCISA calcula os coeficientes culturais médios dos períodos inicial, intermédio e final, do desenvolvimento das culturas (respectivamente, $K_{c\ ini}$, $K_{c\ mid}$ e $K_{c\ end}$), a fracção de esgotamento da água do solo para condições de conforto hídrico (p), e a profundidade radicular (Z_r) para as fases de desenvolvimento das culturas. O modelo KCISA inclui a versão adaptada para as condições culturais e de rega típicas da área de Ningxia, considerando uma rega antes do solo congelar e aquando a sementeira após o gelo derreter.

Estes modelos foram aplicados para as condições climáticas relativas às estações meteorológicas: Yongning (latitude: 38°15'N, longitude: 106°14'E, e altitude: 1116,7 m); Pingluo (latitude: 38°55'N, longitude: 106°33'E, e altitude 1099 m) e Huinong (latitude: 39°12'N, longitude: 106°45'E, e altitude: 1091 m).

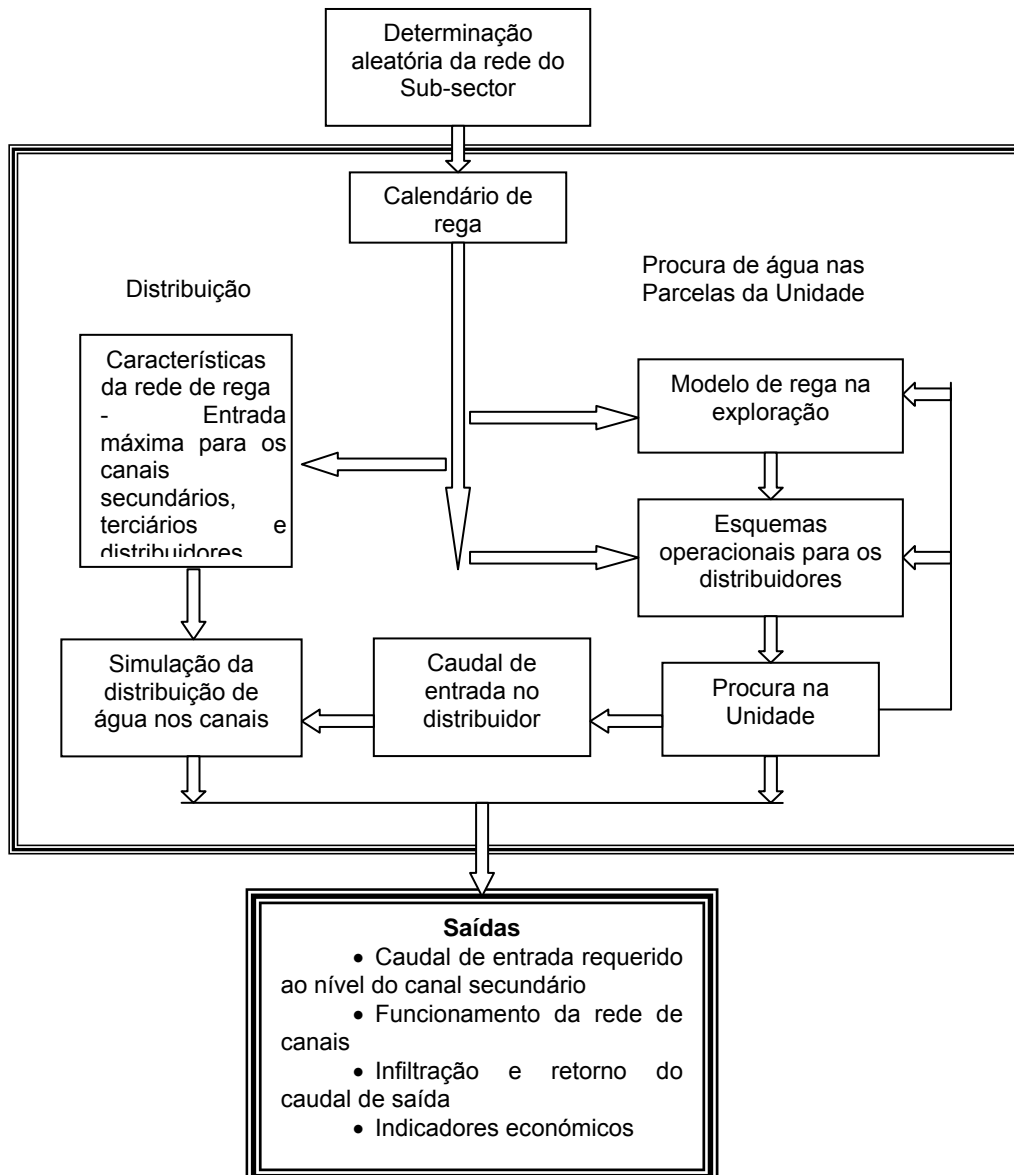


Figura 11 – Representação esquemática e componentes do modelo SEDAM (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

As classes consideradas para a água total disponível na zona radicular (TAW) foram definidas após analisar os dados observados nas propriedades hidráulicas do solo, que foram obtidas por um levantamento apropriado. Resultados de medições indicam que as propriedades do solo não apresentam grandes variações no HID. Considerando também que os solos são formados por depósitos aluviais do material que é transportado pelo Rio Amarelo, e comparando os resultados para as propriedades hidráulicas do solo a diferentes profundidades, assumiu-se que o reservatório de água no solo pode ser caracterizado uniformemente da superfície até 1 m de profundidade. Testes com o ISAREG mostraram que é suficiente considerar 3 classes de solo para a TAW (Tabela 4).

Tabela 4 – Classes de solos da TAW (Pereira, 2001).

| Classes | θ_{fc} (% volume) | θ_{wp} (% volume) | TAW (mm/m) |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1 | 42,60 | 10,19 | 324 |
| 2 | 37,51 | 9,37 | 281 |
| 3 | 32,42 | 8,55 | 239 |

O modelo ISAREG foi utilizado para avaliar diferentes cenários de rega para o trigo, milho e para a associação de trigo e milho, considerando diferentes níveis de ascensão capilar das toalhas freáticas, dotações de rega e classes de solos da TAW. As simulações consideraram duas situações para a contribuição das águas subterrâneas:

- ❖ Actual, representando as condições presentes, definidas pela média observada da profundidade das toalhas freáticas em Pingluo (1998 e 1999). Devido à elevada toalha freática durante o período das culturas, uma profundidade máxima radicular de 0,5 m foi considerada.
- ❖ Melhorada, correspondente aos valores objectivos de profundidade da toalha freática (com a máxima profundidade de 1 m) definida após as simulações dos solos das água subterrâneas e o balanço hídrico, permitindo uma profundidade radicular de 0,9 m.

A melhoria dos calendários de rega tem como objectivo a poupança de água, o controlo da percolação e a aplicação de uma fracção de lavagem de acordo com a salinidade do solo.

Os modelos ISAREG e SRFR têm a capacidade de estimar a percolação profunda e são posteriormente utilizados para definir os tempos de rega apropriados e as dotações, que satisfazem as limitações do método de rega e que resulte numa percolação mais uniforme quando a fracção de lavagem é considerada.

Os resultados do modelo ISAREG para a simulação dos calendários de rega são utilizados pelo modelo SEDAM para simular a procura ao nível da parcela. A estrutura do ficheiro (Figura 12) é a seguinte:

- 1^a coluna: classes dos solos;
- 2^a coluna: códigos das culturas (2 corresponde ao milho, 3 corresponde ao trigo e 4 corresponde ao trigo e milho associados) diferem nas datas de sementeira;
- 3^a coluna: condições de salinidade (o número 1 corresponde à situação sem salinidade);
- 4^a coluna: contribuição das águas subterrâneas (mm);
- 5^a coluna: humidade do solo no período inicial (mm);
- 6^a à 26^a coluna: volume de rega em cada decêndio (mm).

| Calendário de rega melhorado | | | | | regas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------|-------|----------|----------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--|--|--|--|--|--|
| Solo | Cultura | Sali. | T.Freat. | Winicial | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | | | | | | | |
| 1 | 2 | 1 | 0 | 177 | 133 | 0 | 0 | 0 | 110 | 0 | 110 | 110 | 0 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | | | | | | |
| 2 | 2 | 1 | 35 | 144 | 125 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | | | | | | |
| 3 | 2 | 1 | 206 | 110 | 119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 0 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | | | | | | |
| 1 | 3 | 1 | 2 | 236 | 139 | 0 | 100 | 100 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 | | | | | | |
| 2 | 3 | 1 | 54 | 199 | 128 | 0 | 110 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106 | | | | | | |
| 3 | 3 | 1 | 179 | 161 | 118 | 0 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88 | | | | | | |

Figura 12 – Ficheiro de entrada do SEDAM para o calendário de rega melhorado, para exemplo das culturas de trigo e milho.

Os dados de solo, comprimento da parcela, declive e dotações de rega calculados pelos programas SIRMOD e SRFR, sendo interpolados de forma a caracterizar todas as situações de rega, actual e melhorada, para todos os declives. Consideram-se os resultados da simulação para três comprimentos de parcela e para diferentes caudais (0,5 Ls⁻¹m⁻¹ a 1 Ls⁻¹m⁻¹) (Anexo V).

As avaliações nas parcelas foram utilizadas para prever a situação actual no desempenho de rega da exploração das culturas de trigo e milho, gerando alternativas para a melhoria da rega de superfície (Pereira et al., 2007). A investigação nas parcelas foi adaptada para avaliar a rega do arroz numa situação actual e de melhoria (Mao et al., 2004), assim como para caracterizar os sistemas de distribuição (Dong et al., 2003). Os critérios socio-económicos e os atributos utilizados para a análise multicritério foram desenvolvidos mediante estudos socio-económicos ao nível da parcela (Xu e Tian, 2003). Para avaliar as simulações da procura e distribuição de água para o cenário actual, foram utilizados dados recolhidos relativos ao sistema de abastecimento (Xie et al., 2003).

Os dados económicos considerados na entrada do SEDAM estão apresentados nas tabelas 5, 6 e 7. Estes dados obtidos directamente, dizem respeito aos custos unitários, à taxa de rega na parcela, ao preço unitário de produção, factor de resposta ao défice hídrico, assim como a produção máxima unitária (Tabela 8), sendo que esta última se mantém constante ao longo dos cenários.

Tabela 5 – Custos unitários e taxa de rega na parcela.

| Custo unitário da água (€/m ³) | Taxa de rega na parcela (€/ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Custo unitário de nivelamento do terreno (€/hora) | Custo unitário de revestimento (€/m ⁻¹ ano ⁻¹) | Custo unitário de mão-de-obra (€/h) | Tempo de mão-de-obra na rega [(h ha ⁻¹)ano ⁻¹] | Custo unitário de drenagem presente (€/ha) |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0.0045 | 120 | 400 | 40 | 10 | 30 | 10 |

Tabela 6 – Preço unitário de produção para cada cultura e factor de resposta ao défice hídrico.

| | Preço unitário de produção (¥ kg ⁻¹ cultura ⁻¹) | K _y – Factor de resposta ao défice hídrico [] |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Arroz | 0,94 | ----- |
| Milho | 1,3 | 1,25 |
| Trigo | 1,3 | 1,15 |
| Milho/trigo | 1,3 | 1,19 |

Tabela 7 – Custos unitários da parcela, à escala do Sub-sector por cultura.

| Custos unitários de produção (¥/ha) | | | | |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------------|
| Cenários do Sub-Sector | Arroz | Milho | Trigo | Milho/trigo |
| 0 | 2815 | 2500 | 3270 | 2900 |
| 1 | 2832 | 2513 | 3281 | 2912 |
| 2 | 2849 | 2525 | 3293 | 2923 |
| 3 | 2866 | 2538 | 3304 | 2935 |
| 4 | 2883 | 2550 | 3316 | 2947 |

Tabela 8 – Produção máxima unitária e nível de salinidade, por cenários do Sub-Sector e cultura.

| Produção máxima unitária (kg/ha) | | | | | |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| Cenários | Arroz | Milho | Trigo | Milho/trigo | Salinidade |
| 0 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |
| 1 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |
| 2 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |
| 3 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |
| 4 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |
| 5 | 7000 | 9300 | 5600 | 8940 | 1 |
| | 6750 | 5400 | 5400 | 6480 | 2 |
| | 6850 | 0 | 5000 | 0 | 3 |

Os dados utilizados para a simulação a várias escalas, nomeadamente da Divisão, Sector, Sub-sector e Unidade, estão sumariados na tabela 9.

Tabela 9 – Características dos dados do sistema de rega a várias escalas e respectivas origens (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

| Escala | Características dos dados | Origem dos dados |
|-------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Divisão | • Profundidade das toalhas freáticas; | ❖ Observações e objectivo (futuro); |
| | • Distribuição das culturas; | ❖ Observados e determinados aleatoriamente; |
| | • Cultura – água – salinidade – função de produção; | ❖ Estimados; |
| | • Calendário de rega. | ❖ Calculados. |
| Sector | • Caudal de entrada do canal secundário; | ❖ Dados característicos da parcela observados. |
| | • Área regada do Sub-sector; | |
| | • Largura do canal secundário; | |
| | • Caudal de entrada do projecto no canal secundário. | |
| Sub-sector | • Número e largura dos canais terciários; | ❖ Determinação aleatória baseada em registos e levantamentos. |
| | • Descargas; | |
| | • Tipo de solo; | |
| | • Grau de salinidade; | |
| | • Tipo e número de Unidades. | |
| Unidade | • Cultura; | ❖ Determinação aleatória baseada em observações e levantamentos na parcela |
| | • Topografia da parcela; | |
| | • Infiltração do solo. | |

3.1.1. Estratégia de aplicação do modelo

A disponibilidade de dados que descrevem o sistema de rega é bastante escassa quando considerado o tamanho do perímetro de rega em análise (74400 ha regados e cerca de 750 mil parcelas). Os dados de solos foram obtidos em inquéritos (Pereira et al., 2007) e as informações sobre as culturas referem-se à distribuição percentual ao nível da Divisão. A percentagem de distribuição da profundidade das toalhas freáticas e salinidade foi estimada à escala da Divisão.

As características de cada Sector são parcialmente conhecidas (Gonçalves et al., 2003):

- Área, número, comprimento e caudais máximos dos canais secundários;
- Número, comprimento, caudais e a área servida pelos canais terciários;
- Caracterização, número, comprimento e caudais dos distribuidores.

Os dados relativos à área e comprimento dos canais secundários dos Sub-sectores são conhecidos, sendo os restantes dados (número, caudais) obtidos aleatoriamente.

O modelo SEDAM adopta um procedimento aleatório para obtenção dos dados relativos aos canais terciários, distribuidores e Unidades que forem necessários para a simulação da procura e distribuição de água. A distribuição actual (% de área) do tipo de solos (capacidade de retenção de água), infiltração do solo, profundidade das toalhas freáticas e a salinidade em cada Sector são utilizados aleatoriamente para determinar estes dados para os diferentes canais secundários do Sector (Gonçalves et al., 2007). A determinação destes dados é feita por probabilidades.

A distribuição actual das respectivas culturas e métodos de rega – rega por canteiros para as culturas de trigo e milho e por alagamento no arroz – são utilizados aleatoriamente para as Unidades (Gonçalves et al., 2007).

As características topográficas das parcelas nas Unidades são definidas aleatoriamente usando dados característicos de comprimento, largura e declive.

A razão entre a média actual do caudal de entrada e o caudal definido no canal secundário do Sector é utilizada para estimar os caudais disponíveis nos canais secundários. A razão entre o caudal e a área abastecida é utilizada para gerar os caudais nos canais terciários. A razão entre a área e o comprimento é adoptada para gerar dados nos canais terciários (Gonçalves et al., 2007).

É utilizado um controlo para verificar se a soma das áreas e os caudais gerados são próximos dos actuais. Quando esta proximidade não se verifica, os procedimentos aleatórios são repetidos até que os valores actuais e previstos sejam semelhantes (isto é, com uma diferença inferior a 5%) (Gonçalves et al., 2007).

As hipóteses apresentadas não permitem atribuir resultados das simulações para um determinado canal secundário ou terciário, mas permitem avaliar o desempenho do sistema de abastecimento à escala do Sector. No entanto, o modelo SEDAM pode ser testado através da comparação do abastecimento actual de 10 dias para os Sectores e Divisões com os resultados do modelo correspondente aquando a simulação para as condições actuais. O intervalo de 10 dias é adoptado porque é o tempo utilizado para a atribuição da água aos Sectores. Após a análise, o modelo tem a capacidade de avaliar os impactos das melhorias nos sistemas de exploração (por exemplo, calendários de rega, caudal de entrada, nivelamento de terras) e na gestão do sistema de canais. Os resultados das simulações podem ajudar a criar novos calendários de distribuição, mas não permitem elaborar as regras de gestão em tempo real para o sistema de distribuição (Gonçalves et al., 2007).

3.1.1.1. Simulação da procura e distribuição de água à escala da Unidade

A simulação da procura à escala da Unidade requer várias etapas (Figura 13) (Gonçalves et al. (2007)):

- O caudal de entrada nos distribuidores abastecidos por qualquer canal terciário é gerado aleatoriamente tendo em consideração a área regada e a probabilidade de ocorrência de caudais. Os caudais de entrada nos distribuidores (Q_T , l/s) são ajustados considerando os dados característicos sobre o número de distribuidores que operam simultaneamente;

- Os volumes de infiltração são calculados a partir de uma razão de eficiência dos distribuidores (E_{fT}), que é estimada como uma função do comprimento terciário L_T (m) e um factor de infiltração S_f ($L s^{-1} m^{-1}$) referindo-se ao comprimento dos canais terciários (Li et al., 2003). O caudal de entrada líquido na Unidade é então $Q'_T = E_{fT} Q_T$ (l / s);

- O caudal de entrada na parcela q_F (l/s) é gerado aleatoriamente a partir das probabilidades observadas, permitindo depois uma estimativa do número de parcelas regadas simultaneamente, $N_F = INT (Q'_T/q_F)$. Assim, os cálculos ao nível da parcela são realizados utilizando um caudal ajustado $q'_F = Q'_T/N_F$;

- O modelo ISAREG simula um calendário de rega para cada combinação clima – solo – profundidade da toalha freática – salinidade – cultura, ou seja, as épocas e dotações de rega (D , mm). Estes dados são utilizados pelos modelos SIRMOD ou SRFR para cada combinação infiltração no solo – profundidade das toalhas freáticas – comprimento da parcela – largura da parcela – caudal de entrada, de forma a determinar o tempo de duração da rega, t_i . Estes modelos aplicam os conjuntos de dados característicos e produzem uma base de dados. O SEDAM acede a esta base de dados e interpola os dados de acordo com as características da parcela considerada;

- Os mesmos modelos de simulação criam os atributos de rega na parcela que também são armazenados na base de dados. Seguidamente o SEDAM lê e interpola os valores, criando os atributos de rega na Unidade. Estes atributos incluem as necessidades hídricas, percolação, caudais excedentes, exigências de mão-de-obra e as perdas na produção da cultura, que são utilizados para avaliar o desempenho dos cenários.

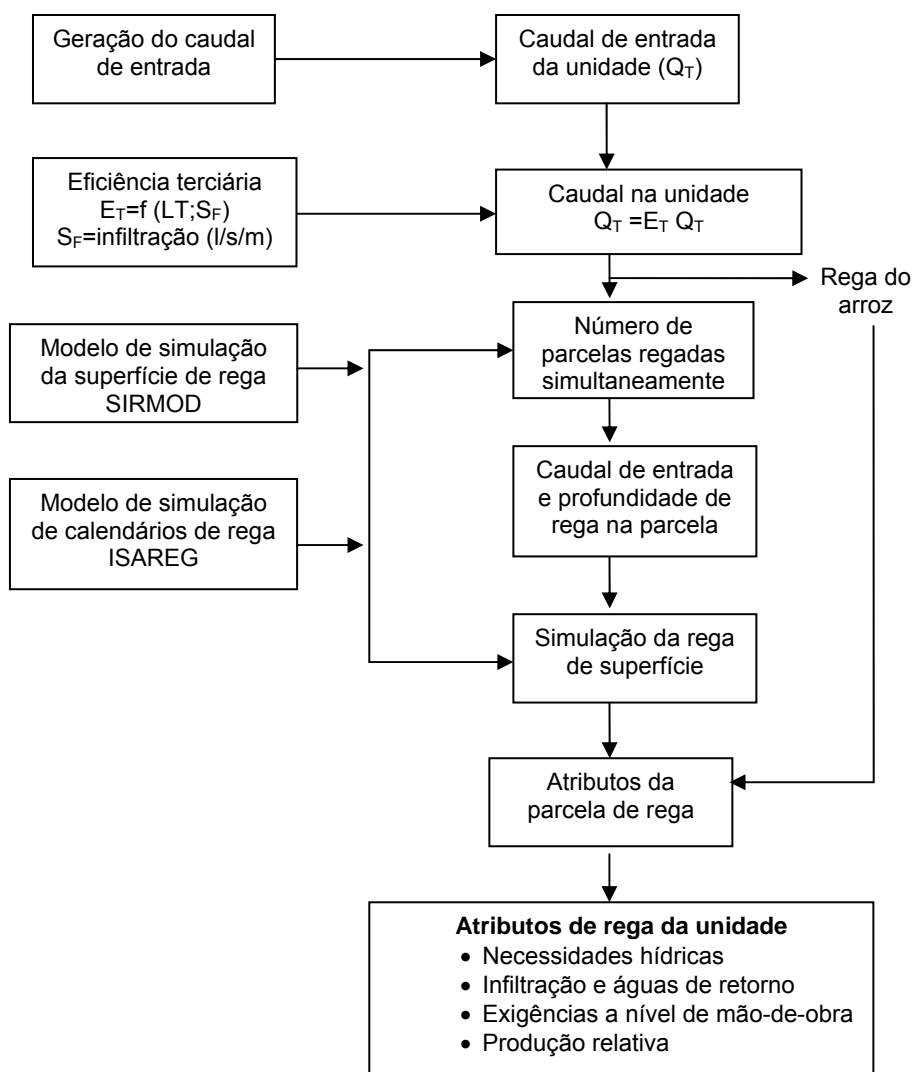


Figura 13 – Esquema da simulação da exigência e distribuição de água à escala da Unidade (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

3.1.1.2. Simulação da procura e distribuição de água ao nível do Sector

Os agricultores abastecidos pelos distribuidores solicitam água ao gestor do canal secundário, que compila todos os pedidos do Sub-sector e depois solicita um determinado caudal de entrada e abastecimento diário à Autoridade da Divisão. Esta última decide a atribuição de um determinado caudal de entrada durante um dia inteiro para cada canal secundário, visando minimizar o número de dias, em cada período de 10 dias, que cada canal secundário é abastecido (Gonçalves et al., 2007).

Ao ter conhecimento que a água será atribuída ao canal secundário, os agricultores planeiam a sua distribuição ajustando os caudais de entrada para os distribuidores e as parcelas e o respectivo tempo de aplicação. No entanto, a prática de rega ocorre apenas durante o período diurno; a água abastecida através dos canais e distribuidores durante o período nocturno perde-se para o sistema de drenagem. Os agricultores que não conseguem regar durante esse período têm a

possibilidade de regar noutro dia. O escoamento que ocorre durante a noite e a água distribuída que não é utilizada contribuem para o mau desempenho do sistema de drenagem e saturação dos solos no HID (Gonçalves et al., 2007).

A procura de água em cada Sub-sector é estimada diariamente. O modelo determina inicialmente os dias de abastecimento de água considerando uma certa flexibilidade nas distribuições. Além disso, outros procedimentos relativos às práticas reais da parcela são adoptados para simular as condições actuais de distribuição (Gonçalves et al., 2007).

Ao simular cenários melhorados, os procedimentos actuais de distribuição são modificados. As alterações produzidas envolvem geralmente a sequência de rega das Unidades, duração de rega diurna, caudais de entrada no canal secundário, e a frequência de casos em que não é utilizada a água distribuída às parcelas.

O modelo permite a opção de distribuição de água às Unidades:

- (a) Adoptando um procedimento de selecção aleatória das Unidades, ou
- (b) Adoptando uma rotação de distribuição fixa.

3.1.2. Variáveis de decisão ao nível do Sub-sector

A construção dos cenários de melhoria do sistema pressupõe um melhoramento do sistema de drenagem, só sendo esta possível se forem tomadas medidas de reabilitação em grande escala, nomeadamente ao nível da Divisão. Foi considerado como objectivo que a toalha freática esteja controlada não excedendo uma profundidade inferior a 1,0 m.

Os cenários para a poupança de água e de melhoria das condições das culturas são desenvolvidos de acordo com o processo de tomada de decisão resumido na Tabela 10. Este processo considera dois níveis, a parcela e o sistema de distribuição; nestes diferem os objectivos do decisor, as variáveis de decisão em relação às melhorias consideradas e as limitações.

Tabela 10 – Processo da tomada de decisão para a melhoria de rega e poupança de água (Fonte: Gonçalves et al., 2003).

| Escalas da tomada de decisão | | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Parcela (ou Unidade) | Sistema de distribuição |
| Objectivos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Minimização dos custos; ➤ Maximização da produção; ➤ Maximização dos benefícios; ➤ Minimização da salinização; ➤ Maximização da poupança de água. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Minimização dos custos; ➤ Maximização dos rendimentos & benefícios; ➤ Minimização dos impactos no sistema de drenagem; ➤ Maximização dos benefícios sociais. |
| Variáveis de decisão | <ul style="list-style-type: none"> (A) Caudal de entrada na parcela; (B) Calendário de rega da parcela; (C) Nivelamento do terreno; (D) Gestão de rega do arroz; (I) Recuperação de solos salinos. | <ul style="list-style-type: none"> (E) Água distribuída não utilizada; (F) Revestimento do canal de distribuição; (G) Calendário de distribuição; (H) Escoamento das distribuições nocturnas; (I) Recuperação de solos salinos. |
| Limitações | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Custo de água; ➤ Área de terra cultivada; ➤ Taxas de terra; ➤ Práticas agronómicas na parcela. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rede do sistema de canais; ➤ Máximo caudal de entrada descarregado. |

As variáveis de decisão (Tabela 11) referem-se aos parâmetros de concepção e gestão utilizados na procura e abastecimento dos sistemas de distribuição e exploração, lidando com dois ou três níveis de melhoria para ambos os sistemas.

Tabela 11 – Variáveis de decisão do sub sector para desenvolver alternativas para melhoria dos cenários (Fonte: Gonçalves et al., 2003).

| Variáveis de decisão | | Valores das variáveis |
|----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| A | Caudal de entrada na parcela | A ₁ =aleatório (0,5 cresce para 3 l/s/m); |
| | | A ₂ =óptimo $Q = f(L, S_0, Inf, n)$. |
| B | Calendário de rega da parcela | B ₁ =actual; |
| | | B ₂ =melhorado, com FL=15%; |
| | | B ₃ =melhorado, sem FL. |
| C | Nivelamento da parcela | C ₁ =actual; |
| | | C ₂ =nivelamento zero. |
| D | Gestão de rega do arroz | D ₁ =actual; |
| | | D ₂ =melhorado. |
| E | Água distribuída e não aplicada pelo agricultor | E ₁ =actual (simulado); |
| | | E ₂ =reduzida a 50%. |
| F | Revestimento do canal de distribuição | F ₁ =actual; |
| | | F ₂ =revestido. |
| G | Calendário de distribuição | G ₁ =aleatório (sem rotação); |
| | | G ₂ =rotação do canal secundário. |
| H | Tempo diário de abastecimento | H ₁ =abastecimento 24h/dia; |
| | | H ₂ =abastecimento 21h/dia; |
| | | H ₃ =abastecimento 18h/dia. |
| I | Recuperação de solos salinos | I ₁ =actual |
| | | I ₂ =melhoria do primeiro nível; |
| | | I ₃ =melhoria do segundo nível. |

As melhorias no sistema são desenvolvidas através da combinação das variáveis definidas na tabela 12 de maneiras diferentes. A situação actual corresponde à combinação onde todas as variáveis de decisões correspondem ao nível 1. A simulação dos cenários é desenvolvida assumindo que os níveis melhorados serão implementados gradualmente, ou seja, apenas em parte da área de cada Sector e Divisão (Tabela 13) (Gonçalves et al., 2007).

No entanto, a aplicação efectiva da melhoria no sistema implica mudanças no sistema de distribuição: principalmente uma redução do total de desvios no canal Huinong e na melhoria da regulação e controlo das estruturas (Gonçalves et al., 2007). Estas mudanças devem proporcionar níveis mais adequados de água nos canais e um melhor controlo dos caudais (Roost et al., 2003) e, em última instância, favorecer o funcionamento e desempenho do sistema de drenagem, atingindo deste modo o objectivo de profundidade da toalha freática (Gonçalves et al., 2007). Ou seja, sem um melhoramento no sistema de distribuição e de drenagem, as melhorias previstas não são realistas.

Tabela 12 – Características dos cenários ao nível do Sub-sector (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

| Cenários | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 (Actual) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| I | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| II | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| III | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| IV (Máximo melhoramento) | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |

Tabela 13 – Cenários característicos para a poupança de água ao nível do Sector e Divisão (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

| Cenários do Sector | Proporções dos cenários no Sub-sector (%) | | | | | Tempo de implementação do projecto (anos) |
|--------------------|-------------------------------------------|-----|----|-----|----|-------------------------------------------|
| | 0 (Actual) | I | II | III | IV | |
| 0 (Actual) | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 80 | 20 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 3 |
| 4 | 0 | 40 | 40 | 20 | 0 | 4 |
| 5 | 0 | 20 | 40 | 30 | 10 | 5 |
| 6 | 0 | 0 | 30 | 40 | 30 | 6 |
| 7 | 0 | 0 | 10 | 50 | 40 | 7,8 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 9,10 |

3.1.3. Aplicação da análise multicritério

A avaliação dos resultados das simulações para os oito cenários definidos na tabela 9 é realizada com a ajuda de vários indicadores (Tabela 14). A análise multicritério é realizada considerando três grupos de critérios (Tabela 15):

- Os benefícios esperados para os agricultores,
- Os custos previstos para os agricultores e o perímetro de rega, e
- Os benefícios ambientais devido à poupança de água.

Tabela 14 – Indicadores de desempenho: fórmulas e unidades (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

| Indicadores de desempenho | Fórmula de cálculo | Unidades |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|
| I_1 = custo de rega na exploração por unidade de área regada | $I_1 = \frac{C_{fw} + C_{fl}}{A}$ | €/ha |
| I_2 = custo de rega na exploração por unidade de volume de rega | $I_2 = \frac{C_{fw} + C_{fl}}{V_{ft}}$ | €/m ³ |
| I_3 = produção de cereais por unidade de área de rega | $I_3 = Y_c / a$ | kg/ha |
| I_4 = produção de cereais por unidade de volume de rega | $I_4 = Y_c / V_{ft}$ | kg/m ³ |
| I_5 = produto bruto por área regada | $I_5 = GP / A$ | €/ha |
| I_6 = produto bruto por volume de água de rega | $I_6 = GP / V_{ft}$ | €/m ³ |

Tabela 14 (Continuação) – Indicadores de desempenho: fórmulas e unidades (Fonte: Gonçalves et al., 2007).

| Indicadores de desempenho | Fórmula de cálculo | Unidades |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------|
| I_7 = rendimento do agricultor por unidade de área de rega | $I_7 = GM / A$ | €/ha |
| I_8 = rendimento do agricultor por unidade de volume de água de rega | $I_8 = GM / V_{ft}$ | €/m ³ |
| I_9 = custo total de água por unidade produzida | $I_9 = C_{fwt} / Y_c$ | €/kg |
| I_{10} = custo total de água por volume de água utilizada | $I_{10} = C_{fwt} / V_{ft}$ | €/m ³ |
| I_{11} = custo total de água por produção bruta | $I_{11} = \frac{C_{fwt}}{GP} * 100$ | % |
| I_{12} = custo total de água por custo de produção na exploração | $I_{12} = \frac{C_{fwt}}{C_{fyc}} * 100$ | % |
| I_{13} = custos de nivelamento do terreno por área de rega | $I_{13} = C_{landlev} / A$ | €/ha |
| I_{14} = custos de nivelamento do terreno por GP | $I_{14} = \frac{C_{landlev}}{GP} * 100$ | % |
| I_{15} = escoamento e percolação no sistema de exploração | $I_{15} = \frac{V_{frp}}{V_{ft}} * 100$ | % |
| I_{16} = eficiência de aplicação no sistema de exploração | $I_{16} = \frac{V_{fn}}{V_{ft}} * 100$ | % |
| I_{17} = poupança de água no sistema de exploração | $I_{17} = \frac{V_{ft}^{pre} - V_{ft}^{imp}}{V_{ft}^{pre}} * 100$ | % |
| I_{18} = melhoramentos na produção relativa | $I_{20} = \frac{Y_c^{imp} - Y_c^{pre}}{Y_c^{pre}}$ | % |
| I_{19} = melhoramento no produto bruto relativo | $I_{21} = \frac{GP^{imp} - GP^{pre}}{GP^{pre}} * 100$ | % |
| I_{20} = custo de água no sistema de abastecimento por água distribuída | $I_{22} = C_{dwt} / V_{dt}$ | €/m ³ |
| I_{21} = escoamento e percolação no sistema de abastecimento por volume | $I_{23} = \frac{V_{drp}}{V_{dt}} * 100$ | % |
| I_{22} = custos de mão-de-obra no abastecimento | $I_{24} = \frac{C_{dlb}^{imp} - C_{dlb}^{pre}}{C_{dlb}^{pre}} * 100$ | % |
| I_{23} = custos de revestimento do abastecimento | $I_{25} = C_{dti} / A$ | €/ha |
| I_{24} = poupança de água global | $I_{26} = \frac{V_{dt}^{pre} - V_{dt}^{imp}}{V_{dt}^{pre}} * 100$ | % |
| I_{25} = custo global de rega por área de rega | $I_{27} = C_{girrig} / A$ | €/ha |
| I_{26} = custo global de rega por volume total de rega atribuída | $I_{28} = C_{girrig} / V_{dt}$ | €/m ³ |
| I_{27} = eficiência de aplicação do sistema global | $I_{29} = \frac{V_{fn}}{V_{dt}} * 100$ | % |
| I_{28} = custo global de água por volume total de rega atribuída | $I_{30} = C_{gwater} / V_{dt}$ | €/m ³ |

As funções utilidade relativas aos critérios da Tabela 15 são:

$$\text{Benefícios: } (j = 1): U_1 = \alpha_M X_1$$

$$\text{Custos: } (j = 2 - 7): U_j = 1 - \alpha_M X_j$$

$$\text{Impactos ambientais: } (j = 8 - 10): U_j = 1 - \alpha_W X_j$$

$$\text{Onde, } \alpha_M = 1.0 \times 10^{-4} \text{ (} U_j=0 \Leftrightarrow \text{ custo } X_j=1 \times 10^4 \text{ ¥/ha, } j=1-4),$$

$$\text{e } \alpha_W = 3.33 \times 10^{-5} \text{ (} U_j=0 \Leftrightarrow \text{ volume de água } X_j=3.33 \times 10^4 \text{ m}^3\text{/ha, } j=5-7).$$

Adoptando os pesos definidos pelo utilizador (λ) para todos os critérios j , o valor de utilidade global é obtida pelo método da soma ponderada linear:

$$U = \sum_{j=1}^{10} \lambda_j U_j$$

(3.1)

Nesta aplicação, os cenários são classificados de acordo com os valores de utilidade globais e os pesos são seleccionados de forma a que não seja dada prioridade a nenhum dos critérios, ou seja, estabelecendo um equilíbrio entre os critérios económicos e ambientais (Tabela 15).

Tabela 15 – Critérios, atributos e pesos utilizados na análise multicritério.

| Critérios | Atributos | Unidades | Pesos (%) |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Benefícios | 1 – Margem bruta | ¥/ha | 5 |
| Custos | 2 – Custo total de água na exploração | ¥/ha | 5 |
| | 3 – Custo de abastecimento | ¥/ha | 12,5 |
| | 4 – Custo de drenagem | ¥/ha | 12,5 |
| | 5 – Custo de rega na exploração | ¥/ha | 5 |
| | 6 – Produto bruto | ¥/ha | 5 |
| | 7 – Custos de nivelamento do terreno | ¥/ha | 5 |
| | Impactos ambientais | 8 – Uso de água | m ³ /ha |
| 9 – Escoamento e percolação na exploração | | m ³ /ha | 16,8 |
| 10 – Escoamento e percolação no abastecimento | | m ³ /ha | 16,6 |

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho escolheram-se duas Divisões (1 e 4) e dois Sub-sectoros (o 42119 e o 1217) do perímetro de rega de Huinong. O critério de escolha das Divisões baseou-se nos caudais de entrada de ambas, dado que a Divisão 4 tem um caudal de entrada inferior ao da Divisão 1, e os Sub-sectoros dado que são os mais indicativos destas Divisões no que diz respeito à área, tendo o Sub-sector 1217 cerca de 635 ha e o 42119 cerca de 392 ha.

É feita uma análise dos custos e impactos associados à produção das culturas de arroz, milho, trigo e associação de trigo e milho, e depois a análise das produtividades da água, nas Divisões 4 e 1, do perímetro de rega de Huinong.

4.1. Resultados da simulação ao nível da Divisão

Os resultados para as Divisões 4 e 1 são apresentados nos Anexos I e II.

4.1.1. Análise dos custos associados à produção das culturas

Os valores dos custos de rega, água e mão-de-obra, e produto bruto, são apresentados na figura 14, para os vários cenários de melhoria do sistema.

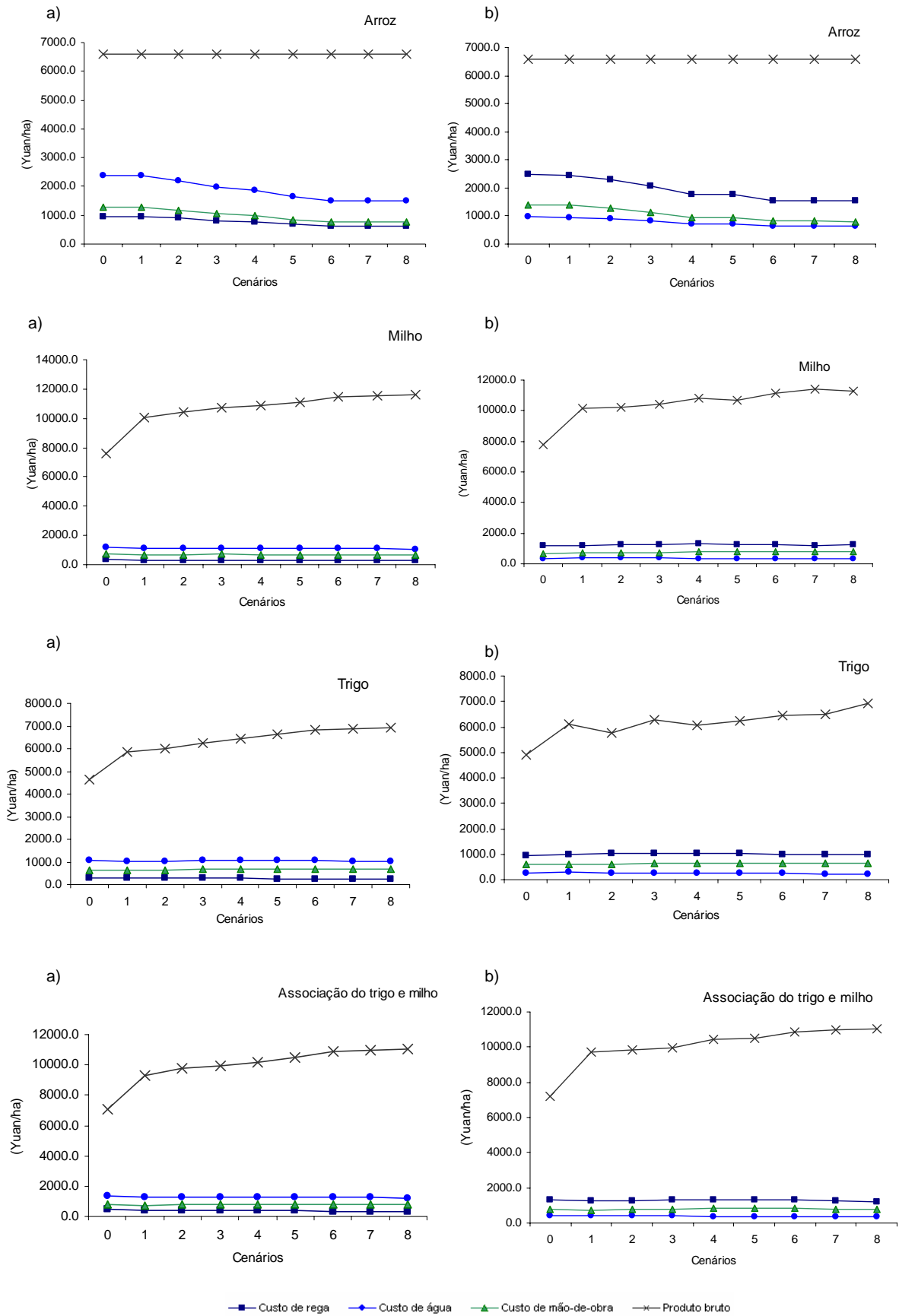


Figura 14 – Custos de rega, água, mão-de-obra e produto bruto para as diferentes culturas, nas Divisões 4 e 1, respectivamente a) e b), para os vários cenários.

Comparando os resultados para as diferentes culturas, conclui-se que os custos associados à produção das culturas são muito semelhantes nas duas Divisões, dada a analogia das condições de base das várias Divisões.

Para o arroz, dado ser uma cultura que tem uma maior exigência de água, resultam custos de rega, água e mão-de-obra associados superiores às restantes culturas. O valor do custo de rega no cenário actual para o arroz é de 2370 ¥/ha e 2495 ¥/ha, respectivamente para a Divisão 4 e 1, muito superior quando comparado com o valor das restantes culturas. Isto deve-se aos valores de usos totais de rega, que são muito elevados no cenário actual (cerca de $2,1 \times 10^4$ m³/ha). Com as melhorias no sistema, estes valores mantêm-se praticamente constantes para as várias culturas, com excepção do arroz, que diminui para cerca de metade no cenário 8 (aproximadamente $1,4 \times 10^4$ m³/ha).

Observa-se uma redução nos custos no arroz em cerca de metade, em comparação com as restantes culturas que se mantêm praticamente constantes. A esta redução está associada uma melhoria do sistema de drenagem, que proporciona uma diminuição das perdas por escoamento, exigindo uma menor quantidade de água de rega por forma a garantir a existência de uma lâmina de água favorável, resultando numa diminuição dos custos associados à rega. Assim, com melhorias significativas nos cenários ao nível da calendarização de rega, da melhoria da gestão do arroz, da redução da água não utilizada para metade, a diminuição do tempo de distribuição de 24 horas para 18 horas, o revestimento dos canais e o nivelamento do terreno, são cruciais para a diminuição das perdas de água.

Relativamente ao produto bruto, observa-se um ligeiro aumento no cenário 1 nas culturas de trigo e milho associadas, no trigo e no milho, devido ao aumento de produção que está associado às melhorias do sistema. O milho apresenta um valor de produto bruto superior às restantes culturas devido à sua maior produção, por exemplo no cenário 1 com 7747 kg/ha e 7807 kg/ha, respectivamente para as Divisões 4 e 1. Consequentemente esta produção também será maior para as culturas de trigo e milho associadas. Para o arroz os valores mantêm-se constantes ao longo de todos os cenários, dado que o valor da quantidade produzida também é constante (7000 kg/ha).

A evolução dos custos associados ao sistema de produção nos cenários para ambas as Divisões consideradas tem assim maior relevância para a cultura do arroz, considerando-se o produto bruto mais relevante para as restantes culturas.

4.1.2. Análise dos impactos associados à produção das culturas

Na figura 15 apresentam-se os valores dos usos benéficos, não benéficos e totais de água, para as diferentes culturas nas Divisões 4 e 1, respectivamente. O custo de água na parcela inclui o custo do volume de água e as taxas fixas de drenagem e rega (cf. fórmula usada no cálculo, capítulo 3).

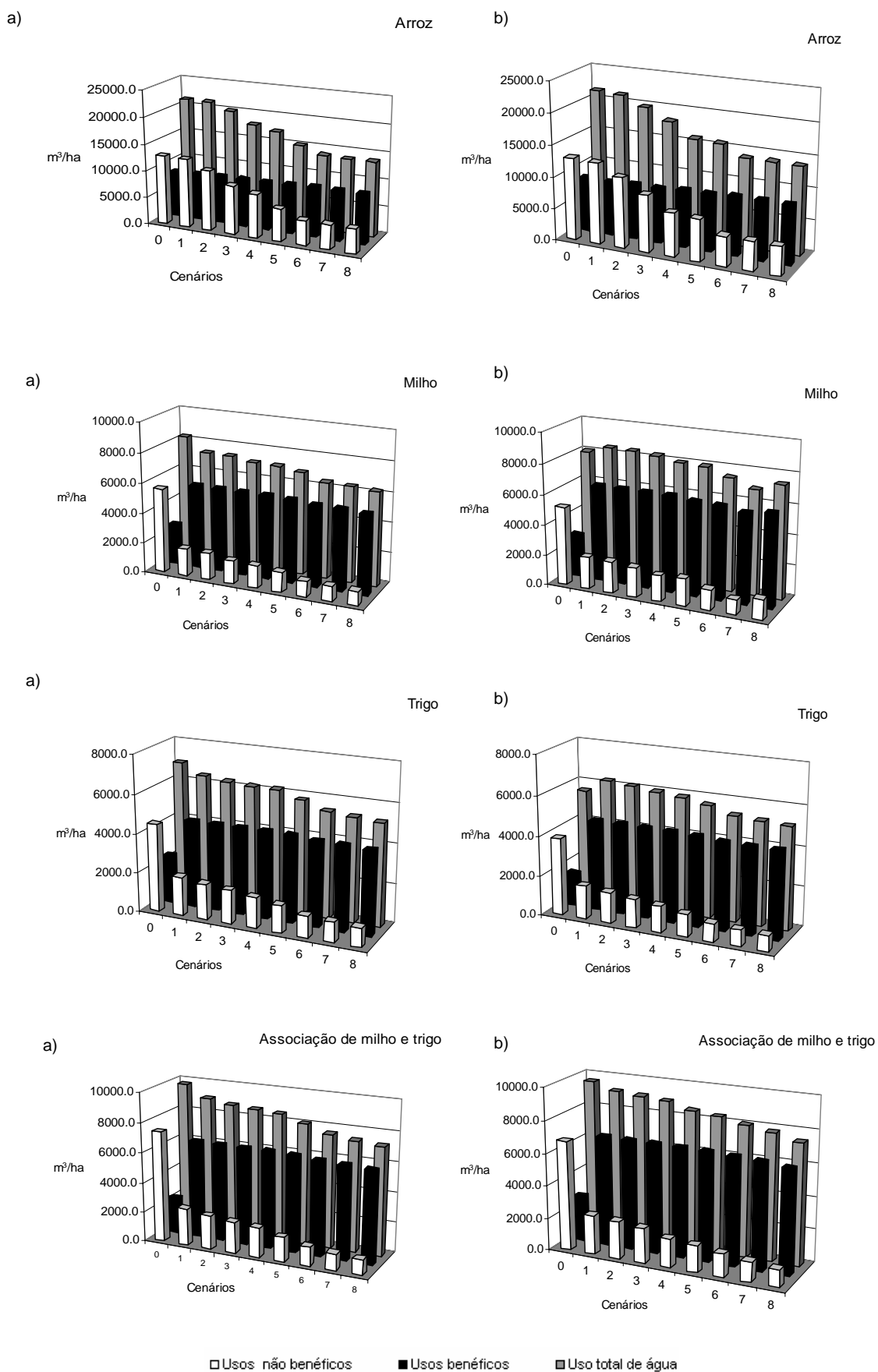


Figura 15 – Usos total de água, benéficos e não benéficos, para as Divisões 4 e 1, respectivamente a) e b), para os vários cenários.

Para os valores dos usos de água observa-se uma grande semelhança no comportamento nos cenários para ambas as Divisões.

Relativamente aos usos benéficos e não benéficos, observa-se uma evolução contrária do cenário actual para o cenário 1, nas Divisões, os usos benéficos aumentam contrariamente aos não benéficos. Isto deve-se ao facto das melhorias efectuadas no sistema, nomeadamente a diminuição para cerca de metade da água recusada, que se efectua no cenário 1, a diminuição progressiva do tempo de abastecimento, das 24 horas para as 18 horas diárias, o nivelamento do terreno e a melhoria da calendarização de rega. O nivelamento do terreno que é efectuado a partir do cenário 2 e o melhoramento dos calendários de rega, a partir do cenário 1, diminuem a percolação que se observa nas parcelas. O aumento dos usos consumptivos resulta na melhoria das condições de produção das culturas, com o controlo da saturação e salinidade do solo.

No entanto, observa-se que os usos totais de água são elevados mesmo aquando os melhoramentos do sistema, observando-se por exemplo para o milho 7409 m³/ha, sendo usos não benéficos cerca de 1285 m³/ha. Esta relação provém do facto de os usos da água não dependerem somente das melhorias realizadas no sistema de distribuição e de drenagem, como consideradas no modelo, uma vez que o factor social e económico tem um papel relevante na utilização da água. Os usos da água estão em geral condicionados de forma significativa pelas políticas de incentivos à poupança de água que são incutidas no agricultor. A aplicação de políticas de preços da água desajustados poderá ter efeitos negativos não só para o ambiente, como também para a economia e a sociedade em geral.

4.1.3. Utilidades

As utilidades dos cenários para as Divisões 1 e 4 estão apresentadas na figura 16.

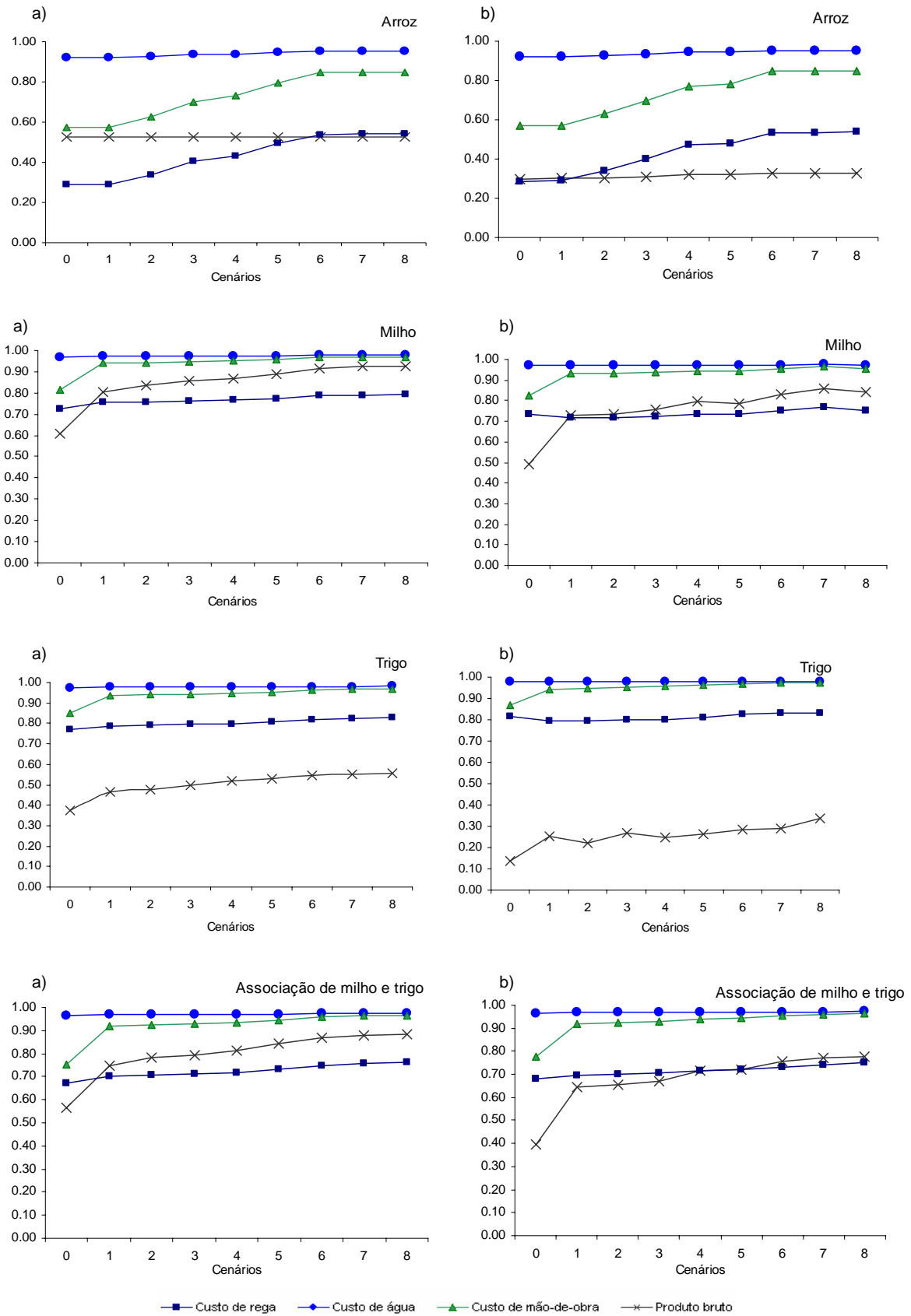


Figura 16 – Utilidades do custo de água, usos não benéficos, margem bruta e uso total de rega, para as diferentes culturas e cenários, para as Divisões 4 e 1, respectivamente, a) e b).

Constata-se que o valor de utilidade do custo de água se mantém constante igual à unidade, para todas as culturas nas duas Divisões, devido ao reduzido impacto que os custos de água têm nos custos de produção. Relativamente aos usos não benéficos, como seria de esperar, dado que os valores de utilidade dependem linearmente dos seus atributos, há um aumento superior no arroz. Relativamente aos usos totais de água, os valores de utilidade aumentam ligeiramente, nos cenários 3 e 5, de ambas as Divisões, e a margem bruta também se mantém constante para a cultura do arroz.

Nas culturas de milho, trigo e estas associadas, há um aumento do valor de utilidade da margem bruta no cenário 1. As utilidades dos usos não benéficos aumentam ligeiramente no cenário 1 e os dos usos totais de água mantêm-se constantes ao longo de todos os cenários.

4.1.4. Análise da produtividade física da água

Os valores das produtividades físicas da água aqui considerados foram calculados de acordo com a fórmula (2.3) definida anteriormente no capítulo 2.1.3.

Para o cálculo da produtividade física da água para as diferentes culturas utilizaram-se os valores de produção, em kg, e os valores da água total utilizada ao nível da parcela, considerando a água de rega aplicada nas parcelas (Unidades), de precipitação e a água subterrânea, em m³, (Anexo I e II), obtendo-se os gráficos da figura 17.

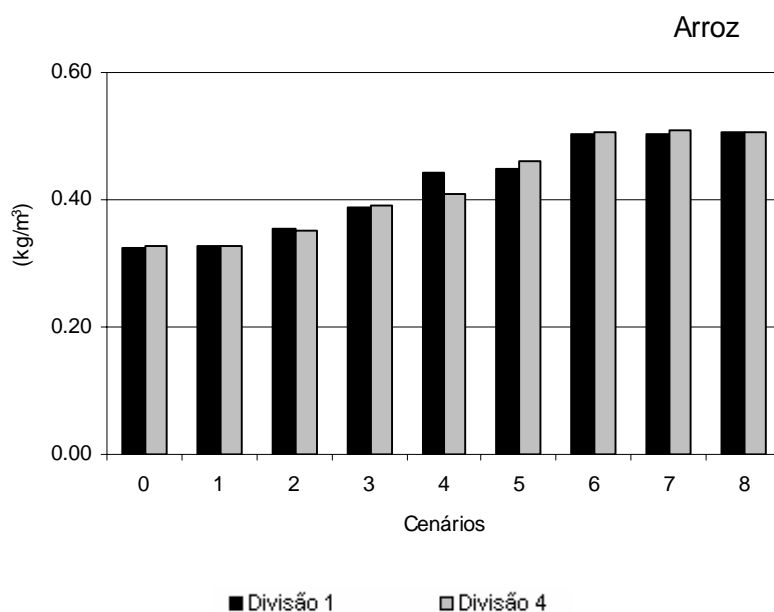


Figura 17 – Produtividade física da água para as diferentes culturas e cenários, para as Divisões 1 e 4.

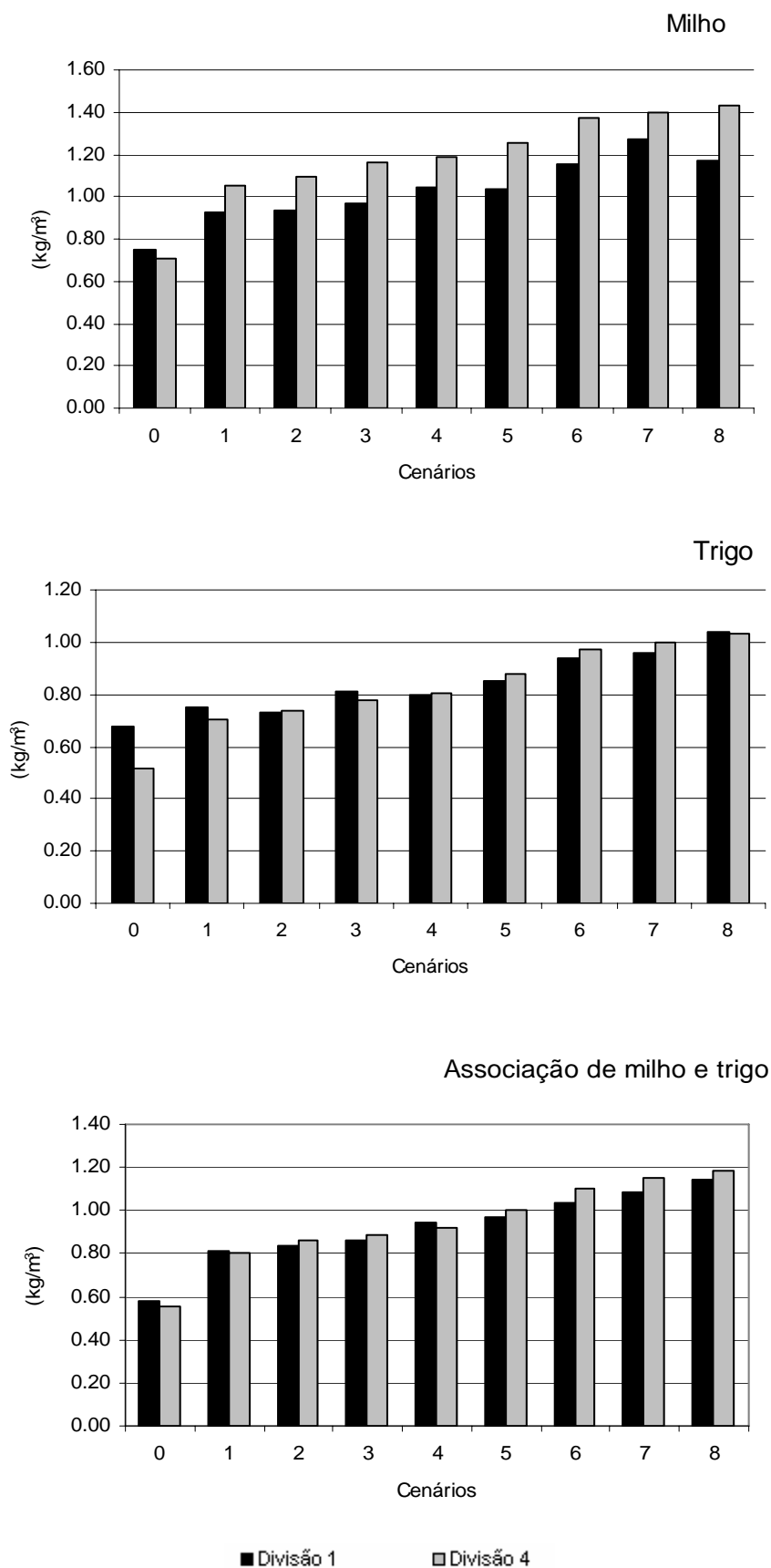


Figura 17 (Continuação) – Produtividade física da água para as diferentes culturas e cenários, para as Divisões 1 e 4.

A produtividade física da água aumenta com a melhoria tecnológica da rega, traduzida nos vários cenários de 1 a 8, praticamente para todas as culturas nas Divisões. Esta evolução depreende-se pelo facto das melhorias, que induzirem um aumento da produção das culturas e uma diminuição do uso total de água. No entanto, na Divisão 1, o milho alcança uma produtividade física da água máxima aquando o cenário 7 ($1,27 \text{ kg/m}^3$), ao contrário da Divisão 4 e das restantes culturas cuja produtividade física máxima se observa no cenário 8, devendo-se ao facto de no cenário 7 ocorrer o valor mínimo de usos não benéficos, como observado na figura 14 b) para o milho, e de acordo com a expressão (2.7) do capítulo 2.1.3., este facto resulta numa maior produtividade.

Os valores das produtividades físicas da água são sempre menores na cultura do arroz, dado a produção constante de 7000 kg/ha e os enormes usos de água para a produção desta cultura, cuja rega é efectuada por alagamento (canteiros), com uma maior exigência, mesmo aquando dos terrenos totalmente nivelados e um sistema de distribuição e de drenagem mais eficiente.

Assim, com a análise da produtividade física da água do arroz, observa-se que nem sempre um uso maior de água significa uma maior produção, e que nem sempre uma diminuição deste uso implica um aumento significativo da produtividade física da água, dado que estão envolvidos muitos outros factores que influenciam a produção que não os usos de água. Toda a gestão e modernização do sistema estão interligadas com uma melhoria da produção e conseqüentemente, da produtividade.

4.1.5. Análise da produtividade económica da água

Para desenvolver a análise da produtividade económica da água foram relacionados valores dos usos totais com o rendimento monetário da produção, ou seja, a margem bruta (Anexo I e II), como representado na fórmula 2.8 do capítulo 2.4.1., resultando os gráficos da figura 18.

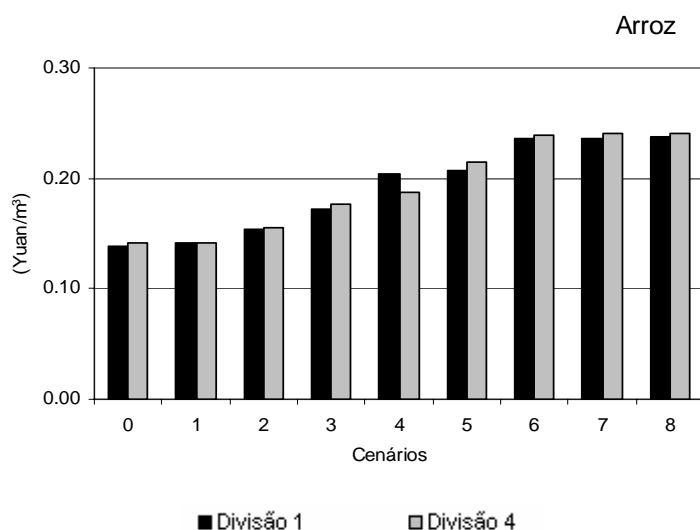


Figura 18 – Produtividade económica da água para as diferentes culturas e cenários, e respectivamente para as Divisões 1 e 4.

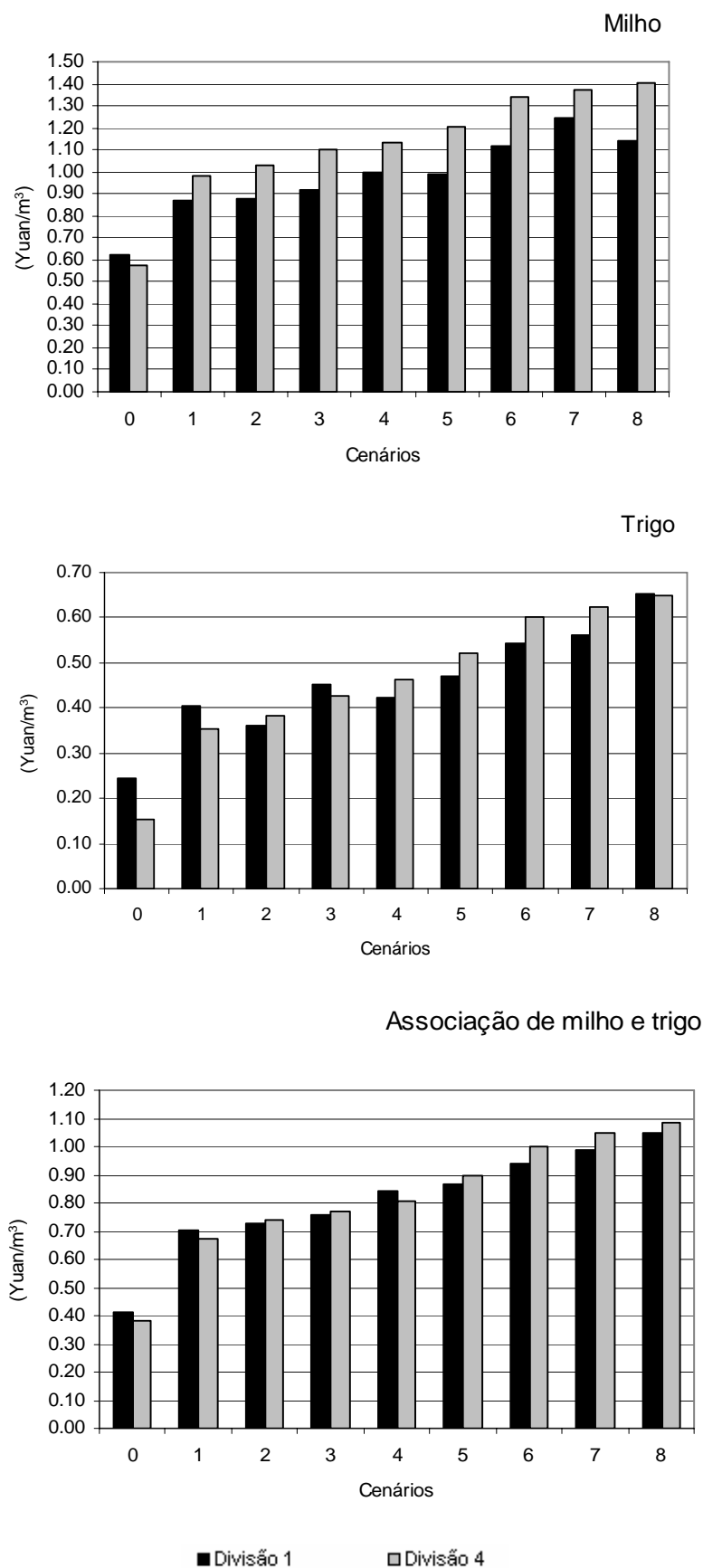


Figura 18 (Continuação) – Produtividade económica da água para as diferentes culturas e cenários, e respectivamente para as Divisões 1 e 4.

Observa-se uma evolução no valor da produtividade económica da água para ambas as Divisões, destacando-se o milho com valores de produtividades superiores. Este facto deve-se aos valores de margem bruta que são crescentes do cenário actual com valores de 4727 ¥/ha e 4937 ¥/ha (respectivamente para as Divisão 4 e 1), para o cenário 8 na Divisão 4 de 8756 ¥/ha, e para o cenário 7 na Divisão 1 onde se observa o valor máximo de 8571 ¥/ha. Estes valores da margem bruta são directamente proporcionais aos do produto bruto, sendo este superior para o milho no cenário 7 da Divisão 1 (Figura 15 b), resultando assim num valor superior da produtividade económica da água para esta cultura (1,14 ¥/m³).

Relativamente à cultura do arroz, observa-se um pequeno aumento da margem bruta com as melhorias no sistema (Anexos I e II). Devido a este pequeno aumento a produtividade económica do arroz cresce pouco significativamente, e mantêm-se praticamente constante a partir do cenário 6, com um valor de 0,24 ¥/m³ para ambas as Divisões. Relativamente ao trigo, a margem bruta tem um aumento significativo do cenário actual (1059 ¥/ha Divisão 4 e 1351 ¥/ha Divisão 1) para o cenário 8 (3370 ¥/ha Divisão 4 e 3343 ¥/ha Divisão 1), ao contrário dos valores dos usos totais de água para a produção desta cultura que não variam muito. O valor máximo da produtividade económica da água para a cultura do trigo observa-se no cenário 8, com um valor de aproximadamente 0,65 ¥/m³ para ambas as Divisões. Para a associação de trigo e milho, os valores observados são crescentes do cenário actual para os cenários melhorados, variando dos 0,38 ¥/m³ aos 1,08 ¥/m³ para a Divisão 4 e dos 0,41 ¥/m³ aos 1,05 ¥/m³ para a Divisão 1, estes valores resultam do aumento progressivo da margem bruta e com uma diminuição dos valores dos usos totais de água, desde o cenário actual ao cenário 8, em ambas as Divisões.

4.1.6. Análise das razões das produtividades económicas da água

A razão da produtividade económica da água é determinada através da relação:

$$RWP = \frac{\text{Valor}(Ya)}{\text{Custo}(TWU)} \quad (2.9)$$

Assim, utilizaram-se os valores de margem bruta, como anteriormente e os valores dos custos totais de água para a produção (Anexo I e II), resultando os respectivos gráficos na figura 19.

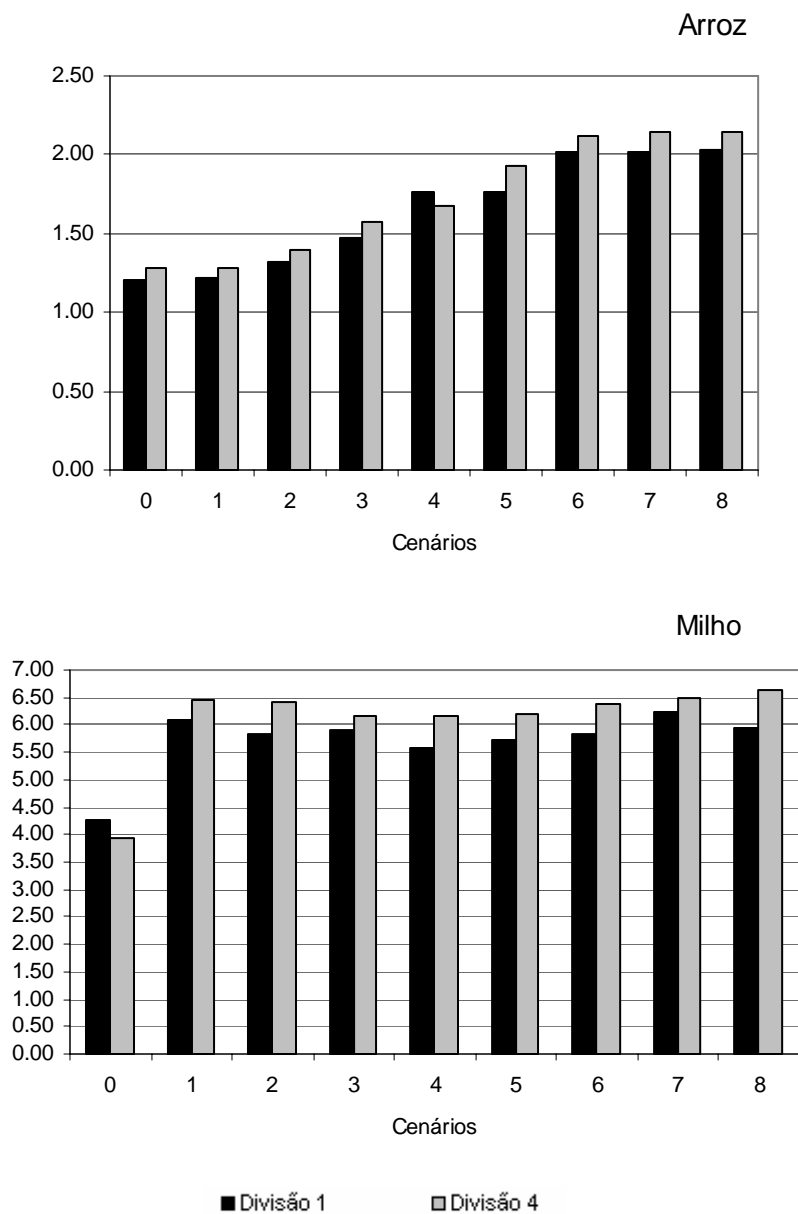


Figura 19 – Razões das produtividades económicas da água para as diferentes culturas e cenários, para ambas as Divisões.

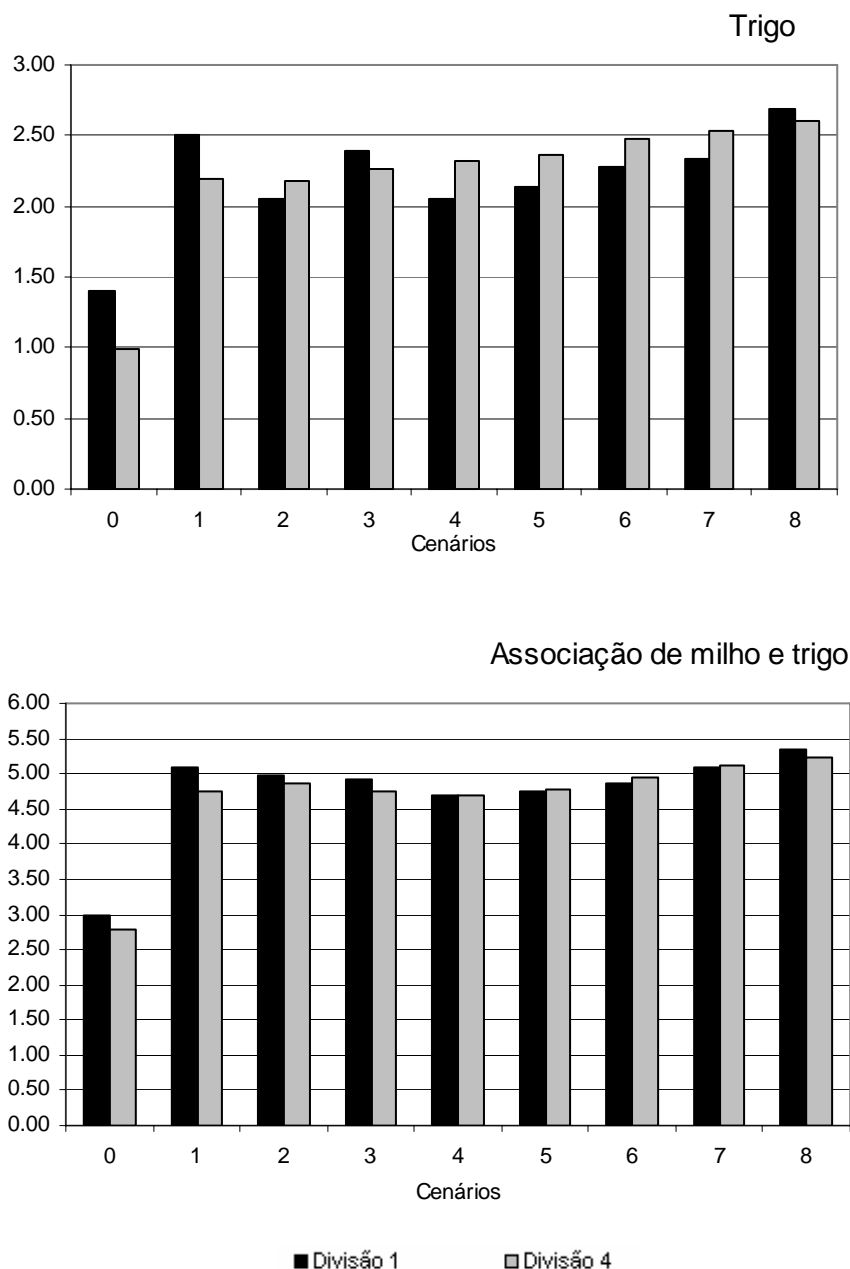


Figura 19 (Continuação) – Razões das produtividades económicas da água para as diferentes culturas e cenários, para ambas as Divisões.

Observa-se assim que, em todas as culturas em ambas as Divisões, a razão da produtividade económica da água aumenta do cenário actual para os cenários melhorados. No entanto, este aumento não é monótono nas culturas de trigo, milho e estas associadas. Na cultura do arroz observa-se um aumento gradual dado que o custo total da água decresce ao longo dos cenários com o mesmo comportamento. A diminuição dos valores dos custos totais da água deve-se à diminuição dos custos da água e de mão-de-obra associados, apesar do aumento dos custos de nivelamento do terreno (Anexo I e II), como os valores são insignificantes não interferem no valor total dos custos de água.

Assim, o aumento da razão da produtividade económica da água para o arroz deve-se essencialmente à diminuição do custo total da água que decresce do cenário 0 de 2370 ¥/ha para a Divisão 4 e 2495 ¥/ha para a Divisão 1, para 1598 ¥/ha e 1619 ¥/ha no cenário 8, para as Divisões 4 e 1, respectivamente.

Para as culturas de milho, trigo e conseqüentemente para estas culturas associadas, as razões das produtividades económicas da água apresentam um aumento distinto apenas do cenário actual para o cenário 1, aumentando na Divisão 4 de 3,94 para 6,64 no milho, 0,99 para 2,60 no trigo e 2,78 para 5,24 nas culturas intercaladas, e na Divisão 1 de 4,26 para 5,95 no milho, de 1,41 para 2,68 no trigo, e de 2,99 para 5,34 nas culturas intercaladas, mantendo-se praticamente constante nos restantes cenários. Isto observa-se devido ao facto de os custos totais de água aumentarem ligeiramente ao longo dos cenários, e do valor de margem bruta aumentar bruscamente do cenário actual para o cenário 1 melhorado, como demonstrado na figura 15 a) e b) para as respectivas culturas.

4.2. Resultados da simulação à escala do Sub-sector

Os resultados ao nível da Divisão, como analisados anteriormente, são resultados da agregação dos dados dos respectivos Sub-sectores. Como tal, esta abordagem será simplificada uma vez que os resultados serão semelhantes (Anexos III e IV), utilizando-se como exemplo o caso da cultura do arroz.

Assim, à semelhança dos indicadores utilizados ao nível das Divisões, também para a cultura do arroz nos Sub-sectores considerados são analisados os custos de água, rega, mão-de-obra e o produto bruto, resultando os gráficos da figura 20. Para a análise dos impactos (Figura 21), também foi considerada a cultura do arroz e os mesmos indicadores que se analisaram ao nível da Divisão, constatando-se resultados em tudo semelhantes, como seria de esperar, às duas escalas (Anexos III e IV).

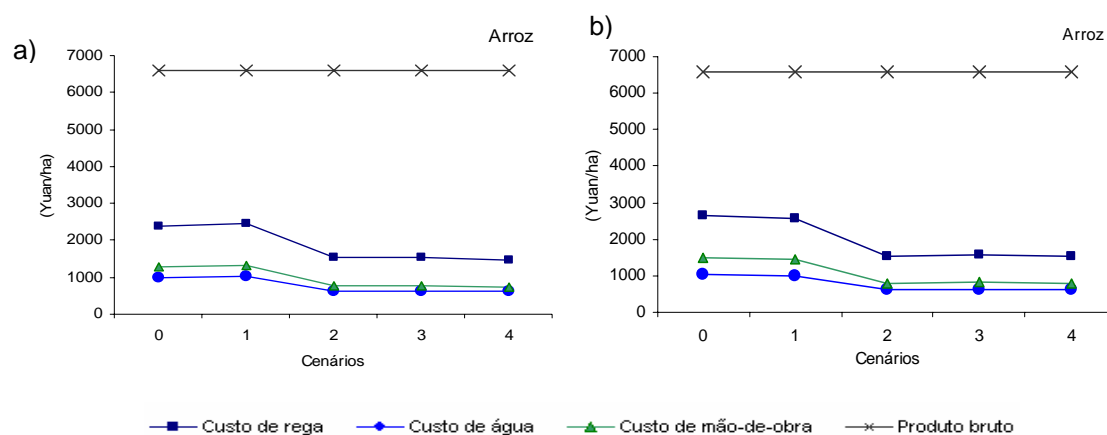


Figura 20 – Custos associados à produção da cultura do arroz nos Sub-sectores 42119 e 1217, respectivamente a) e b) para os vários cenários.

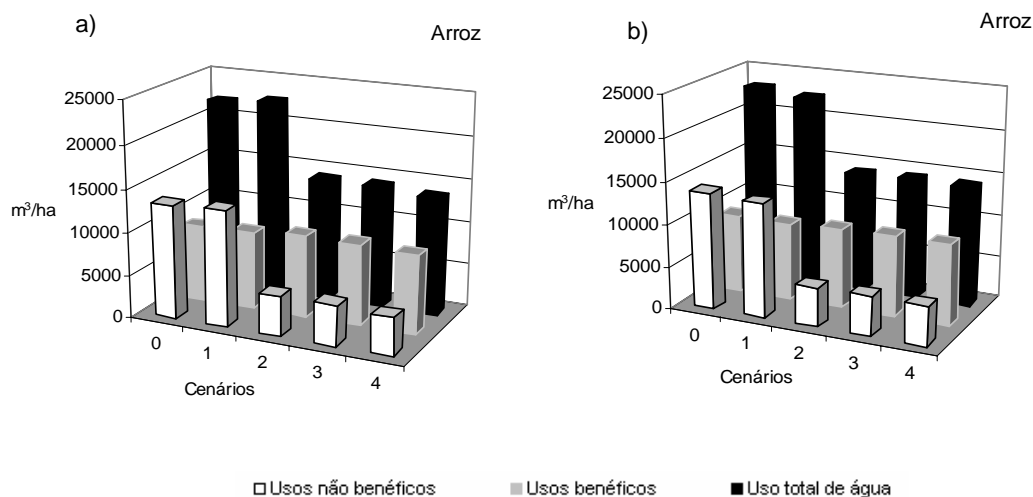


Figura 21 – Impactos associados à produção da cultura do arroz nos sub-setores 42119 e 1217, respectivamente, a) e b).

O arroz, ao contrário das restantes culturas, apresenta uma alteração dos valores quer dos custos, quer dos impactos, apenas no cenário 2. Isto observa-se dado que nesta cultura só existem dois estados, o actual e o melhorado, observando-se assim que as melhorias no sistema são aplicadas de uma vez só.

A análise das produtividades físicas e económicas da água, bem como a razão da produtividade económica da água nos Sub-setores considerados, foi desenvolvida pelo mesmo procedimento ao nível da Divisão, obtendo-se os gráficos das figuras 22, 23 e 24.

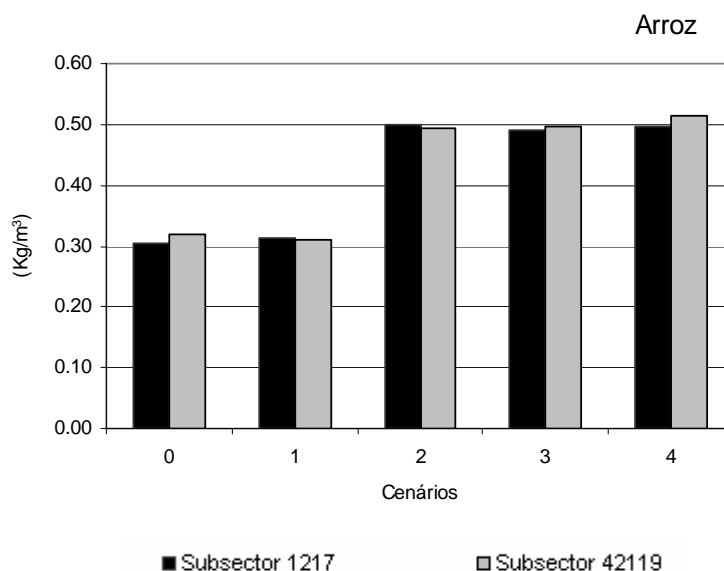


Figura 22 – Produtividades físicas da cultura do arroz respectivamente para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

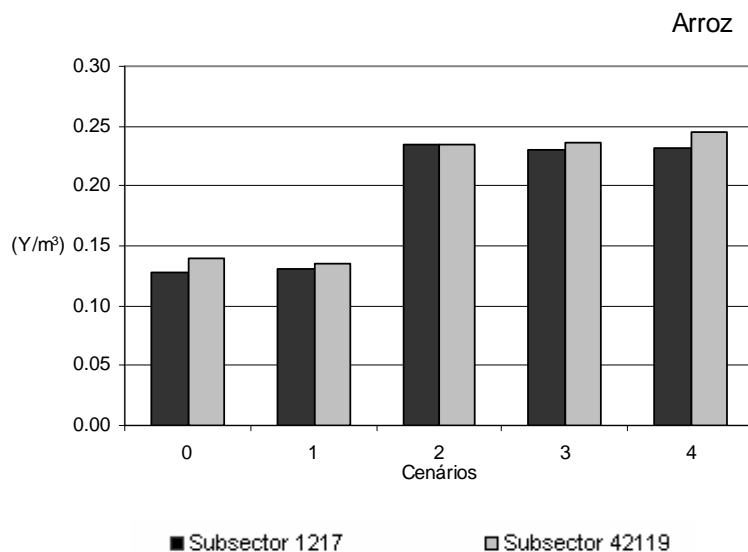


Figura 23 – Produtividades económicas da cultura do arroz respectivamente para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

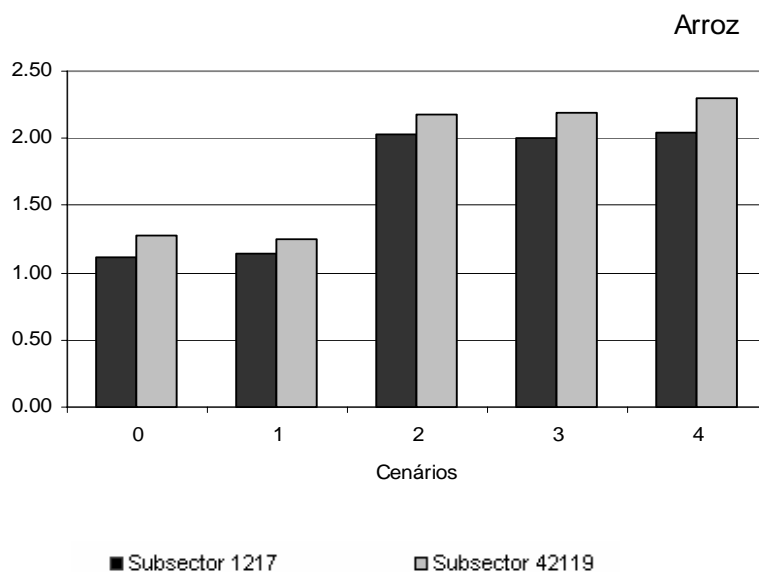


Figura 24 – Razões das produtividades económicas das diferentes culturas para os Sub-setores 42119 e 1217, para os vários cenários.

Observa-se o aumento significativo das produtividades físicas e económicas, bem como da razão da produtividade económica da água aquando a implementação das melhorias consideradas no cenário 2. Assim, tal como ao nível da Divisão, constata-se que o melhoramento dos sistemas de drenagem e distribuição resultam num aumento das produtividades também a um menor nível do Sub-sector.

5. CONCLUSÕES

O modelo SEDAM de simulação da procura e distribuição de água, com a aplicação da análise multicritério mostrou-se uma metodologia útil para analisar os problemas que se observam no perímetro de rega de Huinong.

Com a melhoria do sistema de distribuição e drenagem obteve-se uma diminuição dos custos na cultura do arroz, facto que não se observou nas restantes culturas, onde se observaram valores constantes. Contudo, constatou-se pelos valores de utilidade dos custos de água têm um impacto reduzido nos custos de produção dado serem muito baixos.

Concluiu-se que, com o melhoramento dos sistemas, há uma optimização dos usos totais associados à produção das culturas. Contudo, os valores dos usos totais são sempre elevados comparativamente às quantidades que são consumidas, mesmo com o melhoramento dos sistemas de drenagem e distribuição. Seria necessário a implementação de incentivos económicos, assim como instrumentos económicos e financeiros, como os preços da água, de forma a incentivar o agricultor à poupança da água. Só com uma política de preços da água, em conjunto com medidas de apoio aos agricultores, se podem alterar as práticas que conduzem à poupança de água sem reduzir o rendimento do agricultor.

Com a análise da produtividade física da água, conclui-se que para o arroz, apesar da diminuição da quantidade de água e de uma utilização mais eficiente, a produção não aumenta, não se observando por conseguinte uma produtividade física da água muito elevada. Para as culturas de trigo e milho observam-se aumentos mais significativos, aquando dos cenários de melhoria, concluindo-se que, para estas culturas, com uma melhoria do sistema de drenagem e distribuição, é possível aumentar a produtividade física da água.

Em relação à produtividade económica da água, observa-se que para as várias culturas de trigo, milho e estas associadas, o cenário onde ocorre melhoramento superior, como o máximo nivelamento do terreno, a diminuição do tempo diário de abastecimento para 18 horas, o revestimento dos canais, caudal de entrada óptimo, a melhoria dos calendários de rega e a recuperação dos solos salinos, é o que apresenta produtividade máxima. No entanto, para a cultura do arroz este valor é alcançado logo após o nivelamento do terreno e a diminuição do abastecimento diário para 21 horas, observando-se um aumento de cerca 0,10 ¥/ m³ do cenário actual para o cenário melhorado onde esta é máxima.

As razões da produtividade económica da água apresentam valores semelhantes aos dos da produtividade económica da água para a cultura do arroz, trigo e para o milho e trigo associados, contudo, para a cultura do milho, observa-se que os valores das razões são praticamente máximos aquando do primeiro cenário de melhoramento do sistema onde se observam pequenas melhorias, ou seja, quando o calendário de rega da parcela é melhorado e a água distribuída e não aplicada pelo agricultor é reduzida para metade, observando-se um aumento de cerca 33% do cenário actual para o melhorado.

Assim, a análise da produtividade física e económica da água pode ser considerada um método de avaliação das melhorias desenvolvidas nos cenários, visando uma gestão conservativa da água e com uma optimização da produção dos cereais no HID.

Foi também possível entender os benefícios que uma gestão eficiente da água de rega pode ter no ambiente, na economia e a nível social.

BIBLIOGRAFIA

- Ali, M.H., Talukder, M.S.U., 2008. Increasing Water Productivity in Crop Production—A synthesis, *Agric. Water Manage.* 95, pp. 2-8.
- Allen, RG, Pereira, LS, Raes, D, Smith, M, 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrig. and Drain. Paper N°56, FAO, Roma.
- Barker, R., Dawe, D., Inocencio, A., 2003. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture. In: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (Eds), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CAB International, Sri Lanka, pp. 20-22.
- Cai, L.G., Mao, Z., Fang, S.X., Liu, H.S., 2003. The Yellow River Basin and Case Study Areas. In: Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 10-25.
- Campos, A.A., Fabião, M.S., Gonçalves, J.M., Pereira, L.S., Paredes, P., 2003. Improved Surface Irrigation and Scheduling for Upland Crops in the Huinong Irrigation District: Water Saving and Salinity Control Issues. In: L.S. Pereira, L.G. Cai, A. Musy, and P.S. Minhas (Eds.) *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 107-130.
- Ding, Z. M. (Ed.), 1991. *Irrigation Districts in China*. Agricultural Publishing House, Beijing. (citado por Cai et al., 2003)
- Dong, B., Fang, S.X., Mao, Z., 2003. Canal Water Distribution System in Huinong Irrigation System: Operation and Performances. In: Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 65-73.
- Fang, S., Chen, X., 2001. Rationally Utilizing Water Resources to Control Soil Salinity in Irrigation Districts. In: Stott, DE., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. (Eds.), *Sustaining the Global Farm* (Selected papers, International Meeting, Purdue, 1999). Purdue University, pp. 1134-1138.
- Gamo, M., 1999. Classification of Arid Regions by Climate and Vegetation. *J. Arid Land Stud.* 1, pp. 9-17.

- Gonçalves, J. M., 1997. *Sistema de Apoio à Decisão para o Projecto em Rega de Gravidade Aplicação de Análise Multicritério ao Baixo Mondego*, Tese de Doutoramento, ISA, UTL, Lisboa. pp. 12-18, 187-197.
- Gonçalves, J.M., Pereira, L.S., Campos, A.A., Fabião, M.S., 2003. Demand and Delivery Simulation and Multi-criteria Analysis for Water Saving. In: Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 247-274.
- 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.*, *Agric. Water Management*, 94, pp. 94-103.
- Hollanders, P., Schultz, B., Wang, S.L., Cai, L.G., 2005. Drainage and Salinity Assessment in the Huinong Canal Irrigation District, Ningxia, China. *Irrig. Drain.* 54 (2), pp. 155-173.
- Israelsen, O.W., 1932. *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley & Sons, New York. (citado por Pereira, 2004)
- Ke, L., 1997. Research on causes and countermeasures to the Yellow River-dry. In: *The Yellow River-Dry and Countermeasures*, Ministry of Water Resources, Beijing (in Chinese). p. 19 (citado por Cai et al., 2003)
- Klein, M. R. e L. B. Methlie. 1995. *Knowledge-Based Decision Support Systems with Applications in Business*, John Wiley & Sons, Chichester. (citado por Gonçalves, 1997)
- Liu, Y., Teixeira, J.L., Zhang, H.J., Pereira, L.S., 1998. Model Validation and Crop Coefficients for Irrigation Scheduling in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 36, pp. 233-246.
- Mao, Z., Dong, B., Pereira, L.S., 2004. Assessment and Water Saving Issues for Ningxia Paddies, Upper Yellow River Basin. *Paddy Water Environ.* 2 (2), 99-110.
- Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., Makin, I., 2003. A Water-productivity Framework for Understanding and Action. In: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (Eds), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CAB International. Sri Lanka, pp. 1-11.
- Pereira, L. S., Trout, T. J., 1999. Irrigation methods: In H.N. van Lier, L.S. Pereira, F. R. Steiner (eds.) *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol. I: Land and Water Engineering*, ASAE, St. Joseph, MI, pp. 297-379.

- Pereira, LS (Coordenador), 2001. *Policies for Water Savings in the Yellow River Basin: A DSS Applied to Ningxia and Shandong*. Relatório Intermédio do projecto Yellowatsave, CEER-ISA, Lisboa. p 18
- Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), 2003. *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing. pp. 4-5.
- Pereira, L.S., 2003. Policies for Water Savings in the Yellow River Basin: Introduction to the Research Project. In: Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 10-25.
- Pereira LS, 2004. Conservação, Poupança e Sustentabilidade no Uso da Água: Desafios à Sociedade? Keynote speech to *IV Congresso Ibérico sobre Gestão e Planificação da Água*, Tortosa, Espanha. pp. 7-11.
- Pereira L. S., 2007. Relating Water Productivity and Crop Evapotranspiration. In: N. Lamaddalena, M. Shatanawi, M. Todorovic, C. Bogliotti, R. Albrizio (eds.) *Water Use Efficiency and Water Productivity* (Proc. WASAMED Workshop, Amman, Jordan, Oct. 2005), Options Méditerranéennes, Series B, n° 57: pp. 31-50.
- Pereira L. S., 2007. Indicators to Support Developing a New Paradigma for Irrigated Agriculture. In: F. Karam, K. Karaa, N. Lamaddalena, C. Bogliotti (eds.) *Harmonization and Integration of Water Saving Options*. (Proc. WASAMED Workshop, Malta, May 2006), Options Méditerranéennes, Series B, n° 59: pp. 19-35.
- Pereira, L.S., Gonçalves, J.M., Dong, B., Mao, Z., Fang, S.X., 2007. Assessing Basin Irrigation and Scheduling Strategies for Saving Irrigation Water and Controlling Salinity in the Upper Yellow River Basin. *China. Agric. Water Manage.* 93 (3), pp. 109-122.
- Pereira, L.S., 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa-América, Lisboa. pp. 117-132
- Pomerol, J. e S. Barba-Romero. 1993. *Choix Multicritère dans L'entreprise. Principe et Pratique*. Hermès, Paris. (citado por Gonçalves, 1997)
- Roost, N., Cui, Y.L., Xie, C.B., Huang, B., 2003. Water Supply Simulation for Improved Allocation and Management. In: Pereira, L.S., Cai, L.G., Musy, A., Minhas, P.S. (Eds.), *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, pp. 275-290.

- Roy, B. 1990. Decision Aid and Decision Making. In: Bana-e-Costa, C. A. (Ed.) *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer, Berlin, pp. 17-35.
- Roy, B. e D. Bouyssou. 1993. *Aide Multicritère: Méthodes et Cas*. Economica, Paris. (citado por Gonçalves, 1997)
- Simon, H.A. 1960. *The New Science of Management Decision*. Harper and Row, New York. (citado por Gonçalves, 1997)
- Steduto, P., 1993. Water Use Efficiency. In: L. S. Pereira, R. A. Feddes, J. R. Gilley, B. Lesaffre (eds.) *Sustainability of Irrigated Agriculture*, Kluwer, Dordrecht, pp. 193-209.
- Strelkoff, T., 1993. *SRFR, a Computer Program for Simulating Flow in Surface Irrigation Furrows-Basins-Borders*. USDAARS Water Conservation Lab, Phoenix. (citado por Gonçalves, 1997)
- Tavares, L. V., R. C. Oliveira, I. H. Themido e F. N. Correia. 1996. *Investigação Operacional*. McGraw Hill, Lisboa. (citado por Gonçalves, 1997)
- Vincke, P. 1992. *Multicriteria Decision-Aid*, John Wiley & Sons, Chichester. (citado por Gonçalves, 1997)
- Walker, W., 1998. SIRMOD — Surface Irrigation Modelling Software. Utah State University, Logan. (citado por Gonçalves, 1997)
- Winograd, T. e F. Flores. 1986 . *Understanding Computers and Cognition*. Reading, Addison-Wesley. (citado por Gonçalves, 1997)
- Wu, S.X., 1988. *History of Huinong Canal*. Huinong Irrigation Management Department, Yinchuan, Ningxia (in Chinese). p 25 (citado por Cai et al., 2003)
- Xie, C.B., Cui, Y.L., Lance, J.M., 2003. Water Supply Systems: Resource Allocation, Seepage and Performance Assessment. In: L.S. Pereira, L.G. Cai, A. Musy, and P.S. Minhas (Eds.) *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, 2003, pp. 46-64.
- Xu, Z.F., Tian, J.C., 2003. Socio-Economic Assessment in Ningxia Irrigated Agriculture. In: L.S. Pereira, L.G. Cai, A. Musy, and P.S. Minhas (Eds.) *Water Savings in the Yellow River Basin. Issues and Decision Support Tools in Irrigation*. China Agriculture Press, Beijing, 2003, pp. 165-177.

Zhu, Z., Giordano, M., Cai, X., Molden, D., Hong, S., Zhang, H., Lian, Y., Li, H., Zhang, X., Zhang, X., Xue, Y., 2003. *Yellow River Comprehensive Assessment: Basin Features and Issues*. IWMI, Colombo, Working Paper 57. (citado por Gonçalves, et al., 2007)

ANEXOS

Anexo I – Resultados da simulação, para a Divisão 1.

| 0 | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (¥/ha) | Produto bruto (¥/ha) | Margem bruta (¥/ha) | Custo de água (¥/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (¥/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (¥/ha) | Custos de nivelamento do terreno (¥/ha) |
| Arroz | 276,72 | 21539,7 | 7000 | 2494,7 | 6580 | 2992,2 | 969,3 | 12986,7 | 1405,4 | 8553 | 2494,7 | 0 |
| Milho | 79,8 | 7973,9 | 5976,7 | 1157,6 | 7769,7 | 4937 | 358,8 | 5174,7 | 678,8 | 2799,3 | 1157,6 | 0 |
| Trigo | 780,6 | 5563,1 | 3779,1 | 959,2 | 4912,8 | 1350,6 | 250,3 | 3877,6 | 588,9 | 1685,6 | 959,2 | 0 |
| Milho/trigo | 206,88 | 9571,5 | 5548,5 | 1318,8 | 7213 | 3938,4 | 430,7 | 6752,8 | 768,1 | 2818,7 | 1318,8 | 0 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 21302,9 | 7000 | 2454 | 6580 | 3003,7 | 958,6 | 12838,4 | 1375,4 | 8464,5 | 2454 | 0 |
| Milho | 79,8 | 8404,1 | 7807,3 | 1197,6 | 10149,5 | 7301,2 | 378,2 | 2091,5 | 699,4 | 6312,6 | 1197,6 | 0 |
| Trigo | 780,6 | 6220,7 | 4690,8 | 1008,1 | 6098 | 2519,3 | 279,9 | 1678 | 608,2 | 4542,6 | 1008,1 | 0 |
| Milho/trigo | 206,88 | 9163,6 | 7467,1 | 1268,8 | 9707,3 | 6448,3 | 412,4 | 2406,4 | 736,4 | 6757,3 | 1268,8 | 0 |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 19819,2 | 7000 | 2286,2 | 6580 | 3053,2 | 891,9 | 11147,8 | 1274,3 | 8671,5 | 2310,4 | 24,2 |
| Milho | 79,8 | 8398,6 | 7839 | 1231,1 | 10190,7 | 7338,9 | 377,9 | 2053,3 | 733,2 | 6345,3 | 1258,7 | 27,6 |
| Trigo | 780,6 | 6089,6 | 4443,6 | 1015,2 | 5776,7 | 2196,9 | 274 | 1544,7 | 621,2 | 4544,8 | 1070,5 | 55,3 |
| Milho/trigo | 206,88 | 9032,5 | 7564,6 | 1284,9 | 9833,9 | 6569,6 | 406,5 | 2282 | 758,5 | 6750,5 | 1321 | 36,1 |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 18074,9 | 7000 | 2078,9 | 6580 | 3116,4 | 813,4 | 9073,9 | 1145,5 | 8671,5 | 2115,6 | 36,7 |
| Milho | 79,8 | 8249,2 | 8018,4 | 1228,9 | 10423,9 | 7567,5 | 371,2 | 1922,7 | 737,7 | 6345,3 | 1284,6 | 55,7 |
| Trigo | 780,6 | 5966,6 | 4831,6 | 1015,1 | 6281 | 2703,8 | 268,5 | 1424,3 | 626,6 | 4544,8 | 1128,7 | 113,6 |
| Milho/trigo | 206,88 | 8893,1 | 7679,6 | 1297 | 9983,5 | 6719,1 | 400,2 | 2147,6 | 776,8 | 6750,5 | 1368,1 | 71,1 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 15816,2 | 7000 | 1780,7 | 6580 | 3225,6 | 711,7 | 6910,6 | 949 | 9001 | 1823,8 | 43,1 |
| Milho | 79,8 | 7992,9 | 8321,5 | 1298,9 | 10817,9 | 7956,6 | 359,7 | 1687,4 | 819,2 | 6326,5 | 1429,8 | 130,9 |
| Trigo | 780,6 | 5853,5 | 4653 | 1038,7 | 6048,9 | 2466,2 | 263,4 | 1311,7 | 655,3 | 4542,4 | 1198,7 | 160 |
| Milho/trigo | 206,88 | 8510,9 | 8018,2 | 1339,5 | 10423,6 | 7146,7 | 383 | 1763,4 | 836,5 | 6745,4 | 1524,3 | 184,8 |

(continuação Anexo I)

| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (€/ha) | Produto bruto (€/ha) | Margem bruta (€/ha) | Custo de água (€/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (€/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (€/ha) | Custos de nivelamento do terreno (€/ha) |
|--------------------|-----------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 15616,3 | 7000 | 1768,3 | 6580 | 3223,6 | 702,7 | 6613,4 | 945,5 | 9002,9 | 1830,7 | 62,5 |
| Milho | 79,8 | 7942,8 | 8233,4 | 1254,9 | 10703,4 | 7860,5 | 357,4 | 1775,9 | 777,5 | 6166,9 | 1374,5 | 119,6 |
| Trigo | 780,6 | 5630,4 | 4783,5 | 1019 | 6218,5 | 2642,3 | 253,4 | 1123,5 | 645,6 | 4506,9 | 1233,8 | 214,8 |
| Milho/trigo | 206,88 | 8355,2 | 8071,3 | 1325,9 | 10492,8 | 7222,5 | 376 | 1638,4 | 829,9 | 6716,8 | 1523,2 | 197,3 |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 13925,4 | 7000 | 1560,4 | 6580 | 3290,8 | 626,6 | 4628 | 813,8 | 9297,4 | 1634,2 | 73,8 |
| Milho | 79,8 | 7434,1 | 8583,4 | 1264,3 | 11158,4 | 8314,3 | 334,5 | 1332,5 | 809,8 | 6101,6 | 1426,7 | 162,3 |
| Trigo | 780,6 | 5289,7 | 4950,1 | 1002,1 | 6435,1 | 2865,8 | 238 | 890,3 | 644 | 4399,4 | 1261 | 258,9 |
| Milho/trigo | 206,88 | 8039,6 | 8333,3 | 1319,6 | 10833,2 | 7566,9 | 361,8 | 1420,4 | 837,8 | 6619,2 | 1551,8 | 232,2 |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 13938 | 7000 | 1561,2 | 6580 | 3289,7 | 627,2 | 4629,9 | 814 | 9308,1 | 1635 | 73,8 |
| Milho | 79,8 | 6879,5 | 8770,1 | 1214,3 | 11401,2 | 8571,3 | 309,6 | 985,4 | 784,7 | 5894 | 1376,6 | 162,3 |
| Trigo | 780,6 | 5189,4 | 4988,5 | 992,4 | 6485,1 | 2918,8 | 233,5 | 826,6 | 638,9 | 4362,8 | 1251,4 | 258,9 |
| Milho/trigo | 206,88 | 7792,7 | 8433,2 | 1279,2 | 10963,2 | 7705,8 | 350,7 | 1241,1 | 808,5 | 6551,6 | 1511,4 | 232,2 |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 276,72 | 13840,7 | 7000 | 1545,5 | 6580 | 3294,9 | 622,8 | 4587,5 | 802,7 | 9253,2 | 1619,3 | 73,8 |
| Milho | 79,8 | 7409,6 | 8674,2 | 1254,2 | 11276,5 | 8427,5 | 333,4 | 1285,3 | 800,8 | 6124,3 | 1416,6 | 162,3 |
| Trigo | 780,6 | 5128,6 | 5314 | 987 | 6908,2 | 3343,2 | 230,8 | 764,4 | 636,3 | 4364,1 | 1246 | 258,9 |
| Milho/trigo | 206,88 | 7436,8 | 8487,6 | 1227 | 11033,9 | 7788,4 | 334,7 | 1042,5 | 772,3 | 6394,3 | 1459,2 | 232,2 |

Anexo II – Resultados da simulação, para a Divisão 4.

| 0 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (¥/ha) | Produto bruto (¥/ha) | Margem bruta (¥/ha) | Custo de água (¥/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (¥/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (¥/ha) | Custos de nivelamento do terreno (¥/ha) |
| Arroz | 494,3 | 21364,2 | 7000,0 | 2370,2 | 6580,0 | 3032,6 | 961,4 | 12800,3 | 1288,8 | 8563,8 | 2370,2 | 0 |
| Milho | 274,4 | 8257,5 | 5854,6 | 1199,3 | 7611,1 | 4726,6 | 371,6 | 5617,1 | 707,7 | 2640,3 | 1199,3 | 0 |
| Trigo | 2279,6 | 6934,4 | 3581,0 | 1074,7 | 4655,3 | 1058,8 | 312,0 | 4477,4 | 642,6 | 2457,0 | 1074,7 | 0 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 9804,4 | 5422,6 | 1340,5 | 7049,4 | 3728,7 | 441,2 | 7389,2 | 779,3 | 2415,3 | 1340,5 | 0 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 21340,5 | 7000,0 | 2369,1 | 6580,0 | 3032,7 | 960,3 | 12777,4 | 1288,8 | 8563,3 | 2369,1 | 0 |
| Milho | 274,4 | 7361,8 | 7741,4 | 1118,4 | 10063,8 | 7205,7 | 331,3 | 1795,6 | 667,1 | 5566,1 | 1118,4 | 0 |
| Trigo | 2279,6 | 6406,4 | 4497,6 | 1031,4 | 5846,8 | 2262,5 | 288,3 | 1965,5 | 623,2 | 4440,9 | 1031,4 | 0 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 8971,7 | 7176,2 | 1270,1 | 9329,1 | 6029,8 | 403,7 | 2468,1 | 746,3 | 6503,6 | 1270,1 | 0 |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 19960,7 | 7000,0 | 2195,9 | 6580,0 | 3086,7 | 898,2 | 11162,9 | 1177,7 | 8797,8 | 2208,5 | 12,6 |
| Milho | 274,4 | 7341,3 | 8017,9 | 1143,8 | 10423,3 | 7559,2 | 330,4 | 1780,3 | 693,4 | 5561,0 | 1175,7 | 31,9 |
| Trigo | 2279,6 | 6253,0 | 4597,1 | 1041,9 | 5976,3 | 2390,1 | 281,4 | 1804,8 | 640,6 | 4448,3 | 1097,9 | 56,0 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 8753,5 | 7528,9 | 1274,5 | 9787,6 | 6488,5 | 393,9 | 2253,9 | 760,6 | 6499,6 | 1330,7 | 56,2 |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 17899,5 | 7000,0 | 1980,5 | 6580,0 | 3154,5 | 805,5 | 9017,3 | 1055,0 | 8882,2 | 2006,0 | 25,5 |
| Milho | 274,4 | 7101,1 | 8228,0 | 1147,1 | 10696,4 | 7831,5 | 319,5 | 1538,4 | 707,5 | 5562,7 | 1271,9 | 124,8 |
| Trigo | 2279,6 | 6172,1 | 4787,6 | 1057,5 | 6223,9 | 2633,1 | 277,7 | 1719,3 | 659,7 | 4452,8 | 1160,0 | 102,6 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 8584,5 | 7616,8 | 1283,8 | 9901,8 | 6600,5 | 386,3 | 2083,7 | 777,5 | 6500,8 | 1392,0 | 108,2 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 17145,1 | 7000,0 | 1874,5 | 6580,0 | 3202,8 | 771,5 | 8123,6 | 983,0 | 9021,4 | 1915,9 | 41,4 |
| Milho | 274,4 | 7054,6 | 8350,1 | 1144,3 | 10855,2 | 7992,9 | 317,5 | 1487,5 | 706,9 | 5567,1 | 1295,7 | 151,4 |
| Trigo | 2279,6 | 6032,0 | 4969,3 | 1075,5 | 6460,1 | 2866,4 | 271,4 | 1572,4 | 684,1 | 4459,7 | 1233,9 | 158,4 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 8481,9 | 7819,4 | 1305,0 | 10165,1 | 6859,1 | 381,7 | 1980,8 | 803,4 | 6501,1 | 1464,9 | 159,8 |

(continuação Anexo II)

| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (¥/ha) | Produto bruto (¥/ha) | Margem bruta (¥/ha) | Custo de água (¥/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (¥/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (¥/ha) | Custos de nivelamento do terreno (¥/ha) |
|-------------|-----------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 15182,9 | 7000,0 | 1653,1 | 6580,0 | 3269,2 | 683,2 | 6113,8 | 849,9 | 9069,0 | 1694,0 | 40,8 |
| Milho | 274,4 | 6841,6 | 8559,9 | 1132,8 | 11127,9 | 8269,7 | 307,9 | 1318,4 | 704,9 | 5523,2 | 1332,0 | 199,2 |
| Trigo | 2279,6 | 5816,3 | 5095,5 | 1075,3 | 6624,1 | 3030,1 | 261,7 | 1390,6 | 693,5 | 4425,7 | 1282,8 | 207,5 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 8062,6 | 8089,9 | 1288,4 | 10516,8 | 7215,4 | 362,8 | 1629,3 | 805,5 | 6433,4 | 1509,1 | 220,7 |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 13864,9 | 7000,0 | 1506,4 | 6580,0 | 3312,3 | 623,9 | 4575,8 | 762,4 | 9289,1 | 1559,8 | 53,4 |
| Milho | 274,4 | 6399,6 | 8797,9 | 1103,3 | 11437,3 | 8588,3 | 288,0 | 1028,3 | 695,3 | 5371,3 | 1346,0 | 242,8 |
| Trigo | 2279,6 | 5413,4 | 5267,6 | 1057,1 | 6847,9 | 3261,1 | 243,6 | 1084,1 | 693,5 | 4329,2 | 1318,9 | 261,8 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 7568,4 | 8350,7 | 1254,8 | 10855,8 | 7567,2 | 340,6 | 1261,8 | 794,2 | 6306,6 | 1529,1 | 274,3 |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 13779,6 | 7000,0 | 1495,0 | 6580,0 | 3314,4 | 620,1 | 4536,9 | 754,9 | 9242,6 | 1548,4 | 53,4 |
| Milho | 274,4 | 6354,8 | 8878,7 | 1094,0 | 11542,3 | 8695,6 | 286,0 | 984,1 | 688,0 | 5370,6 | 1336,7 | 242,8 |
| Trigo | 2279,6 | 5316,6 | 5303,1 | 1045,5 | 6894,0 | 3309,9 | 239,2 | 1015,8 | 686,3 | 4300,8 | 1307,3 | 261,8 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 7350,6 | 8443,4 | 1232,4 | 10976,4 | 7693,2 | 330,8 | 1109,6 | 781,6 | 6241,0 | 1506,7 | 274,3 |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 494,3 | 13809,3 | 7000,0 | 1496,3 | 6580,0 | 3314,3 | 621,4 | 4546,9 | 754,8 | 9262,4 | 1549,7 | 53,4 |
| Milho | 274,4 | 6237,7 | 8918,2 | 1075,0 | 11593,7 | 8756,2 | 280,7 | 938,1 | 674,3 | 5299,6 | 1317,7 | 242,8 |
| Trigo | 2279,6 | 5188,9 | 5345,7 | 1032,4 | 6949,3 | 3370,4 | 233,5 | 946,5 | 678,9 | 4242,4 | 1294,1 | 261,8 |
| Milho/trigo | 1569,7 | 7186,8 | 8511,1 | 1213,3 | 11064,5 | 7791,1 | 323,4 | 1028,9 | 769,9 | 6157,9 | 1487,7 | 274,3 |

Anexo III – Resultados da simulação, para o Sub-sector 1217.

| 0 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (¥/ha) | Produto bruto (¥/ha) | Margem bruta (¥/ha) | Custo de água (¥/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (¥/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (¥/ha) | Custos de nivelamento do terreno (¥/ha) |
| Arroz | 127,32 | 22986,7 | 7000,0 | 2630,9 | 6580,0 | 2923,8 | 1034,4 | 13761,6 | 1476,5 | 9225,1 | 2630,9 | 0 |
| Milho | 27,36 | 7946,7 | 5976,9 | 1125,1 | 7770,0 | 4971,8 | 357,6 | 5132,5 | 647,5 | 2814,3 | 1125,1 | 0 |
| Trigo | 370,08 | 5500,3 | 3820,8 | 932,3 | 4967,0 | 1425,9 | 247,5 | 3840,4 | 564,8 | 1659,9 | 932,3 | 0 |
| Milho/trigo | 110,76 | 9635,0 | 5532,1 | 1294,8 | 7191,7 | 3955,2 | 433,6 | 6835,0 | 741,2 | 2800,0 | 1294,8 | 0 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 127,32 | 22422,3 | 7000,0 | 2567,5 | 6580,0 | 2938,4 | 1009,0 | 13418,6 | 1438,5 | 9003,7 | 2567,5 | 0 |
| Milho | 27,36 | 8699,9 | 7713,9 | 1198,5 | 10028,1 | 7193,8 | 391,5 | 2341,6 | 687,0 | 6358,3 | 1198,5 | 0 |
| Trigo | 370,08 | 6190,8 | 4698,6 | 994,7 | 6108,2 | 2545,8 | 278,6 | 1649,6 | 596,1 | 4541,2 | 994,7 | 0 |
| Milho/trigo | 110,76 | 9288,8 | 7428,2 | 1256,4 | 9656,7 | 6431,6 | 418,0 | 2542,8 | 718,4 | 6746,0 | 1256,4 | 0 |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 127,32 | 13980,0 | 7000,0 | 1549,8 | 6580,0 | 3275,4 | 629,1 | 4612,1 | 800,7 | 9367,9 | 1610,8 | 60,9 |
| Milho | 27,36 | 7958,2 | 8310,9 | 1331,9 | 10804,2 | 7971,9 | 358,1 | 1619,8 | 853,8 | 6338,3 | 1539,7 | 207,8 |
| Trigo | 370,08 | 5636,3 | 4474,9 | 1034,0 | 5817,4 | 2251,0 | 253,6 | 1091,3 | 660,4 | 4545,0 | 1273,0 | 239,0 |
| Milho/trigo | 110,76 | 8438,1 | 8078,0 | 1357,8 | 10501,4 | 7253,1 | 379,7 | 1697,8 | 858,1 | 6740,2 | 1630,7 | 272,9 |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 127,32 | 14233,7 | 7000,0 | 1571,7 | 6580,0 | 3269,7 | 640,5 | 4708,3 | 811,2 | 9525,4 | 1632,7 | 60,9 |
| Milho | 27,36 | 7977,8 | 8578,1 | 1347,1 | 11151,5 | 8313,4 | 359,0 | 1639,9 | 868,1 | 6337,8 | 1554,8 | 207,8 |
| Trigo | 370,08 | 5636,9 | 4621,4 | 1034,8 | 6007,8 | 2441,2 | 253,7 | 1092,4 | 661,2 | 4544,5 | 1273,8 | 239,0 |
| Milho/trigo | 110,76 | 8433,0 | 8336,5 | 1357,1 | 10837,5 | 7588,3 | 379,5 | 1690,3 | 857,6 | 6742,7 | 1630,0 | 272,9 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 127,32 | 14112,5 | 7000,0 | 1546,5 | 6580,0 | 3277,1 | 635,1 | 4651,9 | 791,5 | 9460,6 | 1607,5 | 60,9 |
| Milho | 27,36 | 6313,6 | 8799,2 | 1164,4 | 11438,9 | 8651,0 | 284,1 | 628,1 | 760,3 | 5685,5 | 1372,1 | 207,8 |
| Trigo | 370,08 | 4548,7 | 5416,4 | 942,1 | 7041,3 | 3502,3 | 204,7 | 386,0 | 617,4 | 4162,7 | 1181,1 | 239,0 |
| Milho/trigo | 110,76 | 6649,9 | 8624,4 | 1114,2 | 11211,7 | 8024,7 | 299,2 | 566,0 | 694,9 | 6083,9 | 1387,1 | 272,9 |

Anexo IV – Resultados da simulação, para o Subsector 42119.

| 0 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Cultura | Área (ha) | Necessidade de rega (m ³ /ha) | Produção (kg/ha) | Custo de rega (€/ha) | Produto bruto (€/ha) | Margem bruta (€/ha) | Custo de água (€/ha) | Usos não benéficos (m ³ /ha) | Custo de mão-de-obra (€/ha) | Usos benéficos (m ³ /ha) | Custo total da água (€/ha) | Custos de nivelamento do terreno (€/ha) |
| Arroz | 52,6 | 21956,4 | 7000,0 | 2393,9 | 6580,0 | 3069,0 | 988,0 | 13170,8 | 1285,9 | 8785,6 | 2393,9 | 0 |
| Milho | 18,2 | 8184,8 | 5856,7 | 1244,6 | 7613,7 | 4632,8 | 368,3 | 5583,5 | 756,3 | 2601,3 | 1244,6 | 0 |
| Trigo | 157,4 | 6896,8 | 3599,0 | 1084,6 | 4678,7 | 1067,6 | 310,4 | 4433,9 | 654,3 | 2463,0 | 1084,6 | 0 |
| Milho/trigo | 140,2 | 9938,8 | 5385,5 | 1385,9 | 7001,1 | 3652,5 | 447,2 | 7523,6 | 818,6 | 2415,1 | 1385,9 | 0 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 52,6 | 22509,5 | 7000,0 | 2446,4 | 6580,0 | 3053,2 | 1012,9 | 13460,8 | 1313,5 | 9048,7 | 2446,4 | 0 |
| Milho | 18,2 | 7370,3 | 7923,1 | 1144,9 | 10300,1 | 7358,5 | 331,7 | 1768,0 | 693,2 | 5602,4 | 1144,9 | 0 |
| Trigo | 157,4 | 6231,1 | 4727,2 | 1017,4 | 6145,4 | 2554,6 | 280,4 | 1755,7 | 617,0 | 4475,4 | 1017,4 | 0 |
| Milho/trigo | 140,2 | 9190,9 | 7370,6 | 1305,0 | 9581,9 | 6260,8 | 413,6 | 2685,0 | 771,4 | 6505,9 | 1305,0 | 0 |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 52,6 | 14160,9 | 7000,0 | 1526,1 | 6580,0 | 3327,8 | 637,2 | 4696,4 | 768,8 | 9464,5 | 1526,1 | 0 |
| Milho | 18,2 | 6777,4 | 8527,7 | 1158,6 | 11086,0 | 8141,6 | 305,0 | 1182,8 | 733,7 | 5594,6 | 1424,9 | 266,3 |
| Trigo | 157,4 | 5747,1 | 5107,4 | 1093,4 | 6639,7 | 3029,1 | 258,6 | 1279,7 | 714,7 | 4467,4 | 1339,3 | 245,9 |
| Milho/trigo | 140,2 | 8110,4 | 8067,4 | 1345,8 | 10487,6 | 7151,9 | 365,0 | 1602,5 | 860,9 | 6507,9 | 1660,0 | 314,2 |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 52,6 | 14126,9 | 7000,0 | 1521,3 | 6580,0 | 3328,9 | 635,7 | 4685,6 | 765,6 | 9441,3 | 1521,3 | 0 |
| Milho | 18,2 | 6773,8 | 8802,2 | 1153,4 | 11442,8 | 8499,8 | 304,8 | 1181,0 | 728,6 | 5592,8 | 1419,7 | 266,3 |
| Trigo | 157,4 | 5751,9 | 5269,1 | 1097,1 | 6849,8 | 3238,2 | 258,8 | 1282,5 | 718,2 | 4469,5 | 1343,0 | 245,9 |
| Milho/trigo | 140,2 | 8115,9 | 8326,4 | 1347,8 | 10824,3 | 7488,3 | 365,2 | 1605,3 | 862,6 | 6510,5 | 1662,0 | 314,2 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| Arroz | 52,6 | 13628,9 | 7000,0 | 1455,6 | 6580,0 | 3345,2 | 613,3 | 4464,4 | 722,3 | 9164,4 | 1455,6 | 0 |
| Milho | 18,2 | 5058,5 | 9144,6 | 979,2 | 11887,9 | 9017,8 | 227,6 | 316,8 | 631,6 | 4741,7 | 1245,4 | 266,3 |
| Trigo | 157,4 | 4561,5 | 5419,4 | 980,2 | 7045,2 | 3469,6 | 205,3 | 532,9 | 655,0 | 4028,6 | 1226,2 | 245,9 |
| Milho/trigo | 140,2 | 6174,6 | 8656,0 | 1090,6 | 11252,8 | 8000,0 | 277,9 | 536,3 | 692,7 | 5638,3 | 1404,8 | 314,2 |

Anexo V – Ficheiro de entrada do modelo SEDAM para as características dos canais.

| intake k=0,00300 a=0,5000 f0=0,00000 n=0,130 slope=0,0000 DHS= 15,0 PPD=0,00 border diked | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| | I/s | AE | DU | DPR | RR | SE | TAP | Ta1 | Ta2 | Ta3 | Ta4 | Tr0 | Tr1 | Tr2 | Tr3 | Tr4 | Z0 | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
| Resultados para parcela de 30.5 m | 30 5 | 0,5 | 43,5 | 94,4 | 56,5 | 0 | 100 | 36 | 5,4 | 14 | 23,5 | 36 | 145 | 145 | 145 | 145 | 38 | 37 | 36 | 35 | 33 |
| | 1 | 37,6 | 97,6 | 62,4 | 0 | 100 | 20 | 3,2 | 7,9 | 13,6 | 20 | 183 | 183 | 183 | 183 | 183 | 41 | 41 | 40 | 39 | 39 |
| | 2 | 27,8 | 99,2 | 72,2 | 0 | 100 | 13,5 | 2,1 | 5,2 | 8,7 | 13,5 | 323 | 323 | 323 | 323 | 323 | 55 | 54 | 54 | 54 | 53 |
| | 2,5 | 25 | 99,4 | 75 | 0 | 100 | 12 | 1,8 | 4,5 | 7,5 | 12 | 388 | 388 | 388 | 388 | 388 | 60 | 60 | 60 | 60 | 59 |
| | 3 | 25 | 99,2 | 75 | 0 | 100 | 10 | 1,6 | 4 | 6,7 | 10 | 387 | 387 | 402 | 402 | 402 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | 42 6 | 0,5 | 37,8 | 93,1 | 62,2 | 0 | 100 | 57 | 8,4 | 21 | 37,4 | 57 | 193 | 193 | 193 | 193 | 193 | 44 | 43 | 41 | 39 |
| Resultados para parcela de 42.6 m | 1 | 33,3 | 97,1 | 66,7 | 0 | 100 | 33 | 5,1 | 13 | 21,7 | 33 | 241 | 241 | 241 | 241 | 241 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 |
| | 1,5 | 29,2 | 98,3 | 70,8 | 0 | 100 | 24 | 3,9 | 9,6 | 16,3 | 24 | 299 | 299 | 299 | 299 | 299 | 52 | 52 | 52 | 51 | 50 |
| | 2 | 26,9 | 98,8 | 73,1 | 0 | 100 | 19,5 | 3,2 | 8 | 13,4 | 19,5 | 343 | 343 | 343 | 343 | 343 | 56 | 56 | 56 | 55 | 55 |
| | 2,5 | 25,5 | 99,1 | 74,5 | 0 | 100 | 18 | 2,8 | 6,9 | 11,6 | 18 | 381 | 381 | 381 | 381 | 381 | 65 | 65 | 64 | 64 | 63 |
| | 3 | 23,3 | 99,3 | 76,7 | 0 | 100 | 15 | 2,5 | 6,1 | 10,3 | 15 | 462 | 462 | 462 | 462 | 462 | 65 | 65 | 64 | 64 | 64 |
| | 48 6 | 0,5 | 36,4 | 92,3 | 63,6 | 0 | 100 | 69 | 10 | 26 | 45,1 | 69 | 213 | 213 | 213 | 213 | 213 | 46 | 45 | 44 | 41 |
| Resultados para parcela de 48.6 m | 1 | 32 | 96,8 | 68 | 0 | 100 | 39 | 6,1 | 15 | 25,9 | 39 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 50 | 50 | 49 | 48 | 46 |
| | 1,5 | 28,1 | 98,2 | 71,9 | 0 | 100 | 28,5 | 4,6 | 11 | 19,4 | 28,5 | 323 | 323 | 323 | 323 | 323 | 55 | 54 | 54 | 53 | 52 |
| | 2 | 25 | 98,8 | 75 | 0 | 100 | 24 | 3,9 | 9,5 | 16 | 24 | 392 | 392 | 392 | 392 | 392 | 61 | 61 | 60 | 60 | 59 |
| | 2,5 | 24,6 | 99 | 75,4 | 0 | 100 | 21 | 3,3 | 8,2 | 13,8 | 21 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 66 | 66 | 66 | 65 | 65 |
| | 3 | 22,9 | 99,2 | 77,1 | 0 | 100 | 17,5 | 2,9 | 7,1 | 12 | 17,5 | 479 | 479 | 479 | 479 | 479 | 66 | 66 | 66 | 65 | 65 |