



Simulação da operação do sistema Alqueva-Pedrógão para fornecimento de água e produção de energia

Ana Maria Gregório Barrona

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em

Engenheira do Ambiente

Júri

Presidente: Professor José Saldanha Matos

Orientador: Professor Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

Vogais: Engenheiro José Carlos Costa Miranda

Novembro 2015

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que tornaram possível a realização deste trabalho.

Os meus agradecimentos ao meu orientador o professor Rodrigo Proença de Oliveira, pelas suas constantes orientações, revisões, conselhos e especialmente pela sua dedicação e vontade de ensinar que tanto me fizeram crescer.

E aos meus pais, pelo seu apoio e paciência ao longo do meu percurso.

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo analisar a capacidade de satisfação conjunta das necessidades de água para o regadio e para a produção de energia no Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), e estimar as curvas de trade-off que existem na satisfação destas duas necessidades. Na avaliação da produção energética, não foi considerado a componente reversível do EFMA.

Para proceder a esta análise utilizaram-se equações simples de balanço para simular as operações das duas principais albufeiras do EFMA, Alqueva e Pedrógão, e as suas capacidades de satisfação das necessidades de água. Estas equações foram depois programadas em Excel para permitir uma análise dia-a-dia da variação de volume e da satisfação de necessidades no sistema de acordo com vários cenários.

A aplicação das equações utilizadas na análise envolve a compreensão da complexidade na gestão das duas albufeiras. No documento é apresentado um estudo do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva em toda a sua complexidade com o uso de equações simples.

Os resultados, em forma das curvas trade-off, refletem a relação entre as necessidades de regadio e de produção de energia. Nos resultados podemos observar que para aumentar a quantidade de água atribuída a um fim é necessário sacrificar o outro objetivo. É ainda possível quantificar esta relação, estimando garantia de satisfação dos objetivos para diferentes volumes de necessidades de água.

Os dados utilizados provêm de relatórios não técnicos e outros documentos dos *websites* do INAG, REN, SNIRH e EDIA. Alguns valores de escoamento, taxas de precipitação e evaporação utilizados provêm de estudos já existentes.

Palavras-chave: Empreendimento de Fins Múltiplos Alqueva, Energia, Rega, Curvas de trade-off, Optimização de sistemas

Abstract

The aim of this study is to analyze the capacity to satisfy the agricultural and energetic production water requirements in the Alqueva Multi-Purpose Project (AMPP) and to calculate the trade-off curves that exist between the satisfactions of the two needs. When evaluating the energy production capability, the pumpage system capacity was not considered.

To make this analysis, balance equations were used to simulate the operations of the two main reservoirs, Alqueva and Pedrógão, and their capacities to satisfy the water demands. These equations were then programmed in Excel, to allow a day-to-day analysis of the volume variations and satisfaction of the water demands according to different scenarios.

The application of the equations used in the analysis involves the understanding of the complexity in the management of the two reservoirs. In the document it is presented a study of the Alqueva Multi-Purpose Project in all its complexity with the use of simple equations.

The results, in the form of trade-off curves, reflect the relationship between the agricultural and energy production needs. We can observe in the results how the increase in the quantity of water for one need involves the sacrifice of the other. It is also possible to quantify this relationship, estimating the guarantee of the satisfaction of the water demands for different volumes of the water needs.

The data used in this study was gathered from non-technical and other documents from the INAG, EDIA, REN and SNIRH websites. Some values of the flow series, the precipitation and evaporation rates were obtained from already existing studies.

Key-words: Alqueva Multi-Purpose Project, Energy, Irrigation, Trade-off curve, Optimization

Índice

1	Enquadramento e objetivos	7
2	Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva e as suas centrais elétricas	9
2.1	Descrição geral.....	9
2.2	Infraestruturas do EFMA	13
2.2.1	Informações gerais	13
2.2.2	Albufeiras principais	15
2.3	Abastecimento de água para rega	18
2.4	Produção de energia	20
2.5	Dados de operação disponíveis e sua validação	25
2.5.1	Fontes de dados	25
2.5.2	Validação do balanço de água	26
2.5.3	Validação da produção de energia.....	31
2.5.4	Síntese da validação de dados	35
3	Simulação da produção de energia no EFMA	36
3.1	Formulação do modelo matemático	36
3.2	Dados de entrada	45
3.2.1	Escoamento.....	45
3.2.2	Evaporação.....	47
3.2.3	Precipitação	48
3.3	Necessidades de água	48
3.3.1	Ecológicas	48
3.3.2	Agricultura.....	49
3.3.3	Energia	50
3.4	Validação do modelo	51
4	Curva de trade-off entre a produção de energia e o abastecimento de água para rega ...	54
5	Síntese e conclusões	56
6	Referências	58

Lista de quadros

Quadro 1-Albufeiras do EFMA	13
Quadro 2-Estações elevatórias do EFMA	14
Quadro 3-Infraestruturas de transporte no EFMA.....	14
Quadro 4-Caraterísticas principais das barragens e albufeiras de Alqueva e Pedrogão (fonte: EDIA e EDP).....	16
Quadro 5-Aproveitamentos hidroagrícolas do EFMA	19
Quadro 6-Dados gerais das centrais elétricas.....	21
Quadro 7-Dados de operação disponíveis	25
Quadro 8-Relação entre as variáveis de decisão do programa.....	36
Quadro 9- Taxa de evaporação (mm).....	47
Quadro 10- Taxa de precipitação média mensal, calculada para Ponte Mourão (23M/02C)(mm).....	48
Quadro 11 – Necessidades hídricas em função da cultura, entre Maio e Setembro (mm)	49
Quadro 12 – Distribuição das culturas nos subsistemas (ha)	49
Quadro 13 - Distribuição das culturas no EFMA (%)	50

Lista de figuras

Figura 1 - Esquema das ligações do EFMA, retirado de Gonçalves (2015).....	4
Figura 2-Curva de volume armazenado da albufeira de Alqueva.....	16
Figura 3- Curva de área inundada da albufeira de Alqueva	17
Figura 4-Curva de volume armazenado da albufeira de Pedrógão (Fonte: SNIRH)	17
Figura 5-Curva da área inundada da albufeira de Pedrógão (Fonte: SNIRH).....	18
Figura 6- Bombagem em Alqueva I e II, e a média anual	22
Figura 7 - Produção líquida em Alqueva I e II, e a média anual	22
Figura 8-Planta em perfil da barragem e central de Alqueva II.....	23
Figura 9- Perfil da central de Alqueva II	24
Figura 10-Planta da barragem de Alqueva e a central de Alqueva II vista de cima	24
Figura 11 – Comparação entre o Volume armazenado em Alqueva disponibilizado pelo SNIRH e calculado (diários)	27
Figura 12-Relação entre o caudal afluente a Pedrógão observado (Fonte: SNIRH) e calculado pelo método 1.....	28
Figura 13-Relação entre o caudal afluente a Pedrógão observado (Fonte: SNIRH) e calculado pelo método 2.....	29
Figura 14 - Média mensal e média anual do caudal do rio Ardila com base em valores de 1949 a 2001	30
Figura 15-Comparação entre a média do caudal do rio Ardila e do caudal afluente a Pedrógão (Fonte SNIRH)	30
Figura 16-Relação da produção líquida em Alqueva I (Fonte: REN) e a energia produzida calculada	31
Figura 17- Relação entre a Bombagem em Alqueva I (Fonte: REN) e a Energia bombagem calculada com a fórmula.....	32
Figura 18-Relação entre a Produção líquida (Fonte: REN) e a energia produzida calculada em Alqueva II	33
Figura 19- Relação entre a Bombagem (Fonte: REN) e a energia de bombagem calculada pela fórmula em Alqueva II.....	33
Figura 20-Produção líquida diária em Alqueva I (azul) e Alqueva II (laranja) com base na fórmula....	34
Figura 21-Produção de energia diária da central elétrica de Pedrógão com a eficiência assumida (valores diários)	34
Figura 22-Escoamento mensal observado na área de interesse pelas duas estações hidrométricas.	46
Figura 23-Escoamento mensal para a albufeira de Alqueva	47
Figura 24- Precipitação mensal registada na estação de Ponte de Mourão (23M/02C)	48
Figura 25 - Evolução da produção líquida anual.....	50
Figura 26- Volume em Alqueva no caso 1	51
Figura 27- Volume em Pedrógão no caso 1.....	52
Figura 28- Volume em Alqueva no caso 2	52
Figura 29- Volume em Pedrógão no caso 2.....	53
Figura 30-Curvas trade-off, com várias garantias	55

Lista de siglas para as equações

A_t – área da albufeira no dia t ;

e – taxa de evaporação;

ef – eficiência;

E_t – energia produzida no dia t ;

Ev_t – evaporação na albufeira no dia t ;

FE_t – falhas de energia no dia t ;

$FE_{Ano\ t}$ – falhas de energia no ano t .

FR_t – falhas do regadio no dia t ;

$FR_{Ano\ t}$ – falhas do regadio no ano t ;

GE_t – garantias do regadio no dia t ;

$GE_{Ano\ t}$ – garantias de energia no dia t ;

GR_t – garantias do regadio no dia t ;

$GR_{Ano\ t}$ – garantias do regadio no ano t ;

N_t – nível hidrométrico no dia t ;

NE_t – necessidades energéticas no dia t ;

$NE1_t$ – necessidades energéticas adicionais no dia t ;

NR_t – necessidades de regadio no dia t ;

NU_t – necessidades de manutenção ecológica no dia t ;

p – taxa de precipitação;

P_t – precipitação na albufeira no dia t ;

QB_t – caudal bombeado no dia t ;

$QC1_t$ – caudal calculado 1;

$QC2_t$ – caudal calculado 2;

QD_t – caudal descarregado no dia t ;

QT_t – caudal turbinado no dia t ;

VA_t – volume afluente no dia t ;

VB_t – volume bombeado no dia t;

D_t – volume descarregado no dia t;

$VD0_t$ – volume disponível para as necessidades de manutenção ecológica no dia t;

$VD1_t$ – volume disponível para as necessidades de agricultura no dia t;

$VD2_t$ – volume disponível para as necessidade de energia no dia t;

VF_t – volume após serem retiradas as necessidades do dia t;

V_t – volume ao inicio do dia t;

VR_t – volume para regadio no dia t;

VS_t – volume efluente no dia t;

VT_t – volume turbinado no dia t;

VU_t – volume de manutenção ecológica no dia t;

VO_t – volume observado;

Estas siglas são utilizadas nas equações e é indicado o local a que se refere a variável. Por exemplo o volume turbinado da albufeira de Alqueva é VT_t^A e para Pedrógão é VT_t^P . Quando não há expoente significa que essa variável é aplicada a todo o sistema.

Lista de expoentes

A – Alqueva;

AP – de Alqueva para Pedrógão;

PA – de Pedrógão para Alqueva;

Ar – Ardila;

G – após Pedrógão.

P – Pedrógão;

Lista de siglas para a Figura 1

5RS – albufeira de Cinco Reis;

ÁLM – albufeira dos Álamos;

ALM – albufeira de Almeidas;

ALQ – albufeira de Alqueva;

ALV – albufeira de Alvito;

AMN – albufeira da Amendoeira;

AMR – albufeira da Amoreira;

BCH – albufeira de Brinches;

CLÇ – albufeira de Caliços;

ENX – albufeira de Enxoé;

FTG – albufeira de Furta Galinhas;

LAJ – albufeira da Laje;

LOU – albufeira de Loureiro;

MGR – albufeira da Magra;

MNV – albufeira de Monte Novo;

ODV – albufeira de Odivelas;

PDG – albufeira de Pedrógão;

PIAS – albufeira de Pias;

PIS – albufeira de Pisão;

PND – albufeira de Penedrão;

ROXO – albufeira de Roxo;

SPD – albufeira de São Pedro;

SRP – albufeira de Serpa;

VDG – albufeira do Vale do Gaio;

VGA – albufeira da Vigia.

1 Enquadramento e objetivos

Neste mundo poucos elementos são tão essenciais para a qualidade de vida do ser humano como a água. É essencial para a vida e, ao longo da história, civilizações floresceram graças à sua presença.

O uso de água foi evoluindo ao longo do tempo acompanhando a tecnologia utilizada mas a nossa dependência neste valioso recurso apenas aumentou. Para alimentação, higiene, cultura, ambiente, transporte, economia e recentemente até o simples ato de ligar uma lâmpada pode se tornar num uso de água.

Com tantos usos diferentes e tão dissimulados no nosso mundano dia-a-dia é fácil esquecer que a água não é um bem infinito, mas sim um recurso limitado. Três quartos da superfície terrestre encontram-se cobertos de água e, no entanto, de toda a quantidade que o planeta possui, apenas menos de 1% se encontra em rios, lagos e aquíferos ao nosso alcance. O restante é inalcançável ou inutilizável para consumo humano. Estes míseros 1% não estão distribuídos igualmente pelo planeta, sendo que 750 milhões não tem acesso a água potável. Com a continuação do desperdício, escassez, poluição e a sobrepopulação este recurso torna-se mais escasso num mundo que cada vez precisa mais dele.

Para evitar a delapidação deste recurso natural a boa gestão dos recursos hídricos é essencial. Embora esta gestão seja um problema complexo, com muitas diferentes vertentes e envolvendo fatores económicos, políticos, muitas vezes não se encontrando dentro das fronteiras de um só país, não se deve negligenciar esta componente responsável por um dos nossos recursos mais valiosos.

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) é o maior aproveitamento hidráulico de Portugal. Fonte de debate, o seu desenvolvimento demorou vários anos e passou por vários governos. Ainda hoje é fonte de controvérsia e de debate, e o seu desenvolvimento continua, em constante evolução adaptando-se a novos fatores que o condicionam.

O EFMA satisfaz três principais necessidades de água: uso urbano, regadio e produção de energia. Destas três, as necessidades de água para a produção de energia e para o uso agrícola são as que utilizam um maior volume de água. De momento, o EFMA fornece 102 hm³ para rega e produz mais de 1000 GWh num ano, esta energia corresponde à energia total, após a bombagem. Devido às alterações da área explorada esta relação muda constantemente. Assim é interessante estudar a relação entre estas duas necessidades de água. O objetivo deste trabalho é, por isso, analisar a relação entre a capacidade de satisfazer as necessidades de água para fins agrícolas e a capacidade de satisfação dos objetivos de turbinação para produção de energia, dois usos muito diferentes mas com igual importância no contexto socioeconómico de Portugal. Esta relação é representada por curvas trade-off.

No EFMA a produção de energia é realizada principalmente na albufeira de Alqueva, que funciona com um sistema reversível. O que significa que, dependendo do preço de energia, um certo volume de água, armazenada em Pedrógão, é bombeada de volta para Alqueva. O que implica que o volume armazenado na albufeira não depende só do volume afluente ou dos fatores meteorológicos e que a

capacidade de produção de energia aumenta. A bombagem é um fator importante no sistema Alqueva-Pedrógão, e tem uma grande influência nas conclusões deste trabalho.

Para estimar as curvas trade-off entre estes dois objetivos foi desenvolvido um modelo matemático em Excel. Neste modelo existem apenas quatro dados introduzidos, chamados *inputs*, e o utilizador pode variar os valores das necessidades de água para agricultura e para produção de energia. Com recurso a equações para simular o comportamento das duas albufeiras, numa análise feita dia – a – dia, o modelo calcula a quantidade de água disponível para satisfazer as necessidades e o número de vezes que existem falhas em fornecer água. As curvas trade-off são calculadas a partir dos resultados deste modelo.

Este trabalho trata de assuntos semelhantes ao de Gonçalves (2015) e de Ferreira (2014), que estudaram o uso da água para o regadio no EFMA. No entanto, o modelo apresentado neste trabalho é mais complexo pois envolve a produção de energia, o que complica a satisfação das necessidades de rega. Este trabalho também apresenta uma análise dia – a – dia, em vez da análise mensal utilizada em outros trabalhos. Por um lado, o problema é simplificado, pois considera apenas as duas albufeiras principais do EFMA, e não as várias albufeiras que fornecem os blocos de rega diretamente.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Este capítulo introduz o tema e expõe a estrutura da dissertação. O segundo capítulo descreve o EFMA e as suas principais características, e procede à validação do balanço de água e de produção de energia nas albufeiras de Alqueva e Pedrógão. No terceiro capítulo descreve-se o modelo matemático utilizado, o seu propósito, as suas equações e o processo de cálculo. Procede-se depois a uma análise mais pormenorizada dos dados de entrada e das necessidades agrícolas e energéticas consideradas. No final procedemos à validação do modelo, comparando os volumes armazenados nas albufeiras com os valores observados. No quarto capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados do modelo, sob a forma de curvas trade-off. O quinto capítulo apresenta as conclusões finais deste estudo.

2 Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva e as suas centrais elétricas

2.1 Descrição geral

Neste capítulo apresentamos as características gerais do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) e das três centrais elétricas principais: Alqueva I, Alqueva II e Pedrógão, focando as suas funções de produção de energia e de abastecimento de água à agricultura. O desenvolvimento deste empreendimento tem como um dos seus principais fundamentos o desenvolvimento socioeconómico da região desfavorecida que é o Alentejo.

Com 31 551 km², o Alentejo abrange um terço do território nacional, apresentando uma densidade populacional muito baixa (apenas 5% da população nacional). O produto interno bruto também está abaixo da média nacional. Com o crescente envelhecimento da população os problemas de desertificação e pobreza aumentam.

Foi com o objetivo de melhorar esta situação que se elaborou o Plano de Rega do Alentejo, em 1957, do qual o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva faz parte. Com mais de 50 anos, o Plano de Rega de Alentejo tinha como objetivo principal a rega de uma vasta área para a sua viabilização socioeconómica, através do desenvolvimento da agricultura e de um espaço turístico. Este projeto auxiliaria o combate ao abandono e desertificação de uma das zonas mais desfavorecidas de Portugal, em termos de população e recursos.

Em 1976, após a celebração do Convénio Luso-Espanhol, que concedeu a Portugal os direitos para exploração hidráulica do troço do Guadiana, entre confluências do rio Caia e ribeira dos Cuncos, começou a ser elaborado o EFMA. Um sistema que garante o abastecimento de água, mesmo em períodos de seca extrema, para irrigação, uso urbano e industrial numa área que abrange 20 concelhos nos distritos de Évora, Beja, Portalegre e Setúbal.

Oito anos depois, iniciam-se as obras preliminares da barragem do Alqueva. Mas estas foram interrompidas dois anos depois, sendo só retomadas após dezassete anos, em 1995, com a criação da EDIA, Empresa de Desenvolvimento de Infraestruturas de Alqueva.

No dia 8 de Fevereiro em 2002, fecharam-se as comportas da barragem do Alqueva e iniciou-se o enchimento da albufeira. Dois anos depois deu-se a entrada em produção da Central Hidroelétrica de Alqueva para a Rede Elétrica Nacional, explorada na altura pela EDIA e passando depois para a EDP.

Em 2006 inaugurou-se a barragem e a central hidroelétrica de Pedrógão que serve de contraembalse ao sistema de Alqueva, permitindo assim um sistema reversível, em que a água é armazenada em Pedrógão para ser bombeada de volta para Alqueva, nos momentos em que o preço de energia é menor.

Em 2012 entrou para a Rede Elétrica Nacional o reforço da Central Hidroelétrica de Alqueva, denominado Alqueva II que duplicou a capacidade de produção de energia.

O projeto ficou completo em 2015, com o reforço da barragem e da estação elevatória de Pedrógão e com a adição de mais 32 000 ha de área de regadio, aos atuais 88 000.

Além do impacto a nível regional, o EFMA constitui um importante potencial de desenvolvimento agrícola uma vez que duplica a área de regadio nacional, contribuindo para viabilizar o Alentejo do ponto de vista socioeconómico. Assim o bom funcionamento do sistema de rega é essencial para o sucesso do projeto, sendo muito importante uma manutenção constante e uma promoção do empreendimento aos agricultores e empresas. Devido à sua localização o EFMA tem uma influência direta nos concelhos abrangidos por ele, em termos económicos, populacionais e culturais.

Todas as principais infraestruturas do EFMA encontram-se no sul do Alentejo, na bacia hidrográfica do rio Guadiana e na bacia do rio Sado. A bacia do Guadiana tem 66 800 km², dos quais apenas 17% se encontram em território nacional. A bacia hidrográfica do rio Sado, com 7692 km², é totalmente desenvolvida em Portugal.

No planeamento inicial do projeto previa-se a rega de 110 000 ha, valor que foi expandido para 120 000 ha a serem implementados até ao final de 2016. O EFMA está dividido em três subsistemas: o de Alqueva com uma área total regada de 64 215 ha, o de Ardila com 31 161 ha e o de Pedrógão com 25 005 ha. Atualmente o projeto encontra-se com, aproximadamente, 120 381 ha de área equipada para a rega.

Esta expansão deve-se ao excesso de capacidade do sistema, tendo em conta as culturas atuais e as dotações de rega praticadas. De acordo com o que foi afirmado pelo CEO da EDIA, José Pedro Salema, na 2ª edição da AgroIN (realizada no dia 16 de abril em Estoril), o projeto foi inicialmente planeado para uma quantidade de rega de 6 hm³/ha/ano mas a média atual fornecida é de 3 hm³/ha/ano. Para aproveitar as oportunidades decorrentes desta situação, e baixar os custos da energia do sistema, há planos para expandir o sistema para as zonas vizinhas, também foi dado o exemplo da utilização da ligação das barragens de Odivelas, Roxo e Vigia para assegurar o abastecimento durante os anos de seca. (*Vida Rural*, Maio 2015)

O EFMA tem associado a si um conjunto de infraestruturas para armazenamento, distribuição e transporte da água pelo sistema com o fim de assegurar as suas funções. Este conjunto era constituído até ao final de 2014, entre outras estruturas, por 69 barragens e açudes, 2 centrais hídricas e 5 centrais mini hídricas, 47 estações elevatórias principais e secundárias, 129km de canais, 1840km de condutas, 7346 bocas de rega, 80 tomadas de água e 20 albufeiras.

As barragens e albufeiras de Alqueva e Pedrogão são consideradas os elementos principais do EFMA. Estão ambas localizadas no rio Guadiana e têm uma área da bacia hidrográfica montante de 55 289 km² e 59 395 km², respetivamente. A albufeira de Alqueva estende-se por 83 km ao longo de seis concelhos, ocupando uma área máxima de 250 km² e é considerada o maior lago artificial da Europa. A albufeira de Pedrógão é a segunda maior do sistema e a sua central hidroelétrica é a segunda com maior potência instalada.

A albufeira de Alqueva é considerada o elemento “mãe” do sistema, pois todos os outros componentes partem dela. O subsistema de Alqueva desenvolve-se a partir da estação elevatória de Álamos que transporta a água da albufeira de Alqueva para as albufeiras de Álamos. Os restantes subsistemas desenvolvem-se a partir da albufeira de Pedrógão, com o apoio de Alqueva. Grande parte do volume

fornecido pela albufeira de Pedrógão provém da albufeira de Alqueva. Assim todas as albufeiras do sistema estão ligadas á albufeira de Alqueva.

A produção de energia do sistema provém maioritariamente da central de Alqueva e Alqueva II, embora as restantes centrais também contribuam para a rede nacional e para a diminuição dos custos energéticos do sistema.

A produção da Central Hidroelétrica de Alqueva entrou para a Rede Elétrica Nacional em 2004. Inicialmente a central tinha uma potência instalada de 260 MW, com dois grupos reversíveis de 130MW e uma produção média anual de 260GWh. Após dois anos entrou em funcionamento a barragem e a central hidroelétrica de Pedrógão, com uma potência instalada de 10 MW e uma produção média anual de 45GWh. A função de barragem de Pedrógão é ser o suporte da albufeira de Alqueva para que o sistema reversível funcione, a albufeira de Pedrógão armazena a água para ser bombeada de volta para Alqueva.

A central de Alqueva foi concessionada á EDP em 2007. Como consequência a EDIA, que utilizava a produção em Alqueva para vender energia aos agricultores a um preço mais baixo, passou a ter que suportar os custos de energia. Esse aumento dos custos foi refletido nas quotas pagas pelos agricultores, dificultando a adesão dos agricultores ao EFMA. Para mitigar este problema, a EDIA já iniciou um processo para a instalação de um parque eólico e várias centrais fotovoltaicas.

A seguinte figura representa um esquema do sistema com as ligações entre albufeiras para a mais fácil compreensão do sistema do EFMA.

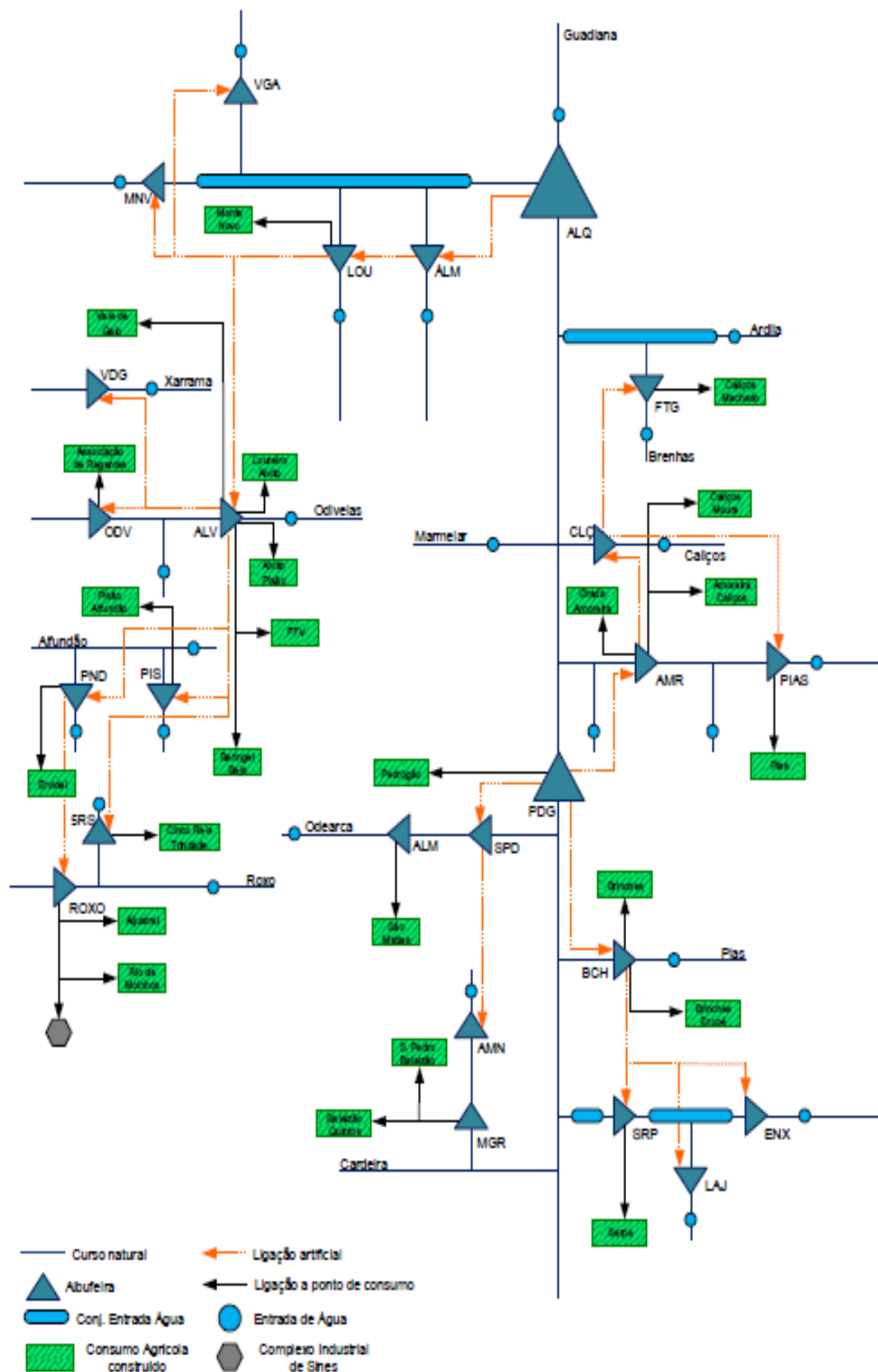


Figura 1 - Esquema das ligações do EFMA, retirado de Gonçalves (2015).

2.2 Infraestruturas do EFMA

2.2.1 Informações gerais

A função principal do EFMA é o desenvolvimento da agricultura, fornecendo água a um conjunto de blocos de rega. A água que chega a esses blocos precisa de ser transportada das albufeiras de Alqueva e Pedrógão para albufeiras secundárias, e dessas albufeiras para os vários blocos de rega. Para ocorrer este transporte da água desde as duas principais albufeiras até ao consumidor final, o sistema depende de um conjunto de infraestruturas entre as quais canais adutores, estações elevatórias, condutas e bocas de rega. Neste capítulo apresentam-se uma lista das principais infraestruturas e as suas principais características.

De momento o EFMA continua em fase de desenvolvimento. Desde de Janeiro de 2015 até Julho de 2015 entraram em funcionamento três blocos de rega e existem os planos para a entrada em funcionamento, até ao final do ano de mais blocos servidos pelo circuito hidráulico de Vale do Gaio. Em 2016 devem estar concluídos e equipados mais nove blocos de rega, com um total de 32 317 ha.

Os quadros seguintes representam algumas das características das infraestruturas do EFMA organizados pelo subsistema a qual pertencem. O Quadro 1 apresenta as estruturas de armazenamento e os Quadros 2 e 3 as estruturas de transporte. Os dados foram retirados do *Story Map* elaborado pela EDIA e de documentos elaborados pelo CNPGB (Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens).

Quadro 1-Albufeiras do EFMA

Subsistema	Albufeira	Ano de conclusão	Capacidade máxima (hm ³)	Volume Útil (hm ³)	Nível pleno armazenamento (m)	Potencia (MWh)	Abastecida pela albufeira
Alqueva	Alqueva	2002	4140	3150	152	520	
	Álamos I, II e III	2006	17.6	4.4	227.5		Alqueva
	Loureiro	2000	6.68	2.48	222		Álamos
	Monte Novo	1982	15.28	14.78	196		Loureiro
	Alvito	1977	132.5	130	197.5	3.45	Loureiro
	Vale do Gaio	1949	63	55	40,5		Alvito
	Odivelas	1972	96	70	103	2.59	Alvito
	Pisão	2008	8.8		155	0.65	Alvito
	Penedrão			5.2	170		Alvito
	Roxo	1967	96.31	89.5	136	1.69	Alvito
	Cinco Reis				3.73	203	Alvito
Pedrógão	Pedrógão	2005	106	54	84.8	10	Alqueva, rio Ardila

	S. Pedro	2013	10.8				Pedrógão
	Magra			0.6	28		S. Pedro
	Amendoeiras			0.4	193		S. Pedro
Ardila	Amoreira	2008	10.7		135		Pedrógão
	Brinches						Amoreira
	Serpa		10.8		123.95	1.5	Brinches
	Laje			3.37	177.5		Brinches
	Enxoé	1998	10.4	9.5	175		Brinches

Os seguintes Quadros representam as principais características das infraestruturas de transporte da água. O Quadro 2 descreve as características das estações elevatórias.

Quadro 2-Estações elevatórias do EFMA

Subsistema	Nome	Caudal de bombagem (m ³ /s)	Altura (m)	Potência (MW)	Altura média de elevação manométrica (m)
Alqueva	Álamos	42	40	42	90
Pedrógão	Pedrógão/Margem Direita	12.1		2.2	80.9
	Brinches	9.12		8	68.5
	Torre do Lóbio	4.2		4.8	76.4
Ardila	Pedrógão/Margem Esquerda	19.52		16	61.2
	S. Pedro	8.5		7.2	60

O Quadro 3 descreve as características dos principais sistemas de transporte do sistema.

Quadro 3-Infraestruturas de transporte no EFMA

Subsistema	Nome	Comprimento (m)	Caudal nominal (m ³ /s)	Caudal Max Final (m ³ /s)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Ligação
Alqueva	Canal Álamo-Loureiro	11	37			Alb. Álamos – Alb. Loureiro
	Canal Loureiro – Monte Novo	24	9.4			Alb. Loureiro – Alb. Monte Novo
	Túnel Loureiro - Alvito	11	32			Alb. Loureiro – Alb. Alvito
	Canal Alvito - Pisão	36		10.9	40.6	Alb. Alvito – Alb. Pisão

	Circuito Hidráulico de Odivelas-Vale do Gaio	30		1.7	6.25	Alvito – Alb. Odivelas
	Canal Odivelas					Alb. Odivelas – Bloco Alfundão
	Adução Pisão-Beja	9	6.8			Alb. Pisão – Alb. Cinco Reis
	Adução Pisão-Roxo	18.85			10.9	Alb. Pisão – Alb. Penedrão – Alb. Roxo
Pedrógão	Circuito Hidráulico Margem Direita	11.4			11.3	Alb. Pedrógão – Alb. São Pedro e Pedrógão
	Circuito Hidráulico S. Pedro - Baleizão	2			8.5	Alb. S. Pedro – Alb. Magra
	Circuito Hidráulico Baleizão-Quintos	8.4	2.66	7.19		Alb. Magra – Baleizão Quintos
Ardila	Adução Amoreira-Brinches	11.7		8.17	19.53	Alb. Pedrógão – Alb. Amoreira e Alb. Brinches
	Circuito Hidráulico de Brinches-Enxoé	22.14		0.15	9.12	Alb. Brinches – Alb. Serpa, Alb. Laje e Alb. Enxoé
	Circuito Hidráulico de Serpa	4			4.2	Alb. Serpa - Serpa

2.2.2 Albufeiras principais

As albufeiras de Alqueva e Pedrógão são os elementos principais do sistema, merecendo assim uma descrição mais detalhada das suas características. O Quadro 4 apresenta as características das duas principais albufeiras do EFMA, que suportam a operação dos três subsistemas e das restantes infraestruturas.

Quadro 4- Características principais das barragens e albufeiras de Alqueva e Pedrógão (fonte: EDIA e EDP)

Dados	Alqueva	Pedrógão
Início de operação	2002	2006
Área Máxima (km ²)	250	11
Capacidade Máxima (hm ³)	4150	106
Nível de Pleno Armazenamento (m)	152	84.8
Capacidade Útil (hm ³)	3150	54
Nível Mínimo de Exploração (m)	130	79
Volume Mínimo de Exploração (hm ³)	1000	52
Altura (m)	96	43
Desenvolvimento do Coroamento (m)	458	448

As Figuras 2 a 5 apresentam a validação das curvas de volume armazenado e de área inundada das albufeiras de Alqueva e de Pedrógão. Estas curvas foram elaboradas com dados retirados SNIRH e do LNEC (*Oliveira, 1994*).

Curvas de volume e área

A Figura 2 apresenta os valores de cota da albufeira e do volume armazenado observado no SNIRH, e compara estes dados provenientes de um relatório do LNEC (*Oliveira, 1994*).

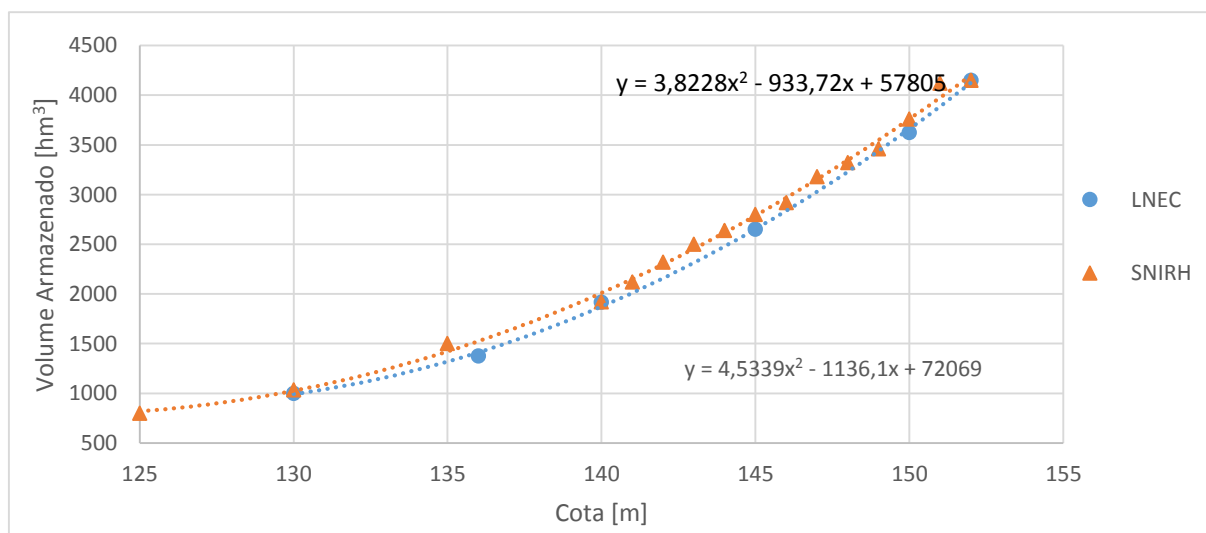


Figura 2- Curva de volume armazenado da albufeira de Alqueva

A Figura 3 apresenta a curva de área inundada de Alqueva, também neste caso comparamos os dados provenientes do SNIRH e do LNEC.

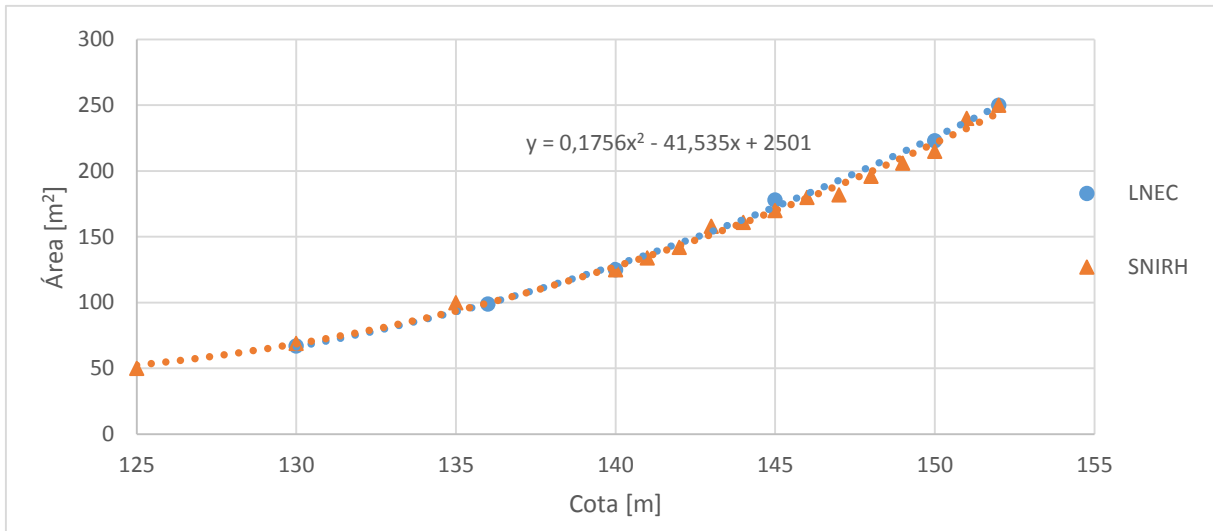


Figura 3- Curva de área inundada da albufeira de Alqueva

A Figura 4 representa a relação entre o valor da cota e o volume armazenado da albufeira de Pedrógão.

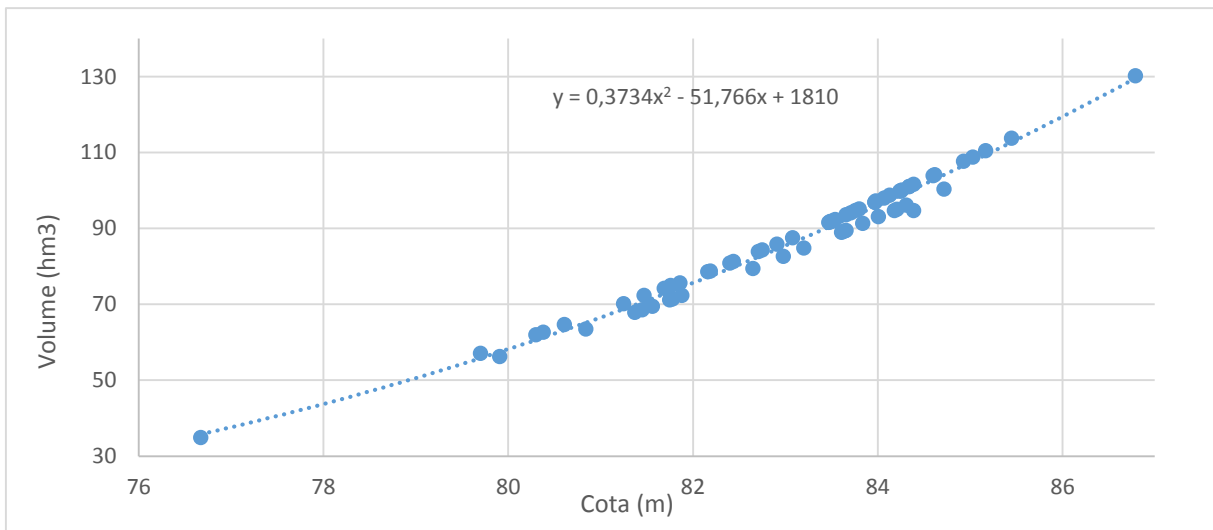


Figura 4 -Curva de volume armazenado da albufeira de Pedrógão (Fonte: SNIRH)

A Figura 5 representa a curva de área inundada da albufeira de Pedrógão.

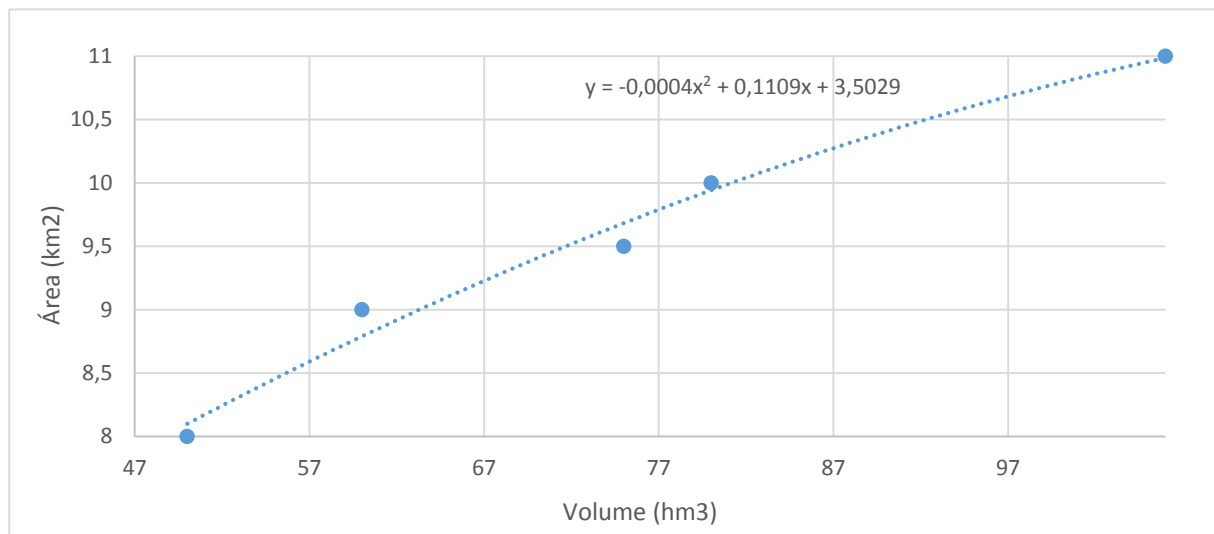


Figura 5-Curva da área inundada da albufeira de Pedrógão (Fonte: SNIRH)

Através desta análise das curvas do volume de armazenamento e da área inundada das albufeiras de Alqueva podemos concluir que os valores não apresentam grandes diferenças. No caso de Pedrógão apenas podemos analisar os valores obtidos a partir do SNIRH. As equações apresentadas nos gráficos são utilizadas no modelo matemático. No caso de Alqueva adotaram-se as equações obtidas com os dados do SNIRH, pois havia mais dados nesta base de dados.

2.3 Abastecimento de água para rega

O Sistema Global de Rega de Alqueva atualmente compreende uma área de regadio de 120 381 ha, distribuídos pelo subsistema de Alqueva com 64 215 ha, o de Ardila com 31 161 ha e de Pedrogão com 25 005 ha. Este sistema é composto por várias albufeiras todas interligadas à albufeira de Alqueva, pois embora pequenas ribeiras e afluentes contribuam para o abastecimento das albufeiras secundárias, a maior parte do volume de água provém do Guadiana através da albufeira de Alqueva.

O subsistema de Alqueva tem atualmente onze albufeiras em funcionamento, iniciando o transporte na estação elevatória de Álamos que eleva a água a 90 m de altura e transporta-a por uma conduta com 850 m de comprimento até às albufeiras de Álamos I, II e III. O canal dos Álamos, com 11km, faz a ligação à albufeira de Loureiro, onde a água é distribuída pelo resto do subsistema.

O subsistema de Pedrógão abrange a margem direita do Guadiana, desenvolvendo-se a partir da estação elevatória de Pedrógão/Margem Direita que faz a ligação com a albufeira de S. Pedro. Compreende uma extensão de 42km de extensão de rede primária.

O subsistema de Ardila abrange os concelhos de Moura e Serpa, na margem esquerda do Guadiana, e desenvolve-se a partir da estação elevatória de Pedrógão (margem esquerda), ligando a albufeira de Pedrógão às albufeiras de Brinches e Amoreira.

O sistema de rega funciona de maneira em que os interessados em beneficiar do sistema têm de se inscrever na EDIA e pagar as quotas que dependem da área a irrigar e do bloco de rega em que essa

área se localiza. Existe uma adesão crescente ao EFMA sendo, que desde o primeiro semestre de 2014 para o de 2015, houve um aumento da área inscrita de 30% (7.218 ha que fazem um total de 31 252 ha). Este aumento deve-se tanto a um maior número de inscrições por parte de agricultores, como por investidores que pretendem estabelecer parcerias.

Esta propensão levou que em 2014, 64% da área equipada foi cultivada, um valor acima da média nacional para novos perímetros e prevê-se que esta tendência continue.

As necessidades de rega variam todos os anos de acordo com as culturas em exploração, a área inscrita, a altura do ano e o clima. De acordo com o *website* oficial de Alqueva as principais culturas em exploração no EFMA em 2014 foram o olival (51.13% da total área inscrita), o milho (17.43%), a vinha (7.76%), a forrageira (4.97%), os cereais (3.53%) e outras culturas como o tomate, o girassol e a amendoeira (15.18%).

O Quadro seguinte descreve os blocos de irrigação em exploração e previstos, com a respetiva área. Neste quadro podemos observar a evolução da área equipada em cada subsistema e na área total do EFMA. Em 2014 a área equipada ultrapassa os 88 000 km², mas após a expansão final, pouco menos do dobro dessa área será abastecido pelo EFMA.

Quadro 5-Aproveitamentos hidroagrícolas do EFMA

Subsistema	Aproveitamento Hidroagrícola	Área (ha)		
		2014	Final Projeto	Expansão
Alqueva	Monte Novo	7873	7873	7873
	Alvito-Pisão	9250	9250	9250
	Pisão	2589	2589	2589
	Alfundão	4061	4061	4061
	Ferreira Figueirinha	4942	4942	4942
	Loureiro-Alvito	1121	1121	1121
	Ervidel	7836	7836	7836
	Aldeia da Luz	592	592	592
	Cinco Reis-Trindade	5387	5387	5387
	Infraestrutura 12	5642	5642	5642
	Aljustrel	1176	1176	1176
	Rio de Moinhos		3929	3929
	Roxo Sado		765	765
	Berinjel-Beja		5127	5127
	Vale do Gaio		3925	3925
	Cuba Odivelas			3000
	Reguengos			10000
	Évora			3000
	Baronia			800

	Viana			3600
	Vidigueira			1200
	Monsaraz			2500
	Luçefécit			1400
Total do Subsistema Alqueva		50469	64215	89715
Pedrógão	Pedrógão-Selmes	4670	4670	4670
	S. Pedro-Baleizão	6023	6023	6023
	Baleizão-Quintos	8474	8474	8474
	S. Matias		5838	5838
	Cabeça Gorda			4100
	Marmelar			1200
Total do Subsistema Pedrógão		19167	25005	30305
Ardila	Orada-Amoreira	2725	2725	2725
	Brinches	5455	5455	5455
	Brinches-Enxoé	5113	5113	5113
	Serpa	4683	4683	4683
	Alvarrão	452	452	452
	Pias		4602	4602
	Caliços-Machados		4666	4666
	Caliços-Moura		2216	2216
	Póvoa-Moura		1249	1249
	V.N.S. Bento			3400
	Póvoa-Amareleja			9500
Total do Subsistema Ardila		18428	31161	44061
Total do EFMA		88064	120381	164081

2.4 Produção de energia

A produção de energia no EFMA conta com duas centrais hidroelétricas, cinco mini-hídricas e vários suportes incluindo centrais fotovoltaicas e eólicas. Neste capítulo descreve-se o contexto geral da produção energética no EFMA e descreve-se com mais detalhe as centrais hidroelétricas principais.

As duas principais centrais hidroelétricas do sistema são a de Alqueva (incluindo o reforço Alqueva II) e a de Pedrógão, que funcionam com sistema reversível.

O sistema de uma central hidroelétrica reversível é constituído por duas albufeiras: a albufeira “principal”, que neste caso corresponde á albufeira de Alqueva, e a “secundária”, correspondente á de Pedrógão. Durante o dia, em que há maior consumo de energia, a albufeira principal turbinada normalmente, produzindo energia, sendo que a água turbinada é armazenada na albufeira secundária. Durante os períodos de menor consumo, é consumida energia pela central para bombear a água armazenada na albufeira secundária de volta para a albufeira principal.

Foi em 2004 que a produção de energia em Alqueva entrou para a Rede Elétrica Nacional na altura a cargo da EDIA, mas em 2007 a central hidroelétrica de Alqueva e Pedrógão foram concessionadas à EDP.

Para mitigar os custos de energia, encontra-se em estudo a instalação de onze centrais fotovoltaicas, cada uma com capacidade de 250 KW, nas superfícies de várias albufeiras. Este método encontra-se na fase de instalação com a primeira central já a fornecer energia à sede da empresa em Beja. A instalação de um parque eólico também foi aplicada.

Até 2011 entraram em funcionamento outras cinco centrais mini-hídricas no EFMA: a de Alvito, Pisão, Odivelas, Serpa e Roxo, com uma potência total instalada superior a 21 MW e todas contribuindo para a produção de energia no sistema.

Em 2012 entrou em funcionamento o reforço à central de Alqueva denominado Alqueva II, com características semelhantes a Alqueva I, passando a haver uma potência de 512 MW. Com a produção de energia deste reforço serão abastecidas as populações de Évora, Beja, Portel, Moura e Vidigueira que em 2012 tiveram em conjunto um consumo de 314 GWh. Está previsto um reforço semelhante para Pedrógão a ser instalado no futuro.

O Quadro 6 apresenta os dados gerais das principais centrais hidroelétricas.

Quadro 6-Dados gerais das centrais elétricas

Dados	Alqueva I	Alqueva II	Pedrógão
Ano de Entrada em funcionamento	2004	2012	2006
Tipo de Turbinas	Francis Reversíveis	Francis Reversíveis	Kaplan
Nº Turbinas	2	2	2
Potência Instalada no Total (MW)	260	260	10
Velocidade Nominal (rpm)	136.4		333.3
Caudal Máximo Turbinável (m ³ /s)	203.2		24.9
Altura de Queda Máxima Útil (m)	75		24.5
Altura de Queda Mínima Útil (m)	44		
Potência Nominal de cada Bomba (MW)	106.9		
Caudal Nominal de Bombagem (m ³ /s)	140.2		
Altura de Elevação Máxima (m)	72		
Altura de Elevação Mínima (m)	50.2		

As seguintes figuras representam a produção líquida (turbinas e bombas) anual e a bombagem desde de 2007 a 2013, em Alqueva I e Alqueva II, e a respetiva média anual.

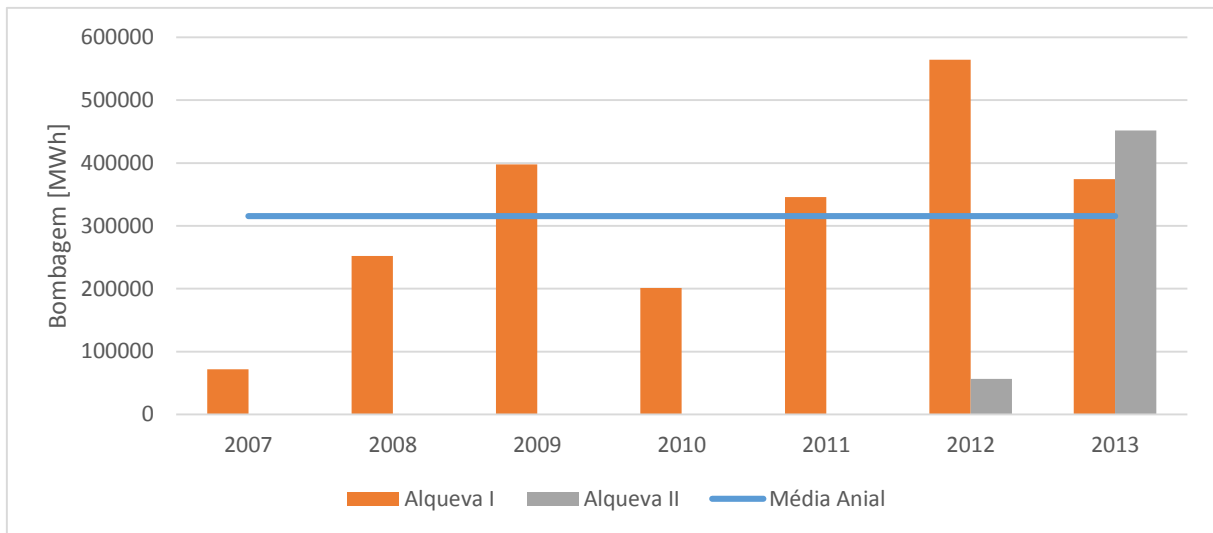


Figura 6 - Bombagem em Alqueva I e II, e a média anual

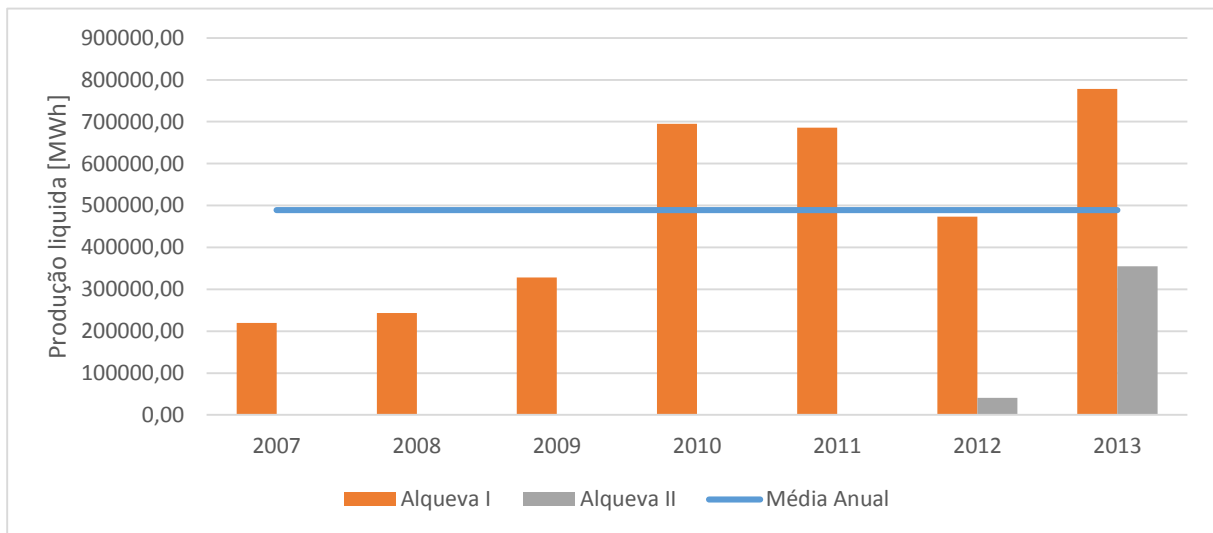


Figura 7 - Produção líquida em Alqueva I e II, e a média anual

As Figuras 8 e 9 são cortes das centrais hidroelétrica Alqueva II e a Figura 10 apresenta uma planta das duas centrais.

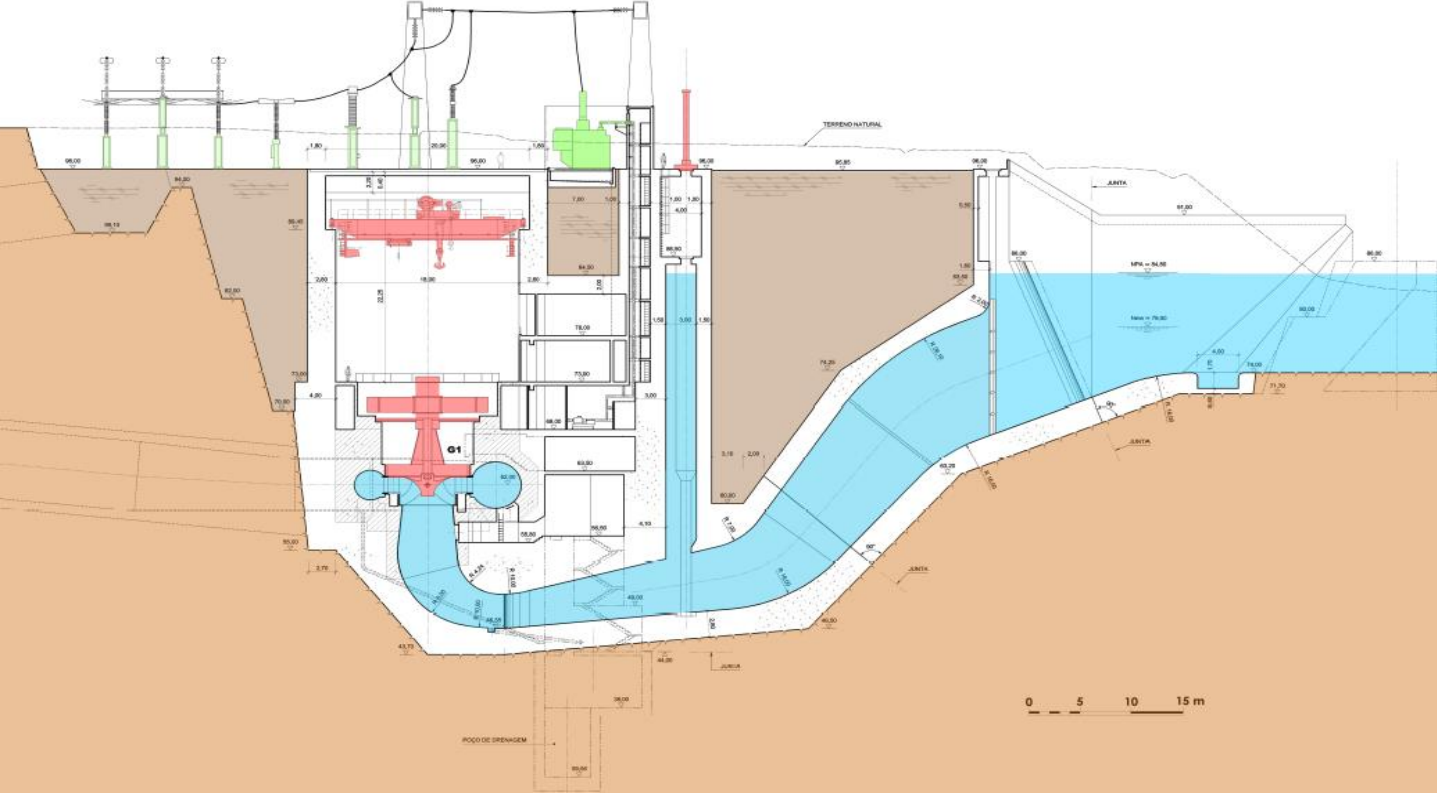


Figura8-Planta em perfil da barragem e central de Alqueva II

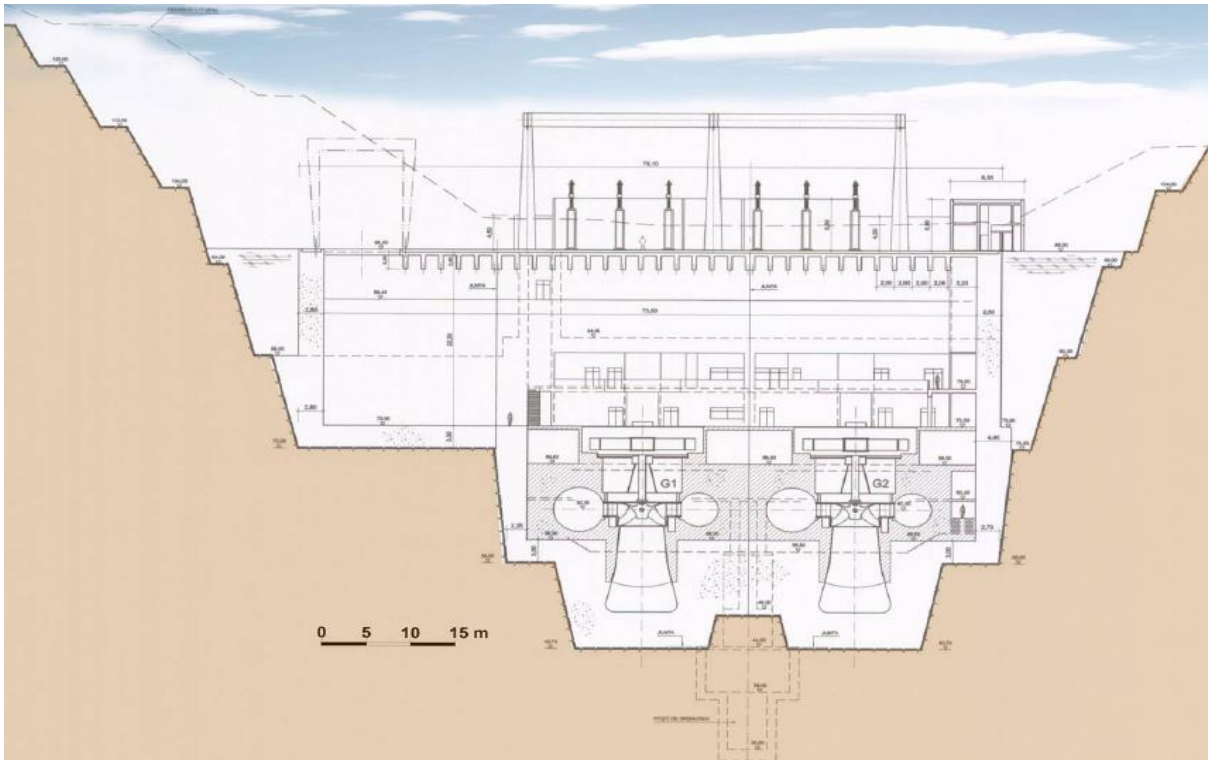


Figura 9- Perfil da central de Alqueva II

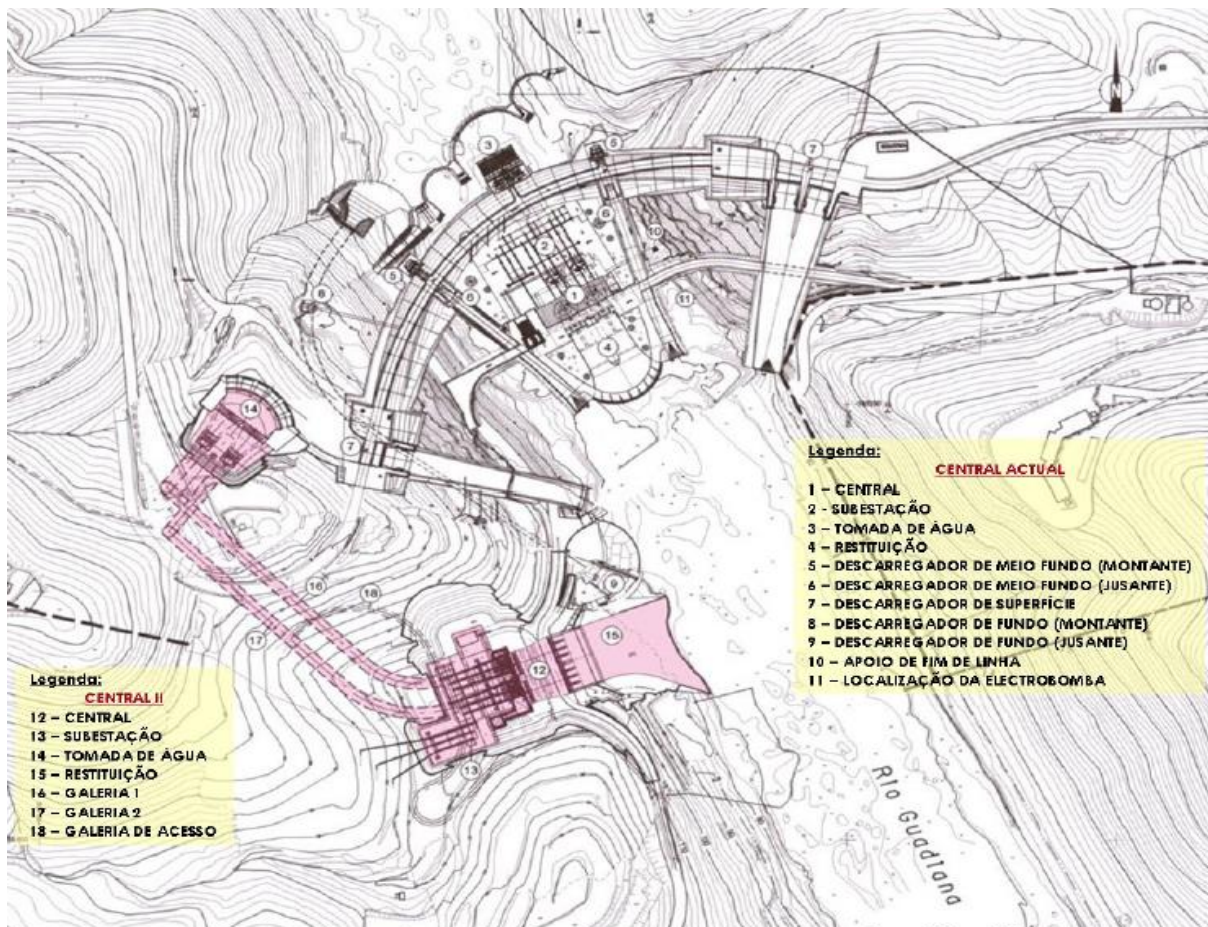


Figura 10-Planta da barragem de Alqueva e a central de Alqueva II vista de cima

2.5 Dados de operação disponíveis e sua validação

2.5.1 Fontes de dados

Este capítulo apresenta os dados obtidos de diferentes fontes e o processo realizado para a sua validação. O objetivo é a verificação dos dados e a análise da sua consistência num modelo de simulação semelhante ao utilizado no Capítulo 3. Também se estabelece o modelo geral das equações que vão ser depois utilizadas.

Para proceder á análise do balanço diário de água e energia das duas albufeiras foi necessário obter de fontes fidedignas os dados das duas albufeiras, com um intervalo de tempo diário. Foram consultadas várias bases de dados, concretamente o Centro de Informação da REN e o Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH). Os dados obtidos nas duas fontes apresentam diferenças entre si e falhas em que não houve quaisquer leituras o que provoca a necessidade de os validar.

A análise abrange o período de tempo que decorre entre Janeiro de 2007 e Dezembro de 2013.

No caso dos dados obtidos a partir do SNIRH foram utilizados várias estações para Alqueva e para Pedrógão. De seguida são apresentadas as estações utilizadas:

- Em Alqueva, estação hidrométrica: ALQUEVA (EDIA/EDP) (24M/07A);
- Em Alqueva, estação meteorológica: ALBUFEIRA DO ALQUEVA ILHA (24L/03C);
- Em Pedrógão, estação hidrométrica: PEDRÓGÃO (EDIA/EDP) (25L/01A);
- Em Pedrógão, estação meteorológica: PEDRÓGÃO DO ALENTEJO (25L/01UG).

No Quadro 7 são apresentados os dados obtidos das diferentes fontes de dados, juntamente com algumas informações gerais e observações.

Quadro 7-Dados de operação disponíveis

Albufeira	Nome	Unidades	Fonte	Observações
Alqueva	Cota	m	REN	
	Nível de armazenamento	m	SNIRH	No dia 25/05/13 há a descida abrupta de 153.58m para 144.37m. Dados não foram utilizados.
	Caudal Afluyente Médio Diário	m ³ /s	SNIRH	
	Caudal Afluyente	m ³ /s	REN	
	Evaporação	mm	SNIRH	A informação acaba em 07/12/09
	Precipitação	mm	SNIRH	A informação acaba em 07/12/09
	Caudal Turbinado	m ³ /s	SNIRH	
	Caudal Bombeado	m ³ /s	SNIRH	Só há dados a partir de 04/05/07
	Descarga	hm ³	REN	
	Produção Líquida	MWh	REN	Existem valores para Alqueva e Alqueva II
	Bombagem	MWh	REN	

Pedrógão	Cota	m	SNIRH	Alguns valores anómalos, valores muito superiores ao possível.
	Caudal Aflente Médio Diário	m ³ /s	SNIRH	Alguns valores inconsistentes comparado com os outros dados da mesma fonte.
	Precipitação	mm	SNIRH	Os dados acabam em 28/01/10
	Caudal Turbinado	m ³ /s	SNIRH	
	Descarga Média Diária	m ³ /s	SNIRH	
	Caudal Efluente Médio Diário	m ³ /s	SNIRH	
	Cota ao final do dia	m	SNIRH	
	Volume ao final do dia	dm ³	SNIRH	

Nem todos os dados apresentados neste quadro foram utilizados nas seguintes validações. Apenas um dos dados utilizados nas validações apresenta dados separados para Alqueva II, o que provoca dificuldades na validação de energia.

2.5.2 Validação do balanço de água

A validação do balanço da água em Alqueva e Pedrógão foi realizada da seguinte forma. Os dados apresentados no Quadro 7 do Subcapítulo 2.5.1 foram utilizados na simulação do comportamento da albufeira com recurso a uma equação de balanço. No final obteve-se o valor calculado do volume da albufeira que foi comparado ao valor obtido pelas fontes de dados.

A base desta validação é a fórmula do balanço de água apresentada em baixo, em termos muito simples:

$$\text{Volume Final} = \text{Volume Inicial} + \text{Volume entra} - \text{Volume sai}$$

Em que o *Volume entra* representa a soma das variáveis: volume aflente, volume precipitado e volume bombeado. E o *Volume sai* representa a soma das seguintes variáveis: volume turbinado, volume evaporado, volume descarregado e volume retirado para satisfazer as necessidades.

Este volume é o resultado das várias variáveis que compõem os dois termos apresentados acima. O volume aflente inclui a pluviosidade, a bombagem e o caudal aflente. O volume efluente inclui a evaporação, a descarga, a turbinagem e os volumes entregues para a satisfação das necessidades. O balanço do volume aflente e efluente, seja positivo ou negativo, é adicionado ao volume do dia anterior para assim simularmos o comportamento da albufeira.

Para simplificar as fórmulas utilizadas as várias variáveis serão apresentadas sob a forma de siglas. Assim a fórmula do balanço, com todos as suas variáveis é descrita abaixo:

$$V_t^A = (V_{t-1}^A + P_{t-1}^A + VA_{t-1}^A + VB_{t-1}^A) - (Ev_{t-1}^A + VT_{t-1}^A + D_{t-1}^A + VR_{t-1}^A) \quad (1)$$

Em que V_t^A é o volume á meia noite do dia t, em Alqueva. P_t é a precipitação do dia t. VA_t , é o volume aflente do dia t. VB_t , o volume bombeado do dia t. Ev_t , a evaporação do dia t. VT_t , o volume turbinado. VD_t é o volume descarregado no dia t. VR_t , o volume para regadio.

De seguida serão apresentados os resultados desta validação. Nos resultados os valores calculados com esta fórmula são denominados **Volume calculados**, e os pela cota com a curva de volume armazenado denominados **Volume observados**.

2.5.2.1 Balanço de Alqueva

A Figura 11 representa os resultados do volume calculado ao longo do tempo de análise e compara-os com o volume observados das fontes de dados. Assim podemos observar imediatamente as semelhanças e as diferenças entre os dois valores

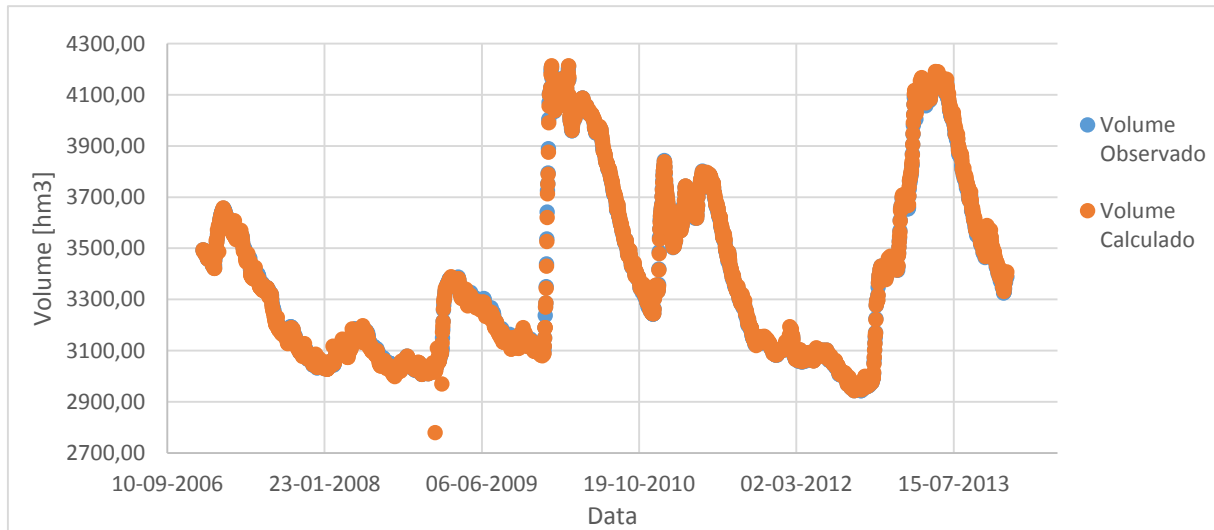


Figura 11 – Comparação entre o Volume armazenado em Alqueva disponibilizado pelo SNIRH e calculado (diários)

Podemos observar que os valores de volume calculado são equivalentes aos valores de volume observado na albufeira de Alqueva. Esta Figura demonstra que os dados utilizados não diferem da realidade já que os dois valores são aproximadamente iguais.

2.5.2.2 Balanço de Pedrógão

Para calcular o volume da albufeira de Pedrógão foi utilizado o mesmo método que para a albufeira de Alqueva mas com a seguinte fórmula, devido ao facto do balanço de Alqueva influenciar o caudal afluente a Pedrógão:

$$V_t^P = V_{t-1}^P - Ev_t^P + D_{t-1}^A + VT_{t-1}^A + VB_{t-1}^P - (VB_{t-1}^A + VR_{t-1}^P + VT_{t-1}^P + P_{t-1}^P + VU_{t-1}^A) \quad (2)$$

Em que V_t^P é o volume á meia noite do dia t, em Pedrógão. P_t é a precipitação do dia t. VB_t , o volume bombeado do dia t. Ev_t , a evaporação do dia t. VT_t , o volume turbinado. VD_t é o volume descarregado no dia t. VR_t , o volume para regadio e VU_t , o volume de manutenção ecológica.

A análise preliminar dos valores do caudal afluente e efluente a Pedrógão, disponibilizados pelo SNIRH revelaram algumas inconsistências. Existem muitos dias em que não dispomos de valores e outros dias em que o balanço do que sai de Alqueva não corresponde ao que chega a Pedrógão. Como tal o volume calculado em Pedrógão continua a subir alcançando valores impossíveis.

Assim surgiu a necessidade de os validar contra estimativas calculadas através do balanço de volumes armazenados em Alqueva e Pedrógão. Desta maneira podemos validar os dados de Pedrógão e testar outras formas de calcular o caudal afluente de Pedrógão. Como tal foram analisados dois outros caudais afluentes e volumes calculados:

Caudal calculado 1

Neste método o caudal afluente a Pedrogão corresponde ao que chega de Alqueva, deduzido do que é bombeado para Alqueva. Em que $QC1_t$ é o caudal calculado pelo método 1. QT_t , o caudal turbinado. QD_t , o caudal descarregado e QB_t , o caudal bombeado.

$$QC1_t^p = (QT_t^A + QD_t^A) - QB_t^A \quad (3)$$

O caudal turbinado, o caudal descarregado e o caudal bombeado correspondem aos caudais médios diários, de modo a poderem ser comparados ao caudal afluente médio a Pedrógão.

Caudal calculado 2

Neste caso o caudal afluente a Pedrogão foi calculado partir da diferença entre os volumes observados, assim comparando o caudal afluente a Pedrógão do SNIRH com a mudança do volume em Alqueva de acordo com o mesmo:

$$QC2_t^p = VO_t^p - VO_{t-1}^p + Ev_t^p - P_t^p + VS_t^p \quad (4)$$

Em que $QC2_t$, é o caudal calculado pelo método 2. VO_t , é o volume observado nas fontes de dados. VS_t , é o volume efluente. Ev_t , a evaporação do dia t. P_t é a precipitação do dia t.

Seguidamente apresentamos os resultados da comparação entre estes caudais. A Figura 12 representa os resultados do caudal calculado 1. A Figura 13 representa os resultados da comparação entre caudal calculado 2 e o caudal afluente proveniente do SNIRH.

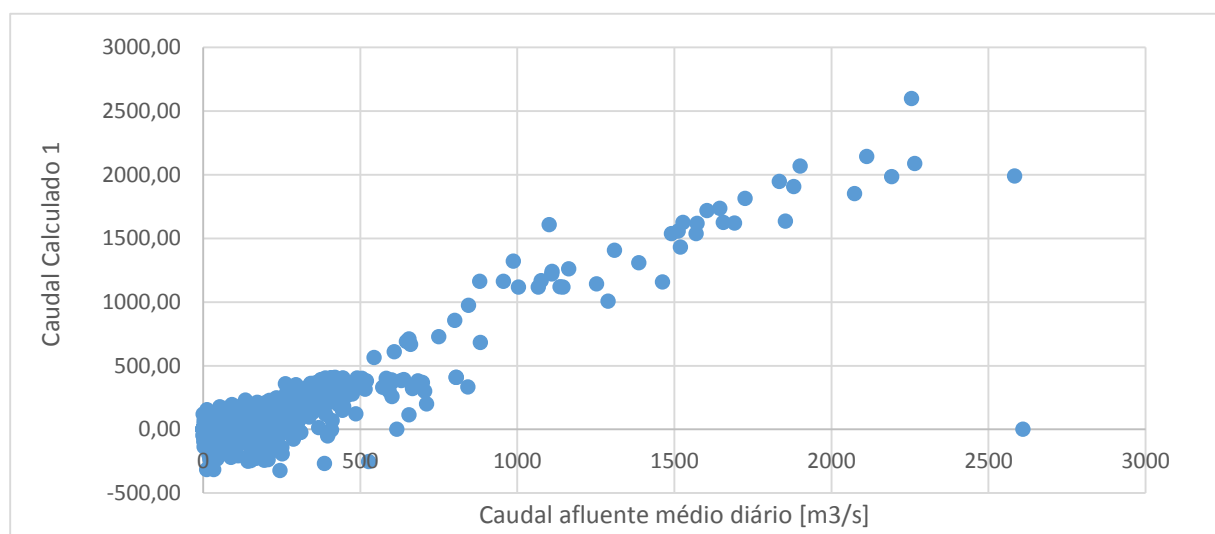


Figura 12-Relação entre o caudal afluente a Pedrógão observado (Fonte: SNIRH) e calculado pelo método 1

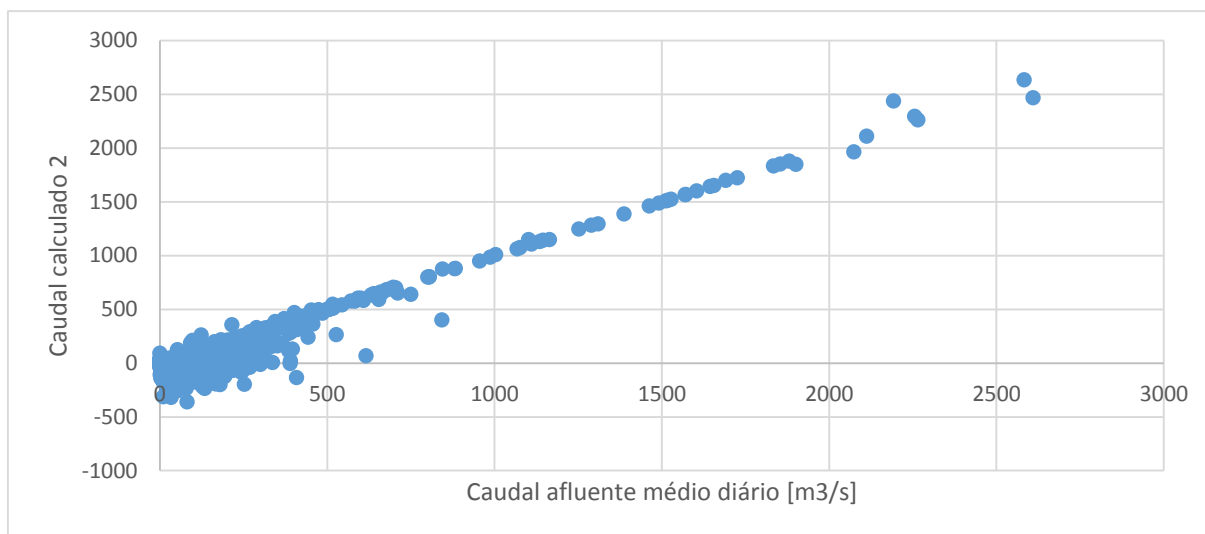


Figura 13-Relação entre o caudal afluente a Pedrógão observado (Fonte: SNIRH) e calculado pelo método 2

Como podemos observar nas Figuras 12 e 13 a relação entre o caudal afluente proveniente do SNIRH e os caudais calculados pelos dois métodos não apresentam desvios muito graves, sendo que maior parte das diferenças é quando os caudais possuem valores mais baixos. Embora o caudal calculado pelo método 2 pareça ter uma melhor relação com o caudal afluente do que o caudal calculado pelo método 1. Sendo assim ainda não podemos explicar os erros observados no volume calculado.

Um fator que poderia ter influência no caudal afluente a Pedrógão é a contribuição dos afluentes ao rio Guadiana, no troço entre Alqueva e Pedrógão. O volume de água que aflui para Pedrógão depende não só do balanço de Alqueva, pois o caudal turbinado e descarregado contribuem para o volume afluente para Pedrógão e o volume bombeado retira água desta albufeira de volta para a de Alqueva. No entanto para além do que resulta de Alqueva também o rio Ardila contribui para a albufeira de Pedrógão pois aflui para o rio Guadiana após a barragem de Alqueva.

Não possuímos qualquer informação sobre o caudal do rio Ardila durante o período de tempo analisado, por isso precedeu-se á seguinte análise do caudal médio e do caudal anual com recurso á estação hidrométrica ARDILA (FOZ) (25M/01H). Os dados analisados do caudal do Ardila cobrem um período aproximado de 52 anos.

Na figura abaixo apresentam-se os caudais médios mensais e o caudal médio anual do rio Ardila com base nos dados retirados do SNIRH.

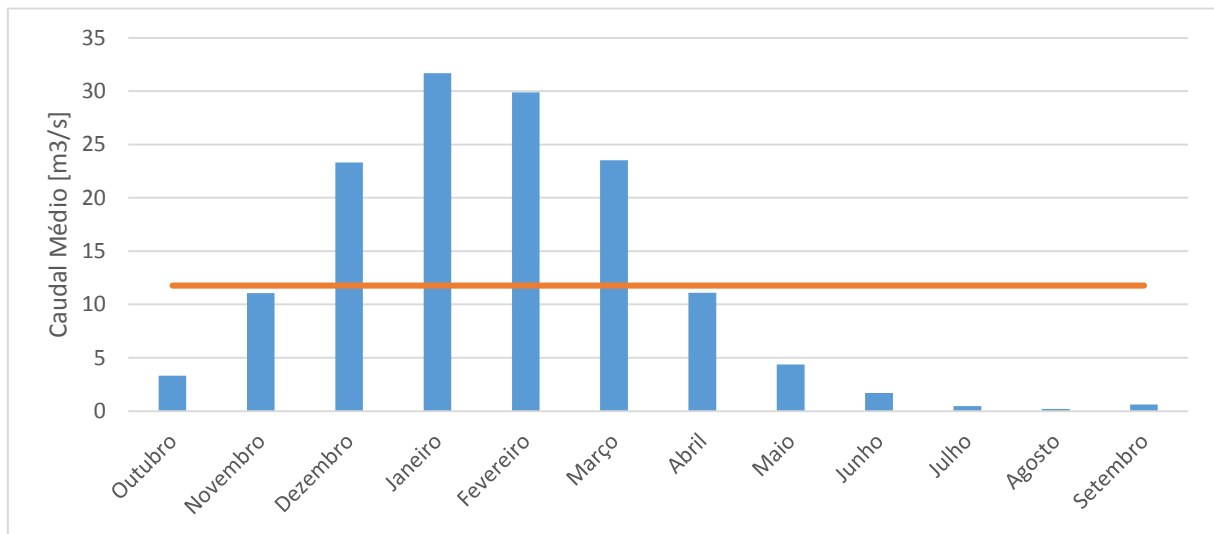


Figura 14 - Média mensal e média anual do caudal do rio Ardila com base em valores de 1949 a 2001

A seguir temos a comparação do caudal médio do Ardila com o caudal afluente médio a Pedrógão, assim permitindo-nos observar o “peso” do rio Ardila no caudal afluente a Pedrógão.

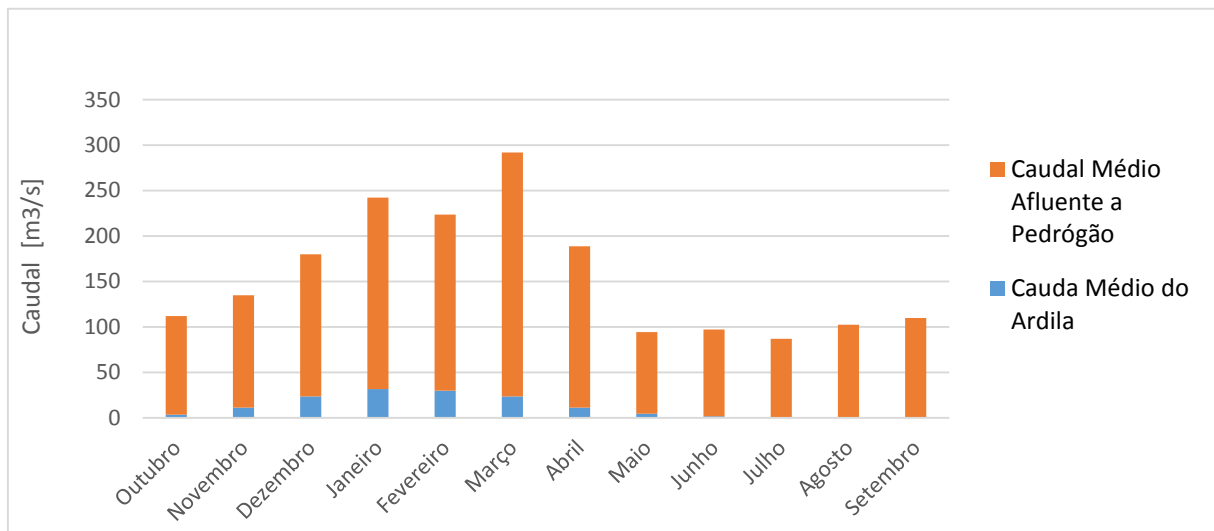


Figura 15-Comparação entre a média do caudal do rio Ardila e do caudal afluente a Pedrógão (Fonte SNIRH)

Como podemos observar o caudal do rio Ardila, em média, é uma fração insignificante do total do caudal afluente que chega a Pedrógão.

2.5.3 Validação da produção de energia

A validação da produção de energia recorreu à simulação da produção de energia nas centrais elétricas e compara esse valor estimado, com o disponibilizado pela REN. Neste caso utilizamos a equação da energia apresentada em baixo (nesse caso a equação correspondente á barragem de Alqueva).

$$E_t^A = 9800 * (N_t^A - N_t^P) * QT_t^A * ef * 3600000000 \quad (5)$$

Em que E_t , representa a energia produzida no dia t. N_t , o nível hidrométrico do dia t. QT_t^A , é o caudal turbinado no dia t e ef , é a eficiência.

Para utilizar esta equação precisamos do valor da eficiência das turbinas e das bombas das centrais hidroelétricas, no entanto esse valor é confidencial e não nos foi divulgada a informação.

Para descobrir um valor aproximado da eficiência da turbina e da bomba de Alqueva e de Pedrógão foi efetuada uma simulação utilizando o processo solver do Excel e a equação da energia. Assim o programa calcula automaticamente a eficiência de acordo com o menor erro quadrático possível entre a produção de energia observada e a calculada.

Seguidamente apresentamos os resultados deste processo com os valores das eficiências simuladas e com figuras a representar a relação entre a energia calculada e observada.

Alqueva I

Como a central hidroelétrica de Alqueva tem duas componentes, Alqueva I (a central original) e o reforço Alqueva II aqui as eficiências e produção vão ser analisadas em separado.

De acordo com a simulação efetuada em Excel a eficiência da bomba da turbina reversível Francis de Alqueva I é 0.87. Este valor encontra-se dentro dos limites possíveis e foi considerado válido.

Abaixo encontra-se a Figura 16 com a relação entre a energia calculada com esta eficiência e a observada nos dados.

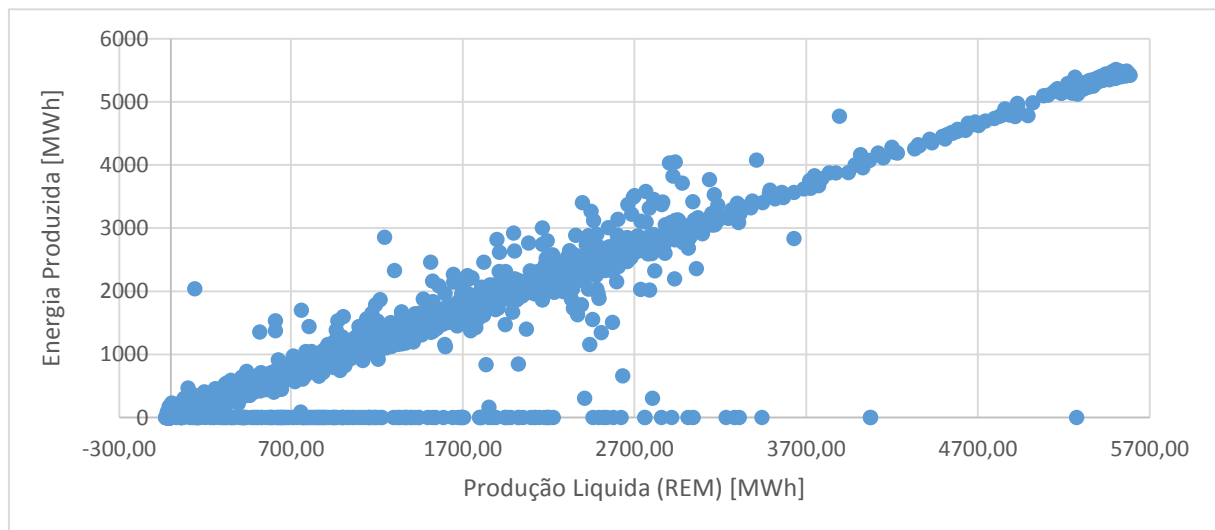


Figura 16-Relação da produção líquida em Alqueva I (Fonte: REN) e a energia produzida calculada

Podemos observar que vários valores junto ao eixo da produção líquida observada, correspondendo a uma energia calculada de valor zero. Estes valores devem dever-se a falhas nos dados do caudal afluente.

No caso da eficiência da bomba do sistema reversível Francis de Alqueva I resulta num valor acima do possível, não sendo por isso considerado válido. Pelo que tal vai ser considerada uma eficiência alta de 0,9 para simular a produção de energia.

A Figura 17 representa a relação entre a energia gasta na bombagem calculada com a eficiência considerada e a observada obtida na REN.

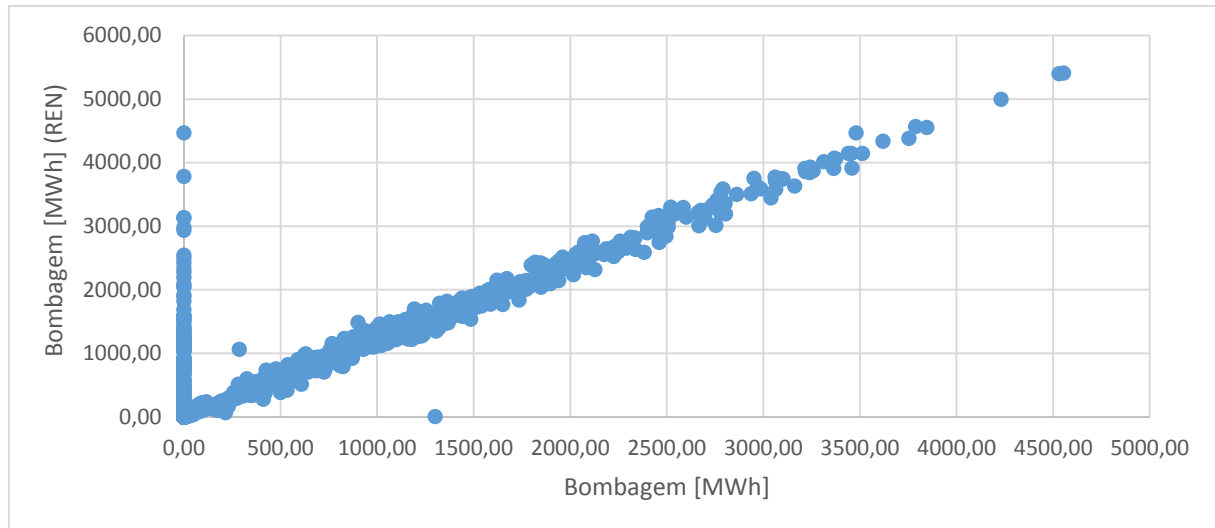


Figura 17- Relação entre a Bombagem em Alqueva I (Fonte: REN) e a Energia bombagem calculada com a fórmula

Podemos observar que a relação é quase linear. Os valores junto ao eixo dos valores da energia gasta em bombagem retirados da REN, devem corresponder a falhas nos dados do caudal bombeado.

Alqueva II

No caso de Alqueva II além de não se saber a eficiência das turbinas, também os caudais turbinados são desconhecidos pois nas fontes de dados consultadas os caudais turbinados em Alqueva I e Alqueva II aparecem em conjunto. O único dado para qual existe informação sobre Alqueva II é a produção líquida de energia. Para estimar o caudal mínimo, calculou-se a percentagem da energia produzida em cada central hidroelétrica, utilizando o total da produção líquida e a produção em cada central. O caudal turbinado é multiplicado por essa percentagem para podermos analisar as centrais em separado.

A eficiência da turbina reversível Francis de Alqueva II resulta em outro valor impossível, também muito acima do possível. Assim para calcular a energia vai ser considerado 0,95 como a eficiência da turbina. A Figura 18 representa a relação da energia produzida em Alqueva II calculada e observada.

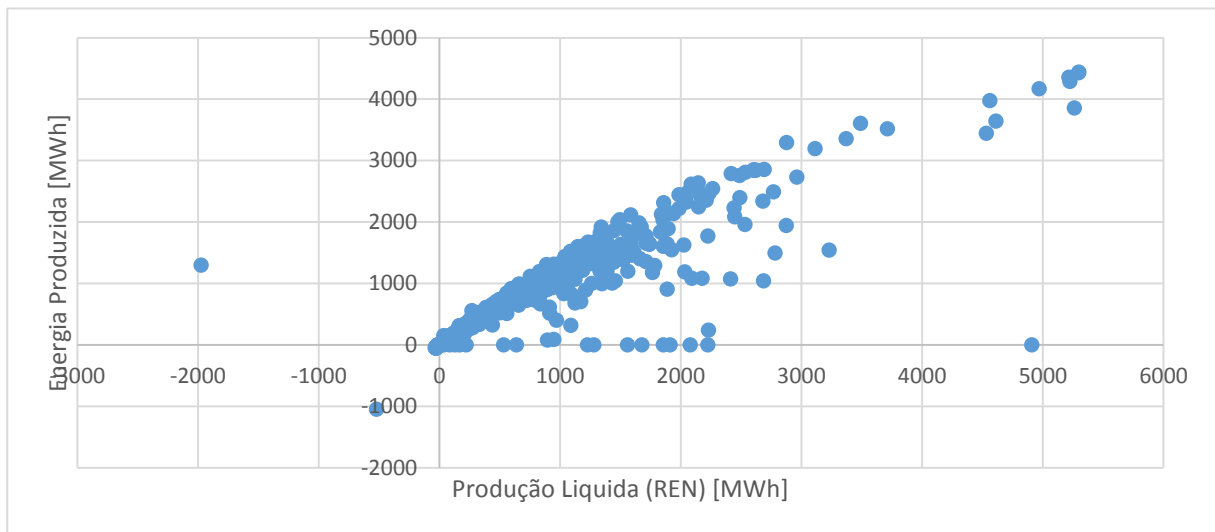


Figura 18-Relação entre a Produção líquida (Fonte: REN) e a energia produzida calculada em Alqueva II

O resultado do solver no cálculo da bombagem também foi muito superior a um valor possível, excedendo os 100%. Como tal o valor da eficiência considerado é 0.95.

A Figura 19 representa a relação entre a energia gasta na bombagem que foi calculada e a observada.

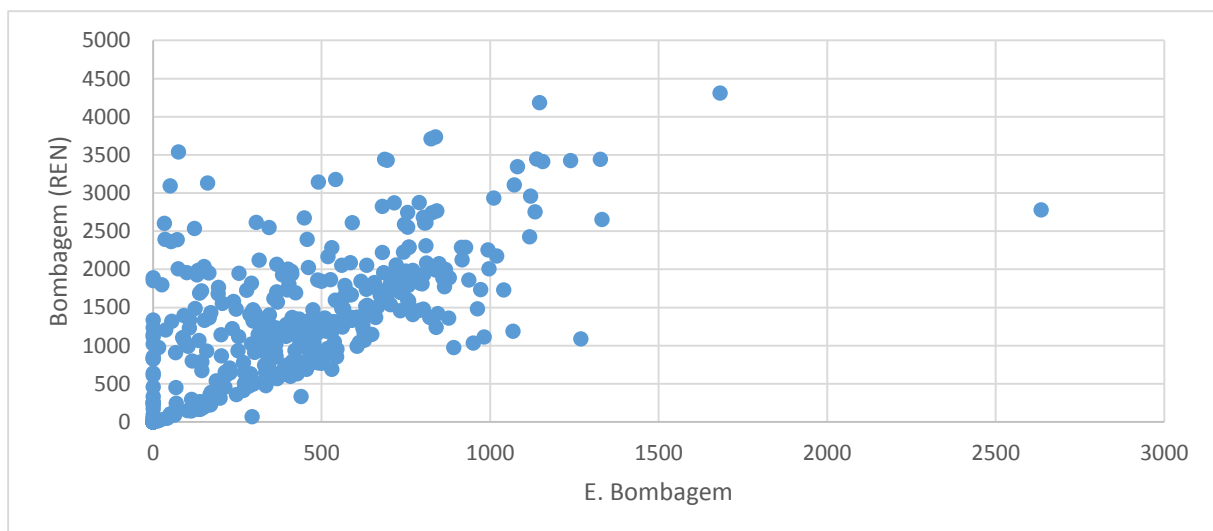


Figura 19 - Relação entre a Bombagem (Fonte: REN) e a energia de bombagem calculada pela fórmula em Alqueva II

A seguinte figura representam a energia que foi produzida e gasta em Alqueva durante o seu funcionamento, a contribuição de Alqueva II e a energia produzida em Pedrógão.

A Figura 20 representa a energia diária produzida em Alqueva I e Alqueva II desde 2007 a 2013

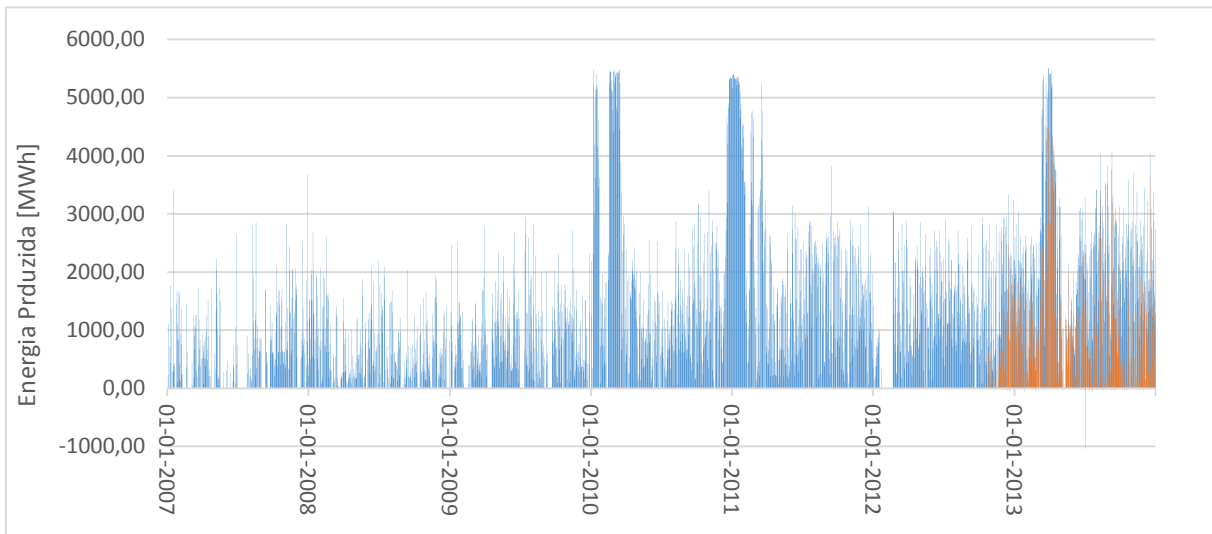


Figura 20-Produção líquida diária em Alqueva I (azul) e Alqueva II (laranja) com base na fórmula

Podemos observar que a produção em Alqueva II duplica a quantidade de energia produzida na central hidroelétrica, o que era esperado pois Alqueva II tem características muito semelhantes a Alqueva I.

Pedrógão

Ao contrário da situação em Alqueva não possuímos informações sobre a energia produzida em Pedrógão. A Figura 21 representa a energia produzida em Pedrógão calculada com a fórmula da energia e uma eficiência estimada de 80%.

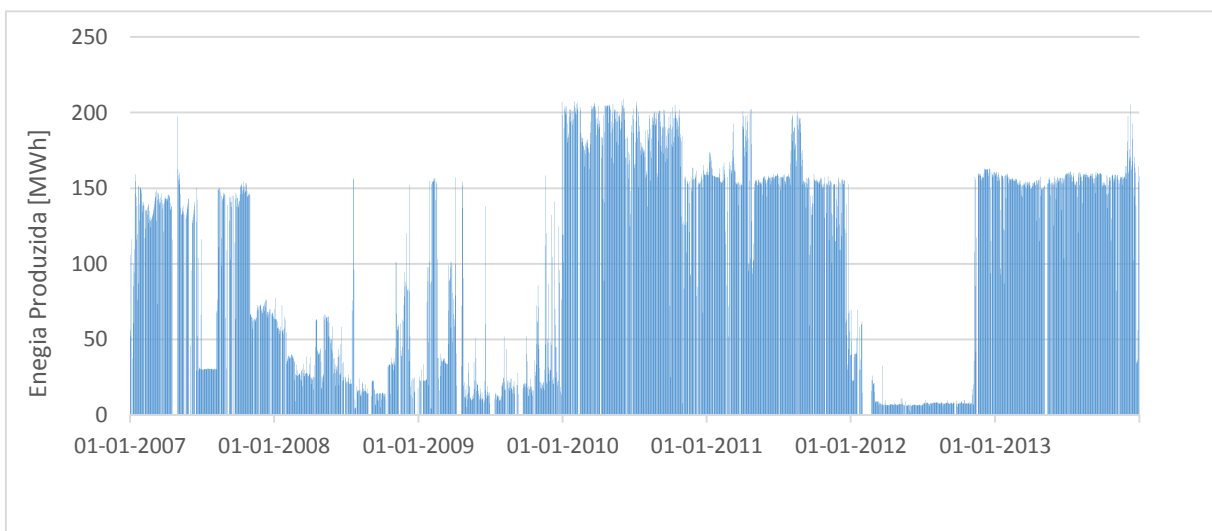


Figura 21-Produção de energia diária da central elétrica de Pedrógão com a eficiência assumida

2.5.4 Síntese da validação de dados

Da validação de dados podemos concluir que os dados de Alqueva retirados do SNIRH e REN, como a cota, o caudal turbinado, o caudal bombeado e o caudal descarregado estão corretos, embora possa existir algum erro no caudal bombeado quando se analisa a produção de energia.

O método utilizado teve resultados mistos em Alqueva I. O cálculo da eficiência da turbina resultou em 87%, mas a estimativa da eficiência de bombagem resultou num valor impossível, acima dos 100%. Estes resultados parecem demonstrar que os dados correspondentes ao caudal bombeado não estão totalmente corretos.

Devido à falta de dados sobre Alqueva II todos os dados foram estimados a partir de Alqueva I. Calculando a percentagem da produção líquida em cada central hidroelétrica, e multiplicando o caudal turbinado por essa percentagem. No entanto, ao observar os resultados da produção de energia, verificamos que os dados não são válidos e que os resultados obtidos não correspondem à realidade, pois tanto a eficiência das turbinas com das bombas são superiores a 100%.

Pela validação do balanço de água de Pedrógão verificamos que os dados apresentam algumas inconsistências, sendo que o volume calculado continua a subir. Ao analisarmos os vários caudais afluentes verificamos que apesar de ligeiras diferenças entre esses caudais as mesmas não justificam a inconsistência no balanço de água. É possível que o erro seja devido a um erro acumulado.

Os valores de eficiência apresentados são demasiado altos considerando que correspondem a valores de um processo que inclui as turbinas, geradores e máquinas. Estes valores altos apontam para erros na estimativa do caudal turbinado ou na energia produzida.

3 Simulação da produção de energia no EFMA

3.1 Formulação do modelo matemático

Neste capítulo apresentamos o modelo de cálculo utilizado para obter a relação entre capacidade de satisfação das necessidades agrícolas e a produção de energia. É descrito o seu propósito e apresentadas as suas equações e os seus dados de entrada. No final do capítulo apresenta-se uma validação do modelo, comparando os valores de volume armazenado nas duas albufeiras com os valores observados.

O modelo foi elaborado no programa Excel e tem por objetivo calcular as garantias de abastecimento de água para agricultura e para a produção de energia. O período de simulação tem 51 anos, desde de 1 de Outubro de 1939 a 30 de Setembro de 1990, que corresponde à totalidade dos dados do escoamento disponíveis. O passo de cálculo do modelo é o dia.

Os dados de entrada do modelo incluem: as séries de caudal médio diário do rio Guadiana afluente à albufeira de Alqueva, de caudal médio diário do rio Ardila afluente à albufeira de Pedrogão, o regime de caudal ecológico, e os valores de evaporação diária e de precipitação diária. Todas as outras variáveis são impostas pelo utilizador, ou calculadas com recurso às equações do modelo.

As variáveis de decisão, controladas pelo utilizador, são: as necessidades de rega totais no sistema e o objetivo de produção de energia.

Quadro 8-Relação entre as variáveis de decisão do programa

Subsistema	Necessidades Rega	Área	Objetivo de Energia
Alqueva	$= R*0.6$		$=E*0.9$
Ardila	$=R*0.15$		
Pedrogão	$=R*0.25$		
Total da Alb. Pedrogão	$=R*0.4$		$=E*0.1$
Total	R	$=R/0.003$	E

Os objetivos de rega (R) e de produção de energia (E), indicados pelo utilizador, correspondem a valores globais a satisfazer pelo sistema. As necessidades de rega (R) são distribuídas pelos três subsistemas de acordo com a atual distribuição da área regada. A produção de energia (E) é distribuída de acordo com a capacidade das centrais afetas às albufeiras de Alqueva e de Pedrogão (Quadro 8).

O propósito inicial do EFMA era a revitalização do Alentejo através da promoção do regadio, e continua a ser um dos seus principais objetivos. Como tal, no modelo as necessidades de regadio para agricultura sobrepõem-se às necessidades energéticas, sendo apenas satisfeitas após a satisfação das necessidades de rega.

Os valores de R e E, indicados pelo utilizador, correspondem a valores anuais que têm de ser distribuídos ao longo do ano. O objetivo de produção de energia é distribuído uniformemente ao longo do ano. No caso da rega, assume-se que esta apenas ocorre entre Maio e Setembro, os meses em que as necessidades de rega são mais elevadas.

Como resultados, o modelo calcula a energia efetivamente produzida, a água fornecida para rega e os valores de garantia de abastecimento das necessidades de água para a agricultura e produção de energia, que representam a capacidade do EFMA de satisfazer os objetivos impostos pelo utilizador. Os resultados do modelo são apresentados no Capítulo 4, sob a forma de uma curva *trade-off* com a representação da evolução da produção de energia de acordo com o volume de regadio estabelecido e com a garantia de satisfação.

O modelo recorre a um conjunto de equações que simulam o comportamento das albufeiras de Alqueva e Pedrógão, de acordo com as circunstâncias em que se encontram, concretamente o volume armazenado e a quantidade de água que pode ser utilizada para satisfazer as necessidades hídricas da agricultura, energia e ecossistemas. Das três necessidades principais (agricultura, energéticas e ecológicas) apenas as duas primeiras vão ter garantias, pois considera-se que as necessidades ecológicas são sempre obrigatoriamente satisfeitas. Os resultados do modelo constituem uma aproximação de como as albufeiras se comportariam na realidade e incluem a estimativa das necessidades que podem ser satisfeitas com estes comportamentos.

Área e Nível hidrométrico

A área e o nível das duas albufeiras são estimados a partir dos dados apresentados nas curvas de área a nível no Capítulo 2.2.2

Área e o nível hidrométrico em Alqueva:

$$A_t^A = (-4 * 10^{-7}) * V_t^{A^2} + 0.0567 * V_t^A + 14.48 \quad (6)$$

$$N_t^A = (-1 * 10^{-6}) * V_t^{A^2} + 0.0132 * V_t^A + 118.17 \quad (7)$$

Área e o nível hidrométrico em Pedrógão:

$$A_t^P = (-0.0004) * V_t^{P^2} + 0.1109 * V_t^P + 3.5029 \quad (8)$$

$$N_t^P = (0.0005) * V_t^{P^2} + 0.1784 * V_t^P + 71.134 \quad (9)$$

Em que A_t representa a área do espelho de água da albufeira, N_t o nível hidrométrico e V_t o volume da albufeira ao início do dia t.

Clima

Os volumes de evaporação e precipitação nas duas albufeiras são estimados pelas seguintes equações, recorrendo às taxas apresentadas do subcapítulo 3.2.2 e 3.2.3:

Volume evaporado em Alqueva e em Pedrogão, respetivamente:

$$Ev_t^A = e_t * A_t^A \quad (10)$$

$$Ev_t^P = e_t * A_t^P \quad (11)$$

Volume precipitado em Alqueva e em Pedrogão, respetivamente:

$$P_t^A = p_t * A_t^A \quad (12)$$

$$P_t^P = p_t * A_t^P \quad (13)$$

Em que P_t representa a precipitação do dia t , Ev_t a evaporação do dia t , e a taxa de evaporação e p a taxa de precipitação.

Alqueva

O volume inicial é o volume com o qual iniciamos os cálculos do dia que estamos a considerar. É o que resulta do balanço do dia anterior, ou seja o que fica retido na albufeira em resultado do estado inicial da albufeira, do volume afluente do dia anterior e das ações desse dia. Considerou-se que o volume no início do período de simulação, isto é no dia 01/10/39, é igual a 3150 hm³ de volume total.

Nos restantes dias o volume total inicial do dia t é calculado pela seguinte fórmula:

$$V_t^A = V_{t-1}^A + VA_{t-1}^A + P_{t-1}^A - Ev_{t-1}^A - VR_{t-1}^A - VT_{t-1}^A - D_{t-1}^A \quad (14)$$

Em que V_t é o volume á meia noite do dia t , P_t a precipitação no dia t , VA_t o volume afluente no dia t , Ev_t a evaporação no dia t , VT_t o volume turbinado no dia t , D_t o volume descarregado no dia t e VR_t , o volume para regadio no dia t .

O balanço de água em Alqueva inclui os volumes de água bombeados de Pedrogão para Alqueva, mas a decisão sobre o volume bombear em cada dia depende dos valores do preço da energia definidos em cada momento pelo mercado. Uma vez que o modelo desenvolvido não tem acesso a esses dados, optou-se não incluir a bombagem de água. O volume turbinado VT_t deve, por isso, ser entendido como o volume líquido turbinado. O valor real deste volume é a soma do volume líquido e do volume bombeado, que se desconhece.

As restantes decisões de operação, nomeadamente os volumes atribuídos para rega, para turbinção e para descarga pelo descarregador são calculadas da seguinte forma.

Primeiro o modelo calcula o volume disponível para a satisfação das necessidades ecológicas. Este volume tem em conta o nível mínimo de exploração em Alqueva, estimado em 1000 hm³.

$$VD0_t^A = V_t^A + VA_t^A + P_t^A - Ev_t^A - 1000 \quad (15)$$

Em que $VD0_t$ representa o volume disponível na albufeira.

O volume de águas fornecido para satisfazer as necessidades ecológicas depende apenas do $VD0_t$. Se a albufeira tiver capacidade para fornecer água, estas necessidades são obrigatoriamente satisfeitas. As necessidades de manutenção ecológica tem prioridade sobre as outras. Embora o caudal ecológico seja apenas descarregado em Pedrógão, a inclusão desta componente no balanço de Alqueva, visa assegurar a satisfação das necessidades ecológicas em Pedrógão. Note-se que este volume de água conta para a produção de energia,

$$VU_t^A = \begin{cases} NU_t^A & \text{se } VD0_t^A \geq NU_t^A \\ VD0_t^A & \text{se } VD0_t^A < NU_t^A \end{cases} \quad (16)$$

Em que VU_t representa o volume de manutenção ecológica e NU_t as necessidades ecológicas do dia t .

Seguidamente o modelo calcula o volume disponível para satisfazer as necessidades de agricultura considerando o volume que foi fornecido para as necessidades ecológicas.

$$VD1_t^A = VD0_t^A - VU_t^A \quad (17)$$

Em que $VD1_t$ é volume disponível para as necessidades agrícolas

O volume de água fornecido para satisfazer as necessidades de agricultura depende do volume disponível 1 e das necessidades para aquele dia. Se o volume disponível é o suficiente para ser fornecido para agricultura satisfazemos as necessidades de agricultura; caso contrário fornecemos o que estiver disponível. O volume fornecido para agricultura é calculado por:

$$VR_t^A = \begin{cases} NR_t^A & \text{se } NR_t^A \leq VD1_t^A \\ VD1_t^A & \text{se } NR_t^A > VD1_t^A \end{cases} \quad (18)$$

Em que VR_t^A representa o volume de água abastecido para satisfazer as necessidades de agricultura e NR_t as necessidades de regadio no dia t .

No cálculo deste volume procede-se em simultâneo ao cálculo das falhas de satisfação das necessidades de água para rega. Se as necessidades forem satisfeitas o valor é nulo e no caso contrário é atribuído o valor 1. A falha diária é calculada da seguinte forma:

$$FR_t^A = \begin{cases} 0 & \text{se } NR_t^A \leq VR_t^A \\ 1 & \text{se } NR_t^A > VR_t^A \end{cases} \quad (19)$$

Em que FR_t representa as falhas do regadio no dia t .

No final do ano é possível calcular as falhas anuais, considerando que ocorre uma falha anual se houve uma ou mais falhas diárias nesse ano. Um ano sem falha é um ano foi possível satisfazer a totalidade das necessidades de água de rega.

$$FR_{Ano\ t}^A = \begin{cases} 0 & \text{se } \sum_{t \in ano} FR_t^A = 0 \\ 1 & \text{se } \sum_{t \in ano} FR_t^A > 0 \end{cases} \quad (20)$$

Em que $FR_{Ano\ t}$ representa as falhas do regadio no ano t .

O volume disponível 2 representa o volume que pode ser utilizado para satisfazer as necessidades energéticas de um dia. Este volume depende do volume disponível e do que sobra após a satisfação das necessidades agrícolas.

$$VD2_t^A = VD1_t^A - VR_t^A \quad (21)$$

Em que $VD2_t$ representa o volume disponível para a produção de energia no dia t , $VD1_t$ é volume disponível para as necessidades agrícolas e NR_t as necessidades de regadio no dia t .

O volume utilizado para manutenção ecológica é turbinado e, dependendo das necessidades de energia, pode ser necessário turbinar um volume superior a essas necessidades. Como tal antes de calcular o volume turbinado o modelo verifica se ainda precisamos de produzir energia adicional. O $NE1_t^A$ representa essa necessidade adicional:

$$NE1_t^A = \begin{cases} VU_t^A & \text{se } VU_t^A \geq NE_t^A \\ NE_t^A & \text{se } VU_t^A < NE_t^A \end{cases} \quad (22)$$

Em que $NE1_t$ representa as necessidades adicionais de energia, VU_t o volume fornecido para manutenção ecológica e NE_t as necessidades de energia do dia t .

Na decisão sobre o volume a turbinar em Alqueva é necessário ter em consideração o estado de armazenamento em Pedrogão, as necessidades de água para rega e produção de energia a satisfazer a partir desta albufeira. Uma vez que o volume turbinado em Alqueva pode também satisfazer essas necessidades. Assim, se o volume disponível 0 em Pedrogão, acrescido do volume turbinado de Alqueva para satisfazer os seus objetivos de produção de energia, não for suficiente para satisfazer as necessidades de rega de Pedrogão, Alqueva pode eventualmente colmatar essa lacuna. De igual forma, se o volume disponível 2 em Pedrogão não for suficiente para satisfazer os objetivos de energia de Pedrogão, Alqueva pode fornecer a água necessária.

No cálculo do volume turbinado em Alqueva o modelo tem de ter em consideração duas condições: o volume necessário transferir para Pedrogão e o volume disponível em Alqueva para satisfazer as necessidades de Alqueva e para corrigir as falhas em Pedrogão, caso seja necessário. Como tal a equação para calcular o volume turbinado depende de vários cenários e condicionantes, representados na equação.

A equação começa por avaliar o pior cenário: Alqueva não tem capacidade para satisfazer as suas necessidades energéticas, e como tal é insuficiente para colmatar as falhas em Pedrogão. Neste caso o volume turbinado é o volume ecológico mais o volume disponível.

Caso o volume disponível em Pedrogão seja insuficiente para satisfazer as necessidades ecológicas, neste caso o modelo avalia três alternativas. Se Alqueva tem o suficiente apenas para satisfazer as necessidades ecológicas de Pedrogão, se o volume disponível em Alqueva é suficiente para as necessidades ecológicas e de agricultura ou, para todas as necessidades de Pedrogão, ecológicas, agricultura e de energia. O modelo considera que o volume turbinado corresponde ao da alternativa que é verificada.

No caso do volume disponível em Pedrogão ser suficiente para fornecer o volume ecológico mas não o volume para agricultura o modelo avalia duas alternativas: se o Alqueva tem capacidade de satisfazer as necessidades de agricultura e de energia ou só de agricultura. Novamente o volume turbinado corresponde ao da alternativa comprovada.

Se o volume disponível em Pedrogão não consegue satisfazer as necessidades de energia o modelo apenas verifica se o volume disponível em Alqueva é suficiente para as necessidades de energia em Pedrogão.

Caso nenhum dos casos acima se verifique, significa que tanto Alqueva como Pedrógão possuem água suficiente para satisfazerem as suas necessidades e Alqueva apenas turbinar o necessário para produzir energia.

$$VT_t^A = \begin{cases} VU_t^A + VD2_t^A \text{ se } VD2_t^A < NE1_t^A \\ NU_t^P - VD0_t^P \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A < NU_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NU_t^P - VD0_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A < NU_t^P + NR_t^P - VD0_t^P \\ NU_t^P + NR_t^P - VD0_t^P \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A < NU_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NU_t^P + NR_t^P - VD0_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A < NU_t^P + NR_t^P + NE_t^P - VD0_t^P \\ NU_t^P + NR_t^P + NE_t^P - VD0_t^P \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A < NU_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NU_t^P + NR_t^P + NE_t^P - VD0_t^P \\ NR_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P) \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A - NU_t^P < NR_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NR_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P) \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A < NR_t^P + NE_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P) \\ NR_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P) \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A - NU_t^P < NR_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NR_t^P + NE_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P) \\ NE_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P - NR_t^P) \text{ se } VD0_t^A + NE_t^A - NU_t^P - NR_t^P < NE_t^P \text{ e } VD2_t^A + VU_t^A \geq NE_t^P - (VD0_t^P - NU_t^P - NR_t^P) \\ NE_t^A \text{ se } VD2_t^A \geq NE1_t^A \text{ e } VD0_t^A + NE_t^A \geq NU_t^P + NR_t^P + NE_t^P \end{cases} \quad (23)$$

Em que VT_t representa o volume turbinado, $VD0_t$ o volume disponível para as necessidades ecológicas, $VD2_t$ o volume disponível para as necessidades de energia, $NE1_t$ as necessidades de energia adicionais, NE_t as necessidades de energia, NU_t as necessidades de ecológicas e NR_t as necessidades de regadio no dia t.

No final calculamos a energia, em GWh, produzida pelo volume turbinado, em hm^3 . Para além do volume, este valor energia depende da queda, representada pela diferença entre as cotas de Alqueva e Pedrógão, e da eficiência das turbinas, a determinada no subcapítulo 2.5.3:

$$E_t^A = \frac{VT_t^A * 0.87 * 9800 * (N_t^A - N_t^P)}{3600 * 1000} \quad (24)$$

Em que E_t representa a energia produzida no dia t e N_t o nível hidrométrico.

As falhas diárias da produção de energia representam um dia em que o volume turbinado não é suficiente para satisfazer as necessidades de produção de energia para aquele dia:

$$FE_t^A = \begin{cases} 0 & \text{se } VT_t^A \leq NE_t^A \\ 1 & \text{se } VT_t^A > NE_t^A \end{cases} \quad (25)$$

Em que FE_t representa as falhas de energia no dia t.

Tal como nas necessidades de rega, calculamos as falhas anuais.

$$FE_{Ano t}^A = \begin{cases} 0 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FE_t^A = 0 \\ 1 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FE_t^A > 0 \end{cases} \quad (26)$$

Em que $FE_{Ano t}$ representa as falhas de energia no ano t.

No final do modelo, calculamos as garantias de satisfação das necessidades de rega e de produção de energia, que traduzem a capacidade do sistema em satisfazer as necessidades impostas ao sistema.

A equação para estas são apresentadas abaixo:

$$GR^A = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FR_{ano i}^A}{51} \right) \quad (27)$$

$$GE^A = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FE_{ano i}^A}{51} \right) \quad (28)$$

Em que GE_t e GR_t representam as garantias de produção de energia e de regadio no dia t , respetivamente, FE_t as falhas de energia no dia t e FR_t as falhas do regadio no dia t .

O volume final representa o volume na albufeira ao final do dia t , mas antes da bombagem ou da descarga.

$$VF_t^A = V_t^A + VA_t^A + P_t^A - Ev_t^A - VR_t^A - VT_t^A \quad (29)$$

Em que VF_t representa o volume após serem retiradas as necessidades, V_t o volume inicial, P_t a precipitação, VA_t o volume afluente, Ev_t a evaporação, VT_t , é volume turbinado, e VR_t é o volume para regadio do dia t .

Se o volume final da albufeira atingir o nível máximo a descarga libertará água até o volume ser inferior a 4150hm^3 . A água libertada pelos descarregadores não é turbinada, logo não conta para a produção de energia.

$$VD_t^A = \begin{cases} VF_t^A - 4150 & \text{se } VF_t^A > 4150 \\ 0 & \text{se } VF_t^A \leq 4150 \end{cases} \quad (30)$$

Em que VD_t representa o volume descarregado e VF_t é o volume após serem retiradas as necessidades do dia t .

Pedrógão

O volume inicial no primeiro dia da simulação, 01/10/1939 é 64hm^3 . Nos dias seguintes é utilizada a seguinte fórmula:

$$V_t^P = V_{t-1}^P + VA_{t-1}^{Ar} + P_{t-1}^P + VT_{t-1}^A + D_{t-1}^A - Ev_{t-1}^P - VR_{t-1}^P - VT_{t-1}^P \quad (31)$$

Em que V_t é o volume inicial, P_t a precipitação, VA_t o volume afluente, Ev_t a evaporação, VT_t o volume turbinado, VD_t o volume descarregado e VR_t o volume para regadio no dia t .

Pelas razões acima apresentadas considerou-se nulo o volume VB_{t-1}^{PA} .

De forma semelhante ao sistema de Alqueva o volume disponível 1 representa o que está disponível para satisfazer as necessidades de manutenção ecológica. Em que 52 é o volume mínimo de armazenamento em Pedrógão (em hm^3).

$$VD0_t^P = V_t^P + VA_t^{Ar} + P_t^P - Ev_t^P - 52 \quad (32)$$

Em que $VD0_t$ é volume disponível para as necessidades ecológicas, V_t o volume inicial, VA_t o volume afluente, P_t a precipitação e Ev_t a evaporação no dia t .

A quantidade de água fornecida para satisfação das necessidades ecológicas é calculada pela equação:

$$VU_t^P = \begin{cases} NU_t^P & \text{se } VD0_t^P + VT_t^A \geq NU_t^P \\ VD0_t^A & \text{se } VD0_t^P + VT_t^A < NU_t^P \end{cases} \quad (33)$$

Em que VU_t representa o volume de manutenção ecológica, $VD0_t$ o volume disponível na albufeira e NU_t as necessidades ecológicas do dia t .

Após a satisfação do caudal de manutenção ecológico procede-se ao cálculo do volume de regadio.

$$VD1_t^P = VD0_t^P - VU_t^P \quad (34)$$

Em que $VD1_t$ é volume disponível para as necessidades agrícolas.

O volume para a satisfação das necessidades de rega tem em consideração o volume turbinado em Alqueva, se o volume disponível mais o turbinado em Alqueva são o suficiente para satisfazer as necessidades de rega, então as necessidades de rega são satisfeitas.

$$VR_t^P = \begin{cases} NR_t^P & \text{se } VD1_t^P + VT_t^A \geq NR_t^P \\ VD1_t^P + VT_t^A & \text{se } VD1_t^P + VT_t^A < NR_t^P \end{cases} \quad (35)$$

Em que VR_t^P representa o volume utilizado para satisfazer as necessidades de rega. VT_t , o volume turbinado e NR_t as necessidades de rega no dia t.

As falhas de Pedrógão seguem o mesmo sistema do que as de Alqueva:

$$FR_t^P = \begin{cases} 0 & \text{se } NR_t^P \leq VR_t^P \\ 1 & \text{se } NR_t^P > VR_t^P \end{cases} \quad (36)$$

$$FR_{Ano t}^P = \begin{cases} 0 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FR_t^P = 0 \\ 1 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FR_t^P > 0 \end{cases} \quad (37)$$

Em que FR_t e $FR_{Ano t}$ representam as falhas do regadio no dia e no ano t, respetivamente.

O volume disponível 2 é utilizado para a satisfação das necessidades energéticas, sem contar com a contribuição de Alqueva:

$$VD2_t^P = VD1_t^P - VR_t^P \quad (38)$$

Em que $VD2_t$ representa o volume disponível para a produção de energia no dia t, $VD1_t$ o volume disponível para as necessidades agrícolas e VR_t as necessidades de regadio no dia t.

O volume turbinado também depende do volume para manutenção ecológica. Se este for superior às necessidades energéticas, então este será o volume turbinado. Caso contrário depende se o volume disponível é suficiente para as necessidades de energia, se for o volume turbinado equivale às necessidades de energia. Se não for este o caso o volume turbinado é igual ao volume ecológico e disponível.

$$VT_t^P = \begin{cases} VU_t^P & \text{se } VU_t^P \geq NE_t^P \\ NE_t^P & \text{se } VU_t^A < NE_t^A \text{ e } VD2_t^P + VT_t^A \geq NE_t^P - VU_t^P \\ VU_t^P + VD2_t^P + VT_t^A & \text{se } VU_t^A < NE_t^A \text{ e } VD2_t^P + VT_t^A < NE_t^P - VU_t^P \end{cases} \quad (39)$$

Em que VT_t representa o volume turbinado, NE_t as necessidades de produção de energia, VU_t o volume de manutenção ecológica e $VD2_t$ o volume disponível para as necessidades de energia no dia t.

Calculamos a energia produzida em Pedrógão, em GWh, com o volume turbinado, VT_t^P , em hm³.

$$E_t^P = \frac{VT_t^P * 0.8 * 9800 * (N_t^P - N_t^G)}{3600 * 1000} \quad (40)$$

Em que E_t representa a energia produzida no dia t e N_t o nível hidrométrico. No final calculamos as falhas da produção de energia.

$$FE_t^P = \begin{cases} 0 & \text{se } NE_t^P \leq VT_t^P \\ 1 & \text{se } NE_t^P > VT_t^P \end{cases}$$

$$FE_{Ano\ t}^P = \begin{cases} 0 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FE_t^P = 0 \\ 1 & \text{se } \sum_{t \in \text{ano}} FE_t^P > 0 \end{cases} \quad (41)$$

Em que FE_t e $FE_{Ano\ t}$ representam as falhas de energia no dia t e no ano t , respetivamente.

$$VF_t^P = V_t^P + VA_t^{Ar} + P_t^P - Ev_t^P - VR_t^P - VT_t^P \quad (42)$$

Em que VF_t representa o volume após serem retiradas as necessidades, V_t o volume inicial, P_t a precipitação, VA_t o volume afluente, Ev_t a evaporação, VT_t o volume turbinado, VR_t , o volume para regadio e VU_t , o volume de manutenção ecológica.

O nível para o qual ocorre descarga em Pedrógão tem como valor base o volume de capacidade máxima.

$$VD_t^P = \begin{cases} VF_t^P - 106 & \text{se } VF_t^A > 106 \\ 0 & \text{se } VF_t^A \leq 106 \end{cases} \quad (43)$$

Em que VD_t representa o volume descarregado no dia t .

Finalizamos os cálculos em Pedrógão com os cálculos das garantias a albufeira.

$$GR^P = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FR_i^P}{51} \right) \quad (44)$$

$$GE^P = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FE_i^P}{51} \right) \quad (45)$$

As garantias globais representam a capacidade do sistema das duas albufeiras como um todo, quando há uma falha é considerado que o sistema falhou nesse ano.

$$FR_t = \begin{cases} 0 & \text{se } FR_t^A + FR_t^P \leq 0 \\ 1 & \text{se } FR_t^A + FR_t^P > 0 \end{cases} \quad (46)$$

$$GR = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FR_i}{51} \right) \quad (47)$$

$$FE_t = \begin{cases} 0 & \text{se } FE_t^A + FE_t^P \leq 0 \\ 1 & \text{se } FE_t^A + FE_t^P > 0 \end{cases} \quad (48)$$

$$GE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{51} FE_i}{51} \right) \quad (49)$$

Em que GE_t e GR_t representam as garantias de produção de energia e de regadio no dia t , respetivamente. FE_t representa as falhas de energia no dia t . FR_t representa as falhas do regadio no dia t

Estas são as equações com compõem o modelo matemático, no Capítulo 4 representamos as curvas trade-off resultantes.

3.2 Dados de entrada

3.2.1 Escoamento

Na estimativa da série de escoamento afluente a Alqueva para uma situação estacionária, associada à situação atual de utilização de água na bacia hidrográfica do rio Guadiana, incluindo em Espanha, foram utilizados os registos das várias estações hidrométricas localizadas na área de estudo, disponibilizados pelo SNIRH, e os resultados de um estudo de simulação realizado pela EDP, que estimou o escoamento gerado em Espanha, para vários cenários de utilização de água. Os valores aqui apresentados são retirados de Ferreira (2014).

A Figura 22 compara o registo da estação hidrométrica de Mourão (fonte SNIRH) com o resultado da simulação da EDP em Alqueva para $R=4800$ e $V=7000$. Podemos observar que a série de dados de Alqueva apresenta sempre valores significativamente mais baixos que a de P. Mourão. Existe ainda uma outra simulação de alteração do regime do escoamento do Guadiana, como resultado da

construção de barragens em Espanha. Esta simulação foi realizada pela COBA (1985), e apresenta um intervalo de cálculo anual e abrange o período de 1943 a 1989.

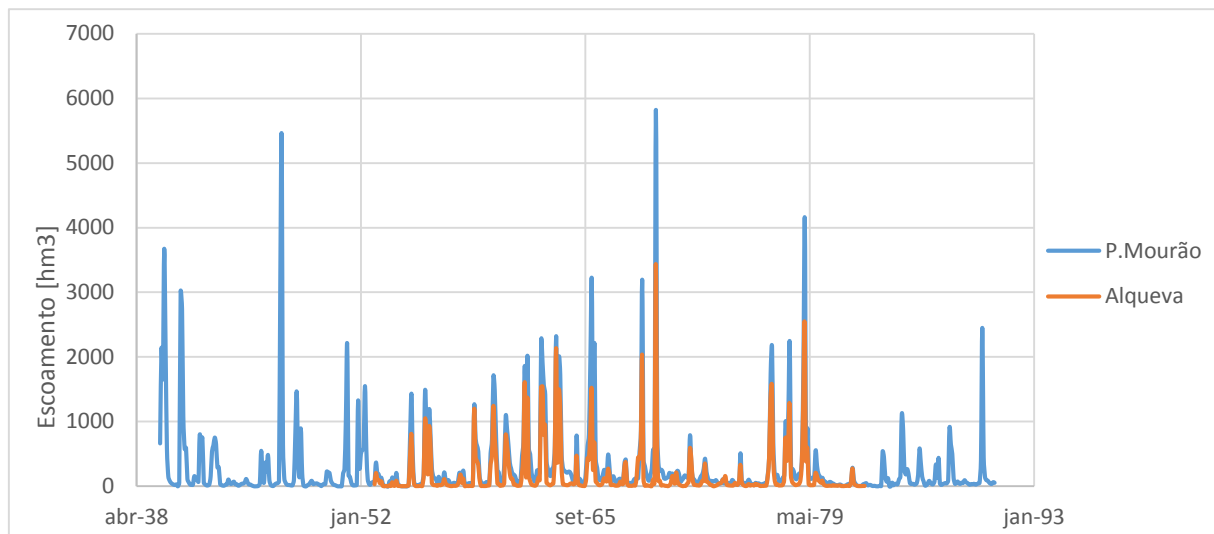


Figura 22-Escoamento mensal observado na área de interesse pelas duas estações hidrométricas

Com o objetivo de obter uma série estacionária de escoamento mensal afluente a Alqueva no período de Outubro de 1939 a Setembro de 1989, os valores da série de P Mourão anterior ao período de simulação realizada pela EDP foram afetados por um coeficiente de modo a que o escoamento anual se aproximasse da simulação realizada pela COBA. A série final de escoamento mensal foi calculada da seguinte forma:

- de Outubro de 1939 a Setembro de 1943 o escoamento é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.3;
- de Outubro de 1943 a Setembro de 1944 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.65;
- de Outubro de 1944 a Setembro de 1945 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.79;
- de Outubro de 1945 a Setembro de 1946 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.079;
- de Outubro de 1946 a Setembro de 1947 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.24;
- de Outubro de 1947 a Setembro de 1948 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.35;
- de Outubro de 1948 a Setembro de 1949 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.7;
- de Outubro de 1949 a Setembro de 1950 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.35;
- de Outubro de 1950 a Setembro de 1952 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.18;
- em Outubro de 1952 é o de P. Mourão multiplicado por um fator de 0.32;
- de Novembro de 1952 a Outubro de 1982 é igual ao de Alqueva;
- de Novembro de 1982 a Setembro de 1989 é igual ao de P. Mourão

Na Figura 23 representamos a variação do escoamento mensal afluente à Alqueva, resultante deste processo. Esta série apresenta uma anual de 1845 hm³/ano e é um dos principais dados de entrada do modelo. Reconhece-se que a influência desta série nos resultados e conclusões deste trabalho, sendo

claro que é necessário desenvolver mais investigação na estimativa das afluências a Alqueva em regime natural e modificado.

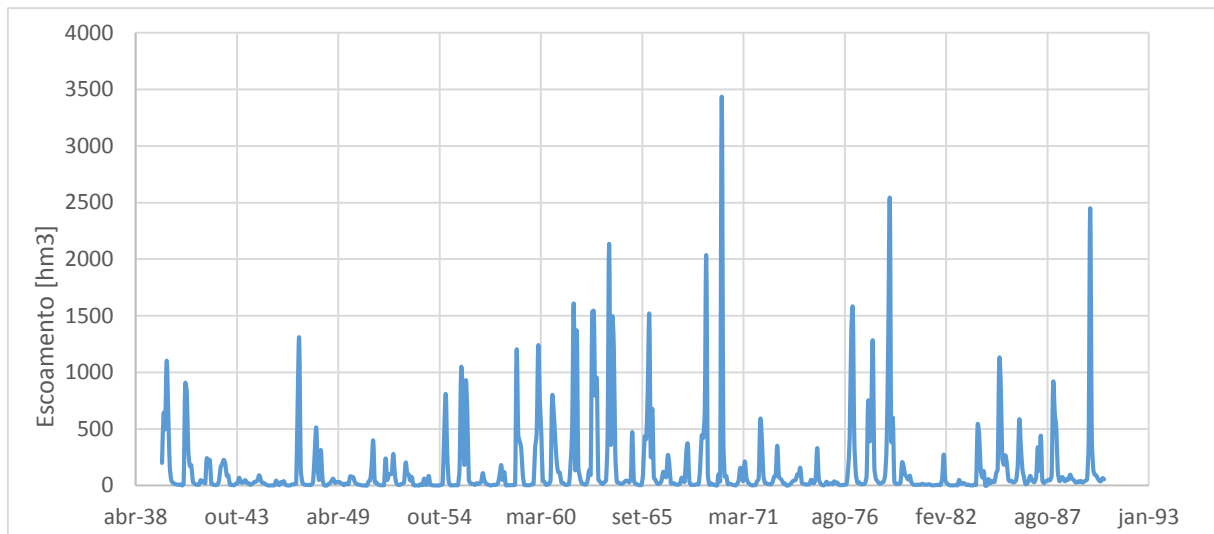


Figura 23-Escoamento mensal para a albufeira de Alqueva

3.2.2 Evaporação

O clima no Alentejo é caracterizado por ser húmido e frio no inverno e quente e seco durante o verão. Durante o verão, existe uma perda substancial de água nas albufeiras.

A evaporação é uma variável que depende de muitos fatores: temperatura do ar, radiação solar, humidade relativa e velocidade do vento.

Devido ao aumento da superfície da água exposta devido à albufeira, a perda de água para a evaporação também aumenta. Se considerarmos uma área inundada de 185 km² a volume de água evaporado da albufeira de Alqueva são 260 hm³/ano, um valor da ordem de grandeza das necessidades de água. Assim o volume de água evaporado depende da área da albufeira e da taxa de evaporação. Considerámos que o caudal de Alqueva para Pedrógão não sofre alterações embora ambas as albufeiras sejam afetadas pela evaporação.

O quadro 9 ilustra a taxa de evaporação mensal nas albufeiras de Alqueva e Pedrógão (Oliveira, 1994). Estes valores foram adotados como a taxa de evaporação durante os 51 anos de estudo.

Quadro 9- Taxa de evaporação (mm)

Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
97	50	26	33	44	87	116	168	204	167	244	164

3.2.3 Precipitação

Para analisar a precipitação na área do EFMA foram considerados os dados da precipitação mensal da estação de Ponte de Mourão (23M/02C) do SNIRH com dados desde de Dezembro de 1941 a Setembro de 1989. A Figura 24 representa a informação retirada dessa estação.

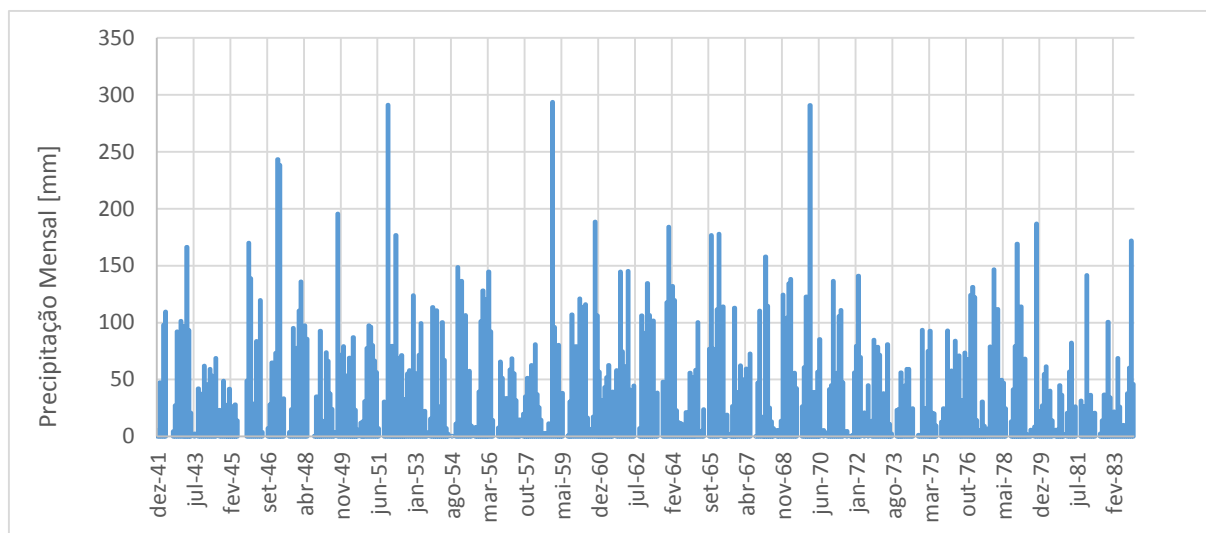


Figura 24- Precipitação mensal registada na estação de Ponte de Mourão (23M/02C)

O espaço de tempo em que existem dados não coincide com o espaço de tempo analisado. Como tal, calcularam-se as médias mensais da precipitação.

O Quadro 10 representa a precipitação mensal média de cada mês durante um período de tempo de 48 anos. Estes são os valores aplicados no programa, com todos os anos com o mesmo valor de precipitação. Tal como na evaporação considerámos estes valores válidos para as duas albufeiras e o caudal entre as duas não é alterado.

Quadro 10- Taxa de precipitação média mensal, calculada para Ponte Mourão (23M/02C)(mm)

Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
55.52	73.49	76.79	68.47	66.83	71.06	55.54	37.2	23.19	5.16	3.95	25.34

3.3 Necessidades de água

3.3.1 Ecológicas

As alterações no regime dos caudais naturais são uma das principais consequências das alterações antropogénicas no ambiente, tendo um impacto profundo nos ecossistemas aquáticos. *Dyson et al.* (2003) define o caudal ecológico como a água no rio necessária para assegurar os benefícios económicos, sociais e ambientais a jusante, sendo o objetivo a garantia da saúde do rio e dos ecossistemas que dele dependem.

Os planos originais da manutenção do caudal ecológico do EFMA foram calculados com os métodos do perímetro molhado e metodologia incremental. Estes valores mudam ao longo do ano, dependendo

da precipitação acumulada e das previsões meteorológicas. Assim o caudal ecológico utilizado é o caudal mínimo instantâneo, 3 m³/s.

3.3.2 Agricultura

No contexto do programa, a necessidade agrícola anual é decidida pelo utilizador e não há um valor estabelecido. No entanto na 2^a edição do AgroIN, José Pedro Salema, responsável pela EDIA afirmou que a média de distribuição para rega é 3 hm³/ha. Para confirmar este valor temos em conta vários fatores como área, tipo de culturas utilizadas e a ocupação dessas culturas nos três subsistemas do EFMA.

Com recurso ao portal do regante e ao *website* do EFMA foram identificadas como as culturas dominantes o olival, a vinha, o milho, o tomate, o melão e os cereais. A determinação das necessidades hídricas concentra-se nestas culturas.

No Quadro 11 são apresentadas as necessidades hídricas das principais culturas no sistema do EFMA em mm. Vamos considerar que Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro são os meses em que se realiza a rega, sendo que os restantes o valor é nulo.

Quadro 11 – Necessidades hídricas em função da cultura, entre Maio e Setembro (mm)

Culturas	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Olival	1	75	85	81	44
Milho	69	144	263	179	19
Vinha	15	95	131	108	38
Girassol	73	219	183	35	0
Tomate	67	96	173	163	6
Melão	68	157	214	51	0
Cevada	54,8	77,2	126,4	3,9	0

Os Quadros 12 e 13 comparam os valores a distribuição das culturas praticadas em cada subsistema no ano 2013. O Quadro 13 foi retirado de AQUALOGUS, ACTION MODULER, EDIA (2013).

Quadro 12 – Distribuição das culturas nos subsistemas (ha)

Subsistema		Alqueva	Ardila	Pedrógão
Culturas		%	%	%
Olival		40	60	58
Milho		12	10	7
Vinha		8	0	8
Girassol		40	30	27
Tomate				
Melão				

No Quadro 13 estão representadas as percentagens da ocupação das culturas em 2014 e 2015 em todo o EFMA, de acordo com o Portal do Regante, não os dividindo por subsistema.

Quadro 13 - Distribuição das culturas no EFMA (%)

Culturas/Ano	2014	2015
Olival	51,13	54,45
Vinha	7,76	7,67
Milho	17,43	12,36
Cereais	3,53	3,78
Forrageiras	4,97	5,32
Outras Culturas	15,18	16,42
Total	100	100

Para confirmar o valor apresentado pela EDIA podemos utilizar as várias áreas de regadio do Quadro 5-Aproveitamentos hidroagrícolas do EFMA.

Se determinarmos a área de cada cultura, com recurso ao Quadro 13, e depois multiplicarmos com os dados no Quadro 12, obtemos a quantidade de água necessária para a rega. Ao dividirmos esse valor pela área total regada o resultado será, aproximadamente, 3 hm³/ha. Se em vez da relação apresentada no Quadro 13, utilizarmos a do Quadro 14 o valor é ligeiramente mais baixo.

Estes cálculos parecem confirmar o valor revelado pela EDIA. Apesar de este valor não influenciar os cálculos, aparecendo apenas como a relação ente as necessidades de rega e a área regada, é interessante confirmar esta relação.

3.3.3 Energia

Tal como as necessidades de regadio, o objetivo de energia produzida é controlado pelo utilizador, no entanto existe uma gama de valores que se pode esperar do programa. A Figura seguinte mostra a evolução da produção líquida em Alqueva de 2007 a 2013. Temos de ter em conta que no final de 2012 entra em funcionamento Alqueva II

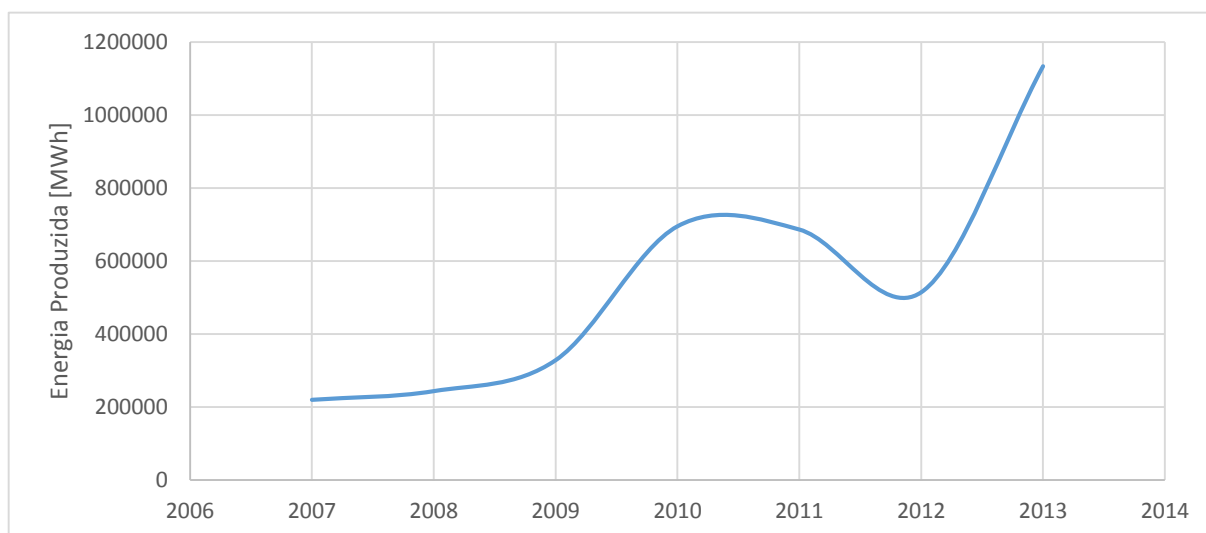


Figura 25 - Evolução da produção líquida anual.

Ao observar a Figura notamos que após entrada em funcionamento de Alqueva II a energia produzida praticamente duplica e que no geral a produção aumenta de ano para ano. Esta Figura representa a gama de valores de produção de energia que o modelo devia estimar. Em 2013 a produção líquida é bastante elevada, ultrapassando os 1000 GWh,

No ano de 2013, a estação hidrométrica ALQUEVA (EDIA/EDP) (24M/07A) registou um caudal médio turbinado de 160 m³/dia. Tendo em conta que a queda em Alqueva é 50 m, a energia produzida durante o ano de 2013 da ordem dos 600 GWh. A estação hidrométrica Pedrógão (EDIA/EDP) (25L/01A) regista um caudal turbinado médio de 4 hm³. Considerando que a queda em Pedrógão é 24 m, obtemos uma produção de energia na ordem dos 90 GWh. O que resulta numa produção conjunta de 690 GWh em 2013, um valor inferior ao apresentado pela REN.

3.4 Validação do modelo

Antes de apresentarmos os resultados é importante verificar o funcionamento do programa. Neste subcapítulo vamos apurar a validade do programa analisando o volume observado em dois casos diferentes.

Caso 1

No primeiro caso definimos uma necessidade de rega de 700 hm³/ano e o objetivo de produção de energia é 100 GWh/ano. Segundo o Convénio Luso-Espanhol o máximo que pode ser extraído do empreendimento são 600 hm³/ano. A consideração de 700 hm³/ano serve para testar o modelo numa situação de limite.

A Figura 26 representa o volume armazenado em Alqueva.

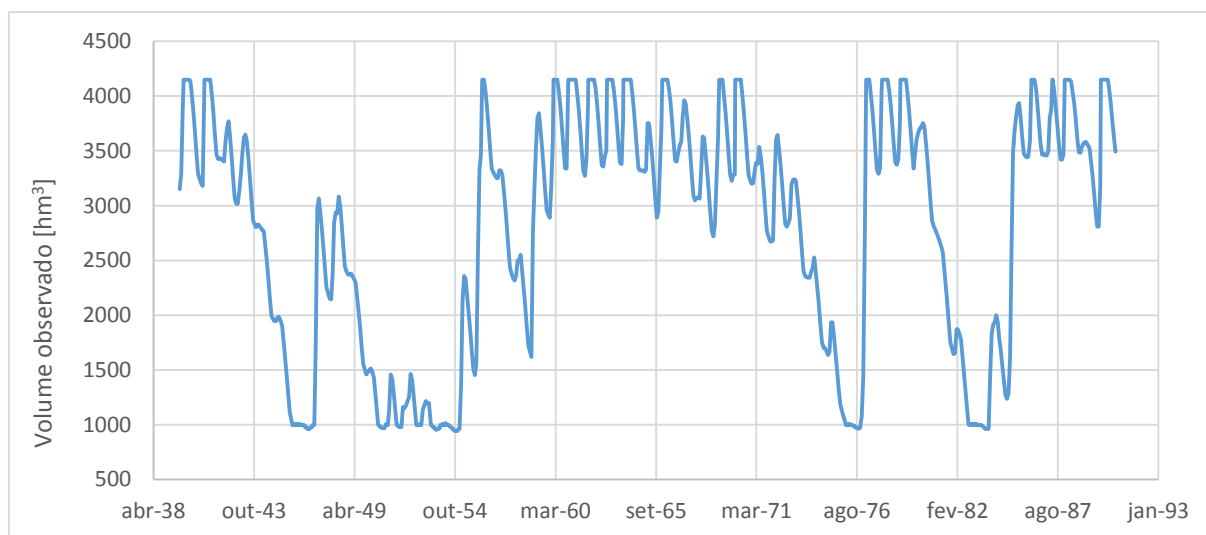


Figura 26- Volume em Alqueva no caso 1

A Figura 27 representa o volume em Pedrógão.

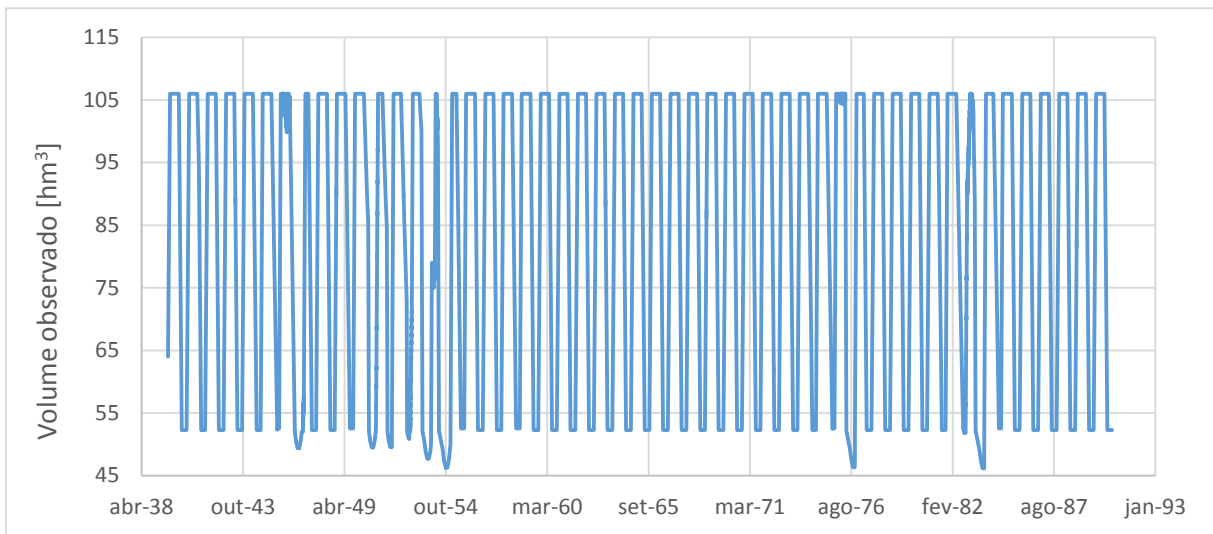


Figura 27- Volume em Pedrógão no caso 1

Caso 2

As necessidades hídricas são 100 hm³/ano e o objetivo para a energia produzida é 100 GWH/ano. A Figura 28 representa o volume em Alqueva.

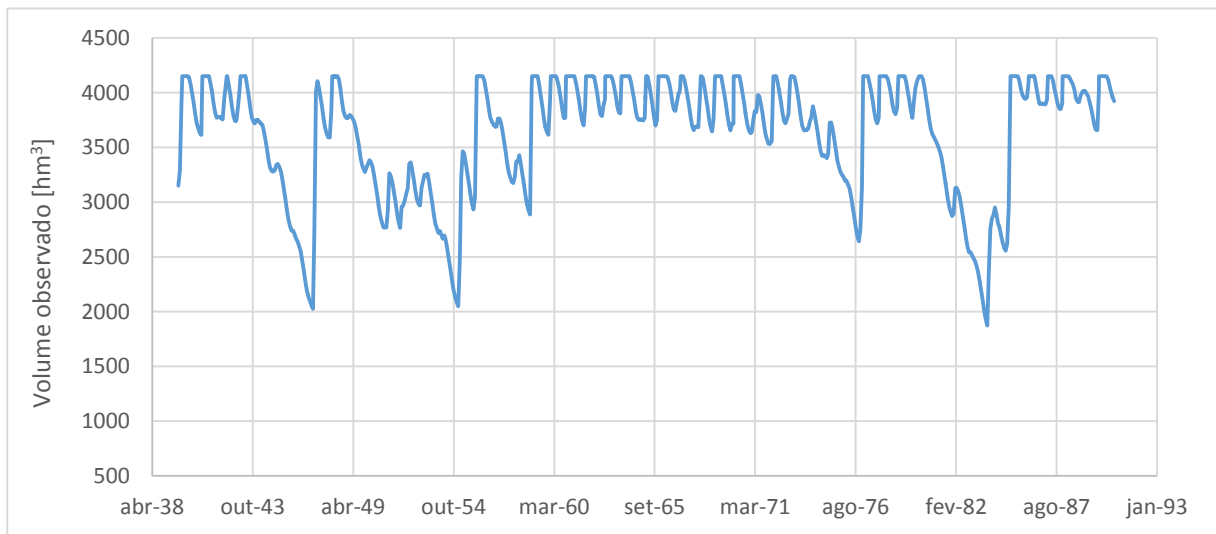


Figura 28- Volume em Alqueva no caso 2

A Figura 29 representa o volume inicial em Pedrógão.

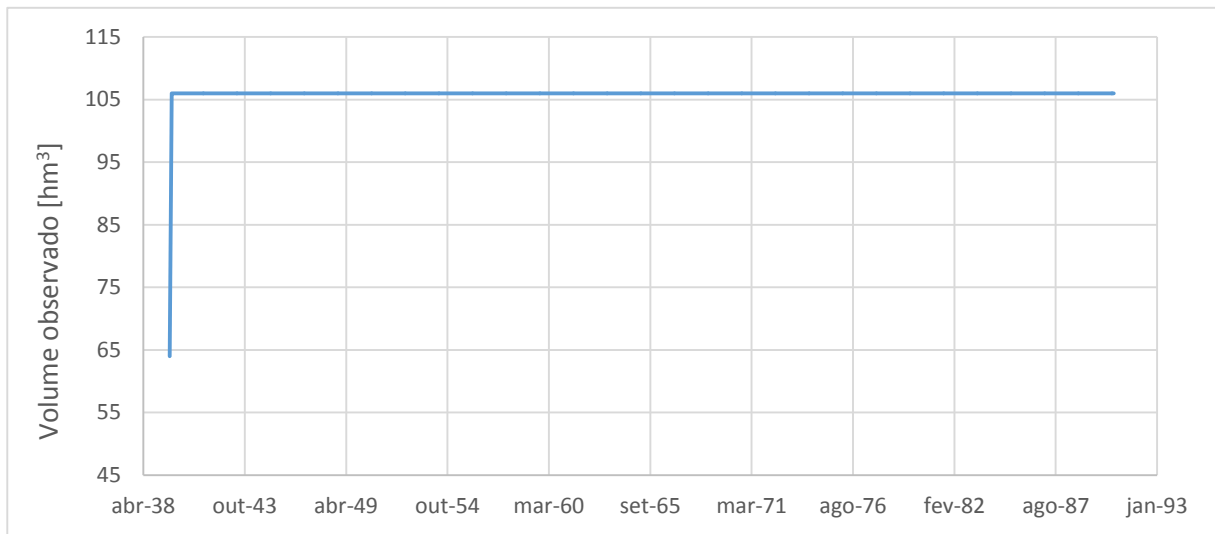


Figura 29- Volume em Pedrógão no caso 2

No primeiro caso o volume mínimo é ligeiramente ultrapassado em Alqueva e Pedrógão devido às perdas por evaporação. Em ambos os casos o volume máximo nunca é ultrapassado.

Como o volume em Pedrógão depende do volume turbinado e descarregado em Alqueva, no primeiro caso as mudanças são erráticas, com o volume a mudar constantemente entre o máximo e o mínimo dependendo da capacidade de Alqueva. No segundo caso, como as necessidades de agricultura são menores e Alqueva descarga mais para Pedrógão, mantém o volume perto do volume máximo de armazenamento.

No geral o modelo tem o comportamento esperado e os valores encontram-se dentro dos limites possíveis.

4 Curva de trade-off entre a produção de energia e o abastecimento de água para rega

Neste capítulo apresentamos e interpretamos os resultados do modelo matemático apresentado no Capítulo 3. A Figura 30 representa três curvas trade-off com diferentes valores de garantias: i) Garantia de satisfação de ambos os usos de 100%; ii) Garantia de satisfação do volume para regadio de 90% e para energia de 80%; e iii) Garantia de satisfação do volume de regadio de 80% e do volume para energia de 70%.

Como era esperado, à medida que as necessidades de agricultura crescem, menor é a quantidade de energia que se pode produzir, pois o volume disponível é menor. Esta relação não é linear, mas progressiva, formando uma curva.

A energia produzida pelo modelo chega aos 200 GWh/ano, quando o volume atribuído para o regadio é 45 hm³/ano e mesmo assim apenas com uma garantia de 70%. Estes valores de nenhuma maneira correspondem ao que é de fato produzido em Alqueva.

A energia produzida pelo modelo é aparentemente demasiado baixa. Na Figura 25 observámos que a energia produzida varia entre 200 GWh/ano e 1100 GWh/ano. No modelo o máximo que se pode produzir, em média, por ano é 220 GWh/ano em Alqueva, e 36 GWh/ano em Pedrógão, independentemente da garantia. Considerando, nestas circunstâncias, o volume afluente médio a Alqueva é de 1845 hm³, a altura de queda média em Alqueva é 51 m e em Pedrogão é 24 m, podemos estimar que a quantidade de energia que é possível produzir é, em média por ano, no sistema é 266 GWh, não contabilizando a energia produzida após bombagem.

A energia produzida por este modelo não contabiliza a capacidade de bombagem do EFMA e a posterior turbinagem de água, sendo que, por isso, o valor de produção de energia é bastante inferior ao que ocorre na realidade.

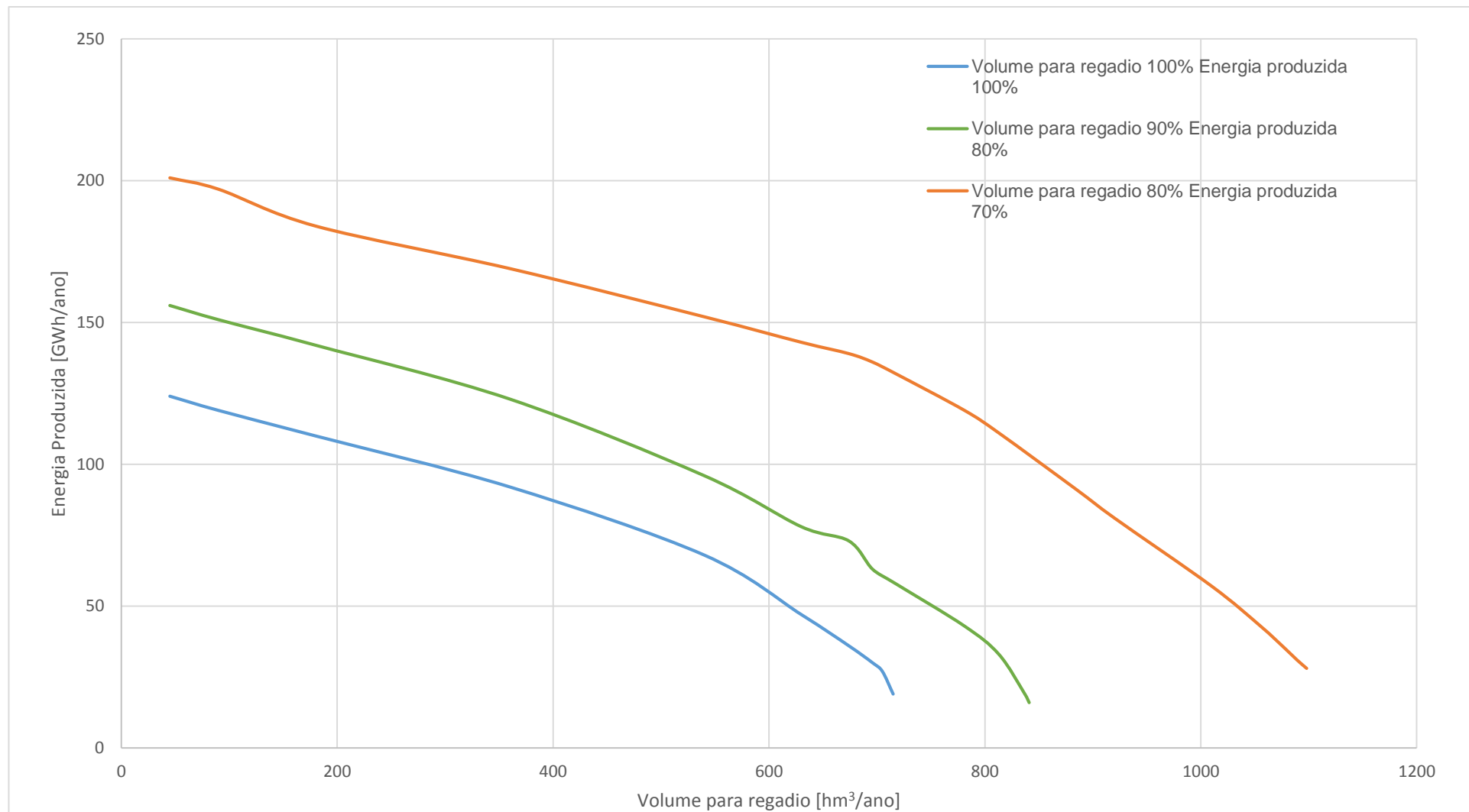


Figura 30--Curvas trade-off, com várias garantias

5 Síntese e conclusões

O EFMA é um projeto complexo e o seu desenvolvimento causou profundos impactos na paisagem, na cultura, na economia e no ambiente do Alentejo.

O objetivo principal do EFMA é a revitalização do Alentejo, ao disponibilizar água para regadio para promover a agricultura. Hoje a produção de energia também tem um papel importante no empreendimento, causando impactos na economia e no ambiente do país.

Ambos os usos são importantes para as populações que beneficiam do empreendimento diretamente e para o país, como um todo. Como tal é importante compreender e otimizar a capacidade de satisfação dos dois. O objetivo desta dissertação é analisar a relação entre a água captada para rega e a turbinada para a produção de energia, pela elaboração de um modelo matemático que simula a sua relação.

O sistema é constituído por um conjunto de infraestruturas de transporte e armazenamento que estão interligados de forma a distribuir a água pelo sistema. No Capítulo 2 é descrito, de forma resumida, a história e os objetivos do EFMA, tal como as características das suas principais infraestruturas.

Para auxiliar o nosso estudo utilizámos dados de várias fontes que necessitámos de validar. Na validação do balanço de água verificou-se que os dados relativos a Alqueva estavam corretos pois o volume armazenado calculado é semelhante ao obtido pelos dados. Os dados relativos a Pedrógão revelaram várias inconsistências pois o volume armazenado calculado ultrapassa os limites possíveis na albufeira. Uma observação mais cuidadosa dos dados revelou inconsistências no caudal afluente. Foram analisados vários caudais alternativos e a influência do rio Ardila, mas não foi possível descobrir a causa do erro. É possível que a causa das inconsistências nos valores de Pedrógão seja um erro acumulado.

Devido à falta de dados disponíveis apenas conseguimos validar a produção de energia em Alqueva I e Alqueva II. Nos cálculos do valor da eficiência, o das turbinas em Alqueva I foi o único que entrava dentro dos limites do possível, nos restantes o valor ultrapassava os 100% sendo assim foi estimado um valor de eficiência. A relação entre a energia produzida obtida pelos dados e a calculada é linear, no caso de Alqueva I. Em Alqueva II, devido à falta de informação sobre os caudais turbinados foi estimado um valor a partir da produção de energia. A relação entre a energia calculada e retirada dos dados não é linear o que quer dizer que os dados estimados para Alqueva II são inconsistentes.

No Capítulo 3 descrevemos o programa, os seus dados de entrada e as necessidades consideradas. No final do capítulo validamos o modelo analisando o volume nas albufeiras em dois casos diferentes. Foi concluído que o modelo estava correto nas suas previsões do volume observado.

No Capítulo 4 apresentamos os resultados do modelo, as curvas trade-off entre as necessidades de agricultura e de produção de energia. A Figura 30 demonstra que à medida que aumentamos o volume de regadio, a energia que conseguimos produzir diminui. E que a quantidade de energia produzida aumenta, quando a garantia de essa produção diminui.

O EFMA consegue fornecer até 700 hm³ para o regadio com uma garantia de 100%, com a produção de energia a 30 GWh/ano. Se a garantia do volume de regadio descer até os 80% produz-se 132 GWh/ano com uma garantia de 70%. Quando as necessidades agrícolas são 360 hm³/ano (a área calculada é 120000 km², igual à área de regadio em 2016) a energia produzida, com garantia de 100%, é 92 GWh, um valor muito inferior ao produzido em Alqueva.

No geral, os valores de energia produzida são mais baixos que o esperado, nunca alcançando os níveis de produção observados no sistema Alqueva-Pedrógão. O modelo não contabiliza a energia gasta na bombagem do volume para Alqueva, ou a produção resultante da turbinagem desse volume os valores obtidos correspondem à energia líquida produzida, e não à energia total produzida pelo empreendimento.

Tendo em conta o valor do caudal afluente igual a 1845 hm³/ano, calculamos que a energia média produzida por ano, em termos líquidos é 266 GWh/ano, um valor mais próximo do máximo produzido pelo modelo, 256 GWh/ano, sem ter em conta as garantias.

No geral o programa cumpriu o seu objetivo, estabelecendo a relação entre as duas necessidades de água. Um dos problemas do modelo é a sua rigidez, devido aos limites impostos nas equações. Um exemplo do impacto desta característica é a distribuição da energia. Embora no modelo as necessidades de energia sejam uniformemente distribuídas, na realidade a produção de energia depende de vários fatores económicos e meteorológicos. O modelo não contabiliza a bombagem de Pedrógão de volta para Alqueva, o que também influencia os resultados. Para resultados mais precisos seria necessário criar um modelo muito mais complexo, que teria em conta tanto a situação de cada dia, bem como situações futuras e fatores económicos.

6 Referências

- Alqueva, Características da área de regadio (obtido no site <http://alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/mapa-de-evolucao/10>, consultado em Abril de 2015)
- Alqueva, Características das culturas em exploração (obtido no site <http://alqueva.com.pt/pt/#/regadio/ocupacao-cultural/11>, consultado na Abril de 2015)
- Alqueva, Ministério da agricultura e do mar. *Quantidade e Qualidade da Água em Alqueva*. Governo de Portugal
- António Pinheiro, António Moisés, Carlos Gaspar, *Estação elevatória Pedrógão-margem esquerda e reforço de potência de Pedrógão. Conceção e principais características das obras*) Jornadas Técnicas APRH
- CNPGB, Características das barragens de Portugal (obtido no site http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/AA.htm, consultado em Agosto 2014)
- Consugal, *Barragens de Amoreira, Brinches e Serpa*
- Direção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo (2013). *Caracterização agrícola do Alentejo Central*. Ministério da agricultura e do mar
- Direção Geral de Energia e Geologia. Consumo de energia elétrica (obtido do site <http://www.dgeg.pt/>, consultado em Setembro 2015)
- EDIA, Características das albufeiras e infraestruturas na região de Alqueva (obtido no site http://sigims.edia.pt/alqueva_storymap/, consultado em Julho 2014)
- EDIA (2005). *Estudo de Impacto Ambiental da Rede Primária do Subsistema de Ardila*
- EDIA, *Gestão da rede primária do EFMA – manutenção do regime de caudais ecológicos. O caso de Alqueva-Pedrógão*. Jornadas Técnicas APRH
- EDIA (2014), *Relatório de contas 2014*
- EDIA (2012), *Relatório da atividades 4ºTrimestre 2012*
- EDIA (2013), *Relatório da atividades 4ºTrimestre 2013*
- EDIA (2014), *Relatório da atividades 4ºTrimestre 2014*
- EDIA (2015), *Relatório da atividades 1ºTrimestre 2015*
- EDP, Plantas das centrais e informação técnica de Alqueva II (obtido do site http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/info_tecnica.php?item_id=82&cp_type=§ion_type=info_tecnica, consultado em Junho 2014)
- Freire, Emília. *AgroIn Alqueva*, Vida Rural N°1807, (Maio 2015)
- Gonçalves, Ana (2015). *Aplicação do MIKE HYDRO BASIN na simulação da gestão integrada da bacia hidrográfica do Alqueva*, IST,

Ferreira F, (2015), *Aplicação do WEAP na simulação da gestão integrada do Empreendimentos de Fins Múltiplos de Alqueva*, IST

Hipólito J., Vaz A., *Hidrologia e Recursos Hídricos*, IST Press, 2ª edição (2013)

Ruivo M. et al., *A qualidade das massas de água nos aproveitamentos hidroagrícolas do sul de Portugal -o caso do EFMA*. Jornadas Técnicas APRH

Oliveira R. (1994), *Simulação do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Marques P., Carvalho F., *Recuperação de energia em aproveitamentos hidroagrícolas: o caso do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva*. AQUALOGUS

REN, Centro de informação – Estatística diária hidráulica (obtida no site <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaDiariaHidraulica.aspx>, consultado em Maio 2014)

REN. *Relatório e Contas 2012*

SNIRH. Características da albufeira e barragem de Alqueva (obtido no site http://snirh.pt/index.php?idRef=MTE3Nw==&simbolo_redehidro=24M/07A, consultado em Agosto 2014)

SNIRH. Características da albufeira e barragem de Pedrógão (obtido no site http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=7&conteudourl=%2Findex.php%3FidMain%3D1%26idItem%3D7&f_form_dummy=1&f_albufeira_montante=&f_albufeira_jusante=&f_albufeira_mesmorio=144&f_albufeira_mesmabacia= , consultado em Agosto 2013)

SNIRH. Dados sobre o caudal do rio Ardila. Estação (25M/01H) (obtido no site <http://snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1> consultado em Maio 2014.