

O Benefício Económico e Ambiental da Produção de Energia Renovável em Sistemas Adutores

Helena Ramos

Engenheira Civil, Professora Auxiliar
Instituto Superior Técnico
Fax: +351 1 8497650 email:hr@civil.ist.utl.pt
Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal

Dídia Covas

Engenheira Civil, Assistente
Instituto Superior Técnico
Fax: +351 1 8497650 e-mail:didia@civil.ist.utl.pt
Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal

Resumo

A avaliação económica e ambiental de projectos associados ao aproveitamento da energia em excesso em sistemas adutores, para abastecimento ou rega, através da utilização do recurso água como fonte de energia renovável, reveste-se, nos dias de hoje, da maior importância constituindo, um dos objectivos prioritários ao nível social e económico para um desenvolvimento sustentável.

A avaliação da viabilidade económica da instalação de micro-turbinas em sistemas adutores deve incluir uma análise de custo-benefício. A investigação na área ambiental, energética e na gestão sustentável do uso da água interliga-se e deve fazer uso dos conhecimentos e tecnologias já desenvolvidos permitindo, assim, uma maior competitividade industrial, no que diz respeito à qualidade de vida e de ambiente, cada vez mais exigente na sociedade de hoje. Para esse efeito é necessário conceber sistemas eficientes, não poluidores, económicos e diversificados que permitam uma gestão integrada e racionalizada de um recurso tão escasso como é a água.

Palavras chave: ambiente e desenvolvimento, produção energética, sistemas adutores, energia renovável

1- Introdução

Relativamente à avaliação ambiental de projectos associados ao aproveitamento de energia em excesso de sistemas adutores, cujo principal objectivo poderá ser o abastecimento de água a populações e para rega, enumeram-se possíveis impactes como um sistema integrado e salienta-se, em particular, o acréscimo resultante da construção da componente hidroeléctrica (central). Admitem-se existentes ou projectados os elementos de retenção de água para criação de energia disponível necessária ao escoamento gravítico (barragem, açude ou reservatórios), captação (tomada de água e grelhas), circuito adutor (condutas com diferentes classes de pressão) e órgãos de protecção, que poderão exigir adaptação às novas condições de funcionamento (válvulas, ventosas e câmaras de perda de carga, que poderão ser substituídas por instalações hidroeléctricas). Este tipo de solução pode ser uma alternativa à dissipação ou perda total de energia hidráulica, que seria inutilizada em válvulas redutoras de pressão ou em câmaras de perda de carga, consoante o circuito em questão fosse ou não totalmente em pressão. Salienta-se, ainda, a importância da análise da gestão integrada do sistema, no que respeita à optimização de recursos.

2- Tipo de turbinas

As turbinas a utilizar dependerão, fundamentalmente, do tipo de circuito hidráulico. Deste modo, distinguem-se os seguintes circuitos: 1) totalmente em pressão; 2) em pressão e com estruturas de funcionamento com superfície livre, nomeadamente com estações de tratamento ou reservatórios intermédios não elevados; 3) totalmente em superfície livre, constituído essencialmente por canais de irrigação.

Os primeiros ao condicionarem o funcionamento do sistema, impondo que o escoamento se mantenha totalmente em pressão, exigem turbinas do tipo reacção (e.g. Francis e Kaplan ou hélice), ou bombas a funcionarem como turbinas. Este tipo de turbinas apresenta a vantagem em manter o escoamento em pressão evitando, assim, eventuais perigos de contaminação de água já tratada.

Em caso de desníveis elevados, ou sempre que as quedas assim o permitirem, as turbinas do tipo acção (e.g. Pelton, Turgo e Cross-flow) são as mais indicadas e, podem ser instaladas de forma idêntica às câmaras de perda de carga, exigindo a restituição em superfície livre à pressão atmosférica. Este tipo de turbinas em circuitos de água tratada podem aumentar a possibilidade de contaminação.

Em circuitos com escoamento totalmente em superfície livre (e.g. canais de rega) podem ser utilizadas turbinas de reacção de queda média a baixa (e.g. Francis rápida ou Kaplan, tubulares e S) instaladas em câmara aberta. Nesta conformidade, a escolha deverá ser criteriosa e analisada caso a caso.

3- Avaliação de impactes ambientais

A utilização de sistemas adutores, cuja principal função corresponde ao abastecimento ou à rega, e adaptá-los ou concebê-los também para produção energética, reveste-se do maior interesse e deve ser visto como uma importante mais valia, uma vez que grande parte das componentes do sistema (e.g. barragem, circuito hidráulico e órgãos acessórios do tipo válvulas de controlo) já fazem parte do projecto inicial, sendo, por isso, necessário conceber a componente que diz respeito à central e todo o equipamento adjacente de forma a adaptá-lo ao sistema adutor, sem prejuízo da sua função principal. Nesta conformidade, *não serão acrescidos* os impactes **geomorfológicos**, que normalmente estão associados à construção da barragem resultantes das actividades de escavação e depósitos de terras, os impactes nos **solos por ocupação de zonas** e impactes sobre o **clima** devidos à existência de albufeira e por destruição da vegetação natural local, impactes nos **recursos hídricos**, na **qualidade do ar e água**, no **ambiente sonoro** que são relevantes fundamentalmente na fase de construção do empreendimento, embora na fase de exploração possa ocorrer um aumento dos níveis sonoros com algum impacte negativo, especialmente para receptores próximos da central. No entanto, deverá ser previsto o isolamento sonoro da central e de fugas na turbina para evitar a possível contaminação da água, não se perspectivando, assim, nenhum impacte negativo significativo. Não são previstos aumentos significativos dos impactes na **ocupação do solo**, que resultam das actividades de escavação e movimentação de terras associados à decapagem superficial e desmatção nos locais de implantação das obras, em particular na área da albufeira. Os impactes na **flora e vegetação** por alteração, destruição e compactação do coberto vegetal e por diminuição de áreas de biótopo e alterações ecológicas na linha de água e envolvência na fase de construção, não sofrerão aumento significativo, assim, como os impactes na **fauna e habitats**. Os impactes na **população e actividades económicas** devido à construção do empreendimento implicarão a criação de postos de trabalho e um aumento do comércio local, tendo, por isso, um efeito positivo a nível local e regional. A presença de um novo elemento, como a central hidroeléctrica constitui algum factor de risco para as populações, devido à presença de uma

componente eléctrica, constituindo um impacte negativo com significado local. No entanto, a produção de energia eléctrica contribuirá para o reforço da capacidade produtiva nacional, constituindo, deste modo, um impacte positivo de magnitude reduzida durante o período de vida útil do aproveitamento, embora pouco significativo localmente. Relativamente a possíveis impactes sobre o **património histórico e arqueológico** não são de prever a existência de qualquer tipo de afectação, desde que o local seja criteriosamente escolhido. Os impactes sobre a **paisagem** poderão ser significativos durante a fase de construção, por corte de vegetação e abertura de fundações e alterações morfológicas para a construção de plataformas de acesso e do respectivo edifício da central. O impacte no **ordenamento do território e planeamento municipal** não sofrerá alteração relativamente ao empreendimento principal, que se deverá fundamentalmente à ocupação de áreas de REN (Reserva Ecológica Nacional) e de RAN (Reserva Agrícola Nacional).

4- Produção energética e estudo económico simplificado

Num sistema de distribuição de água a produção energética será influenciada pela lei de consumos diários. Numa determinada zona (e.g. Zona de Medição e Controlo – ZMC) verifica-se que o consumo varia, ao longo do dia, de acordo, por exemplo, com a Figura 1. Deste modo, é fácil concluir que ao longo de um dia (24 h) se possa considerar um caudal médio de consumo (ou turbinável) constante durante um período que corresponderia ao caudal de projecto.

Num sistema adutor para alimentação de reservatórios este problema fica minimizado, desde que seja efectuado o controlo do caudal admitido em função da capacidade do reservatório de jusante. Deste modo, será derivado um caudal constante durante o período necessário para encher o reservatório, num período contínuo ou de forma intermitente por períodos de tempo menores, embora resultando num tempo equivalente cumulativo para o mesmo caudal derivado. Considerou-se para efeitos de estimativa económica um período mínimo de 3 a 4 horas diárias.

Sabendo que o custo total unitário de um aproveitamento hidroeléctrico varia de forma não linear, dependendo da potência a instalar, procedeu-se a uma estimativa média dos custos de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos (incluindo obras e equipamento de retenção derivação e produção energéticas – custo total) e exclusivamente só para a central (custo do equipamento da central) com base em informação obtida de fabricantes (Figura 2).

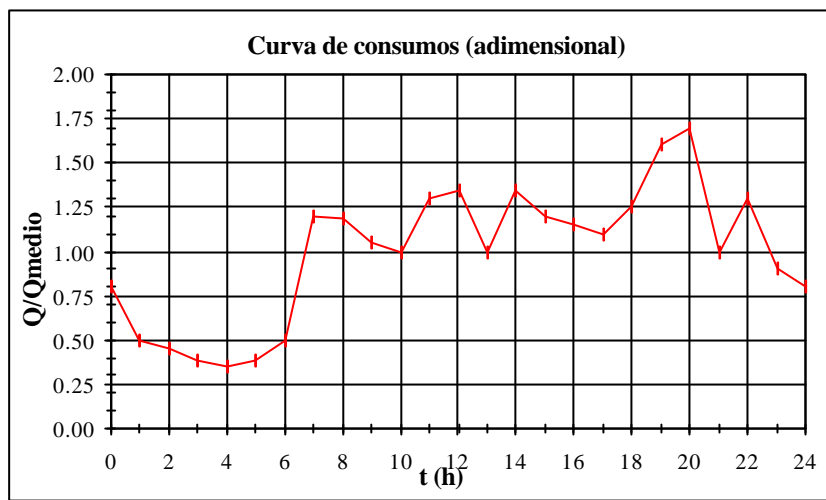


Fig. 1 – Lei típica de consumos diários

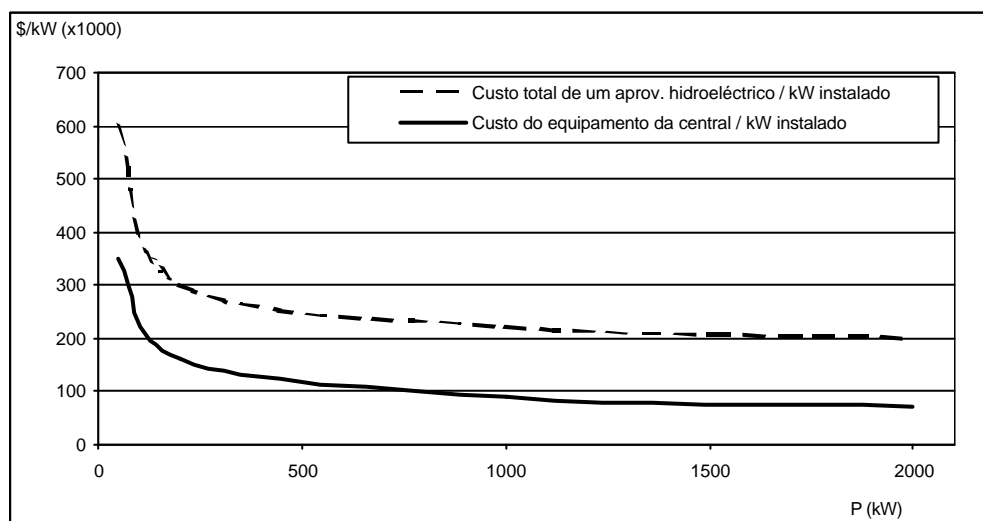


Fig. 2 – Custos unitários por kW instalado

Tratando-se de empreendimentos com potências até 5000 kW pode considerar-se que se tratam de micro e mini-hídricas. Para este tipo de instalações, efectuaram-se algumas análises de sensibilidade a valores prováveis de caudal, queda e custos em função da potência a instalar. Foram analisadas duas situações distintas: 1) potências baixas, correspondente a sistemas adutores com menor capacidade energética; 2) potências mais elevadas, correspondente a sistemas adutores com

considerável excesso de energia disponível. Tratando-se de escalas bastante diferentes e custos diferenciáveis optou-se por apresentar a análise gráfica em figuras distintas.

Nos sistemas do tipo 1 consideraram-se quedas baixas (e.g. da ordem de 2 a 20 m) e caudais baixos a médios (e.g. variáveis entre 1 l/s a 1,5m³/s). Procedeu-se ao cálculo da energia útil provável em ano médio, admitindo-se um período máximo de funcionamento médio diário de 12 horas (Figura 3).

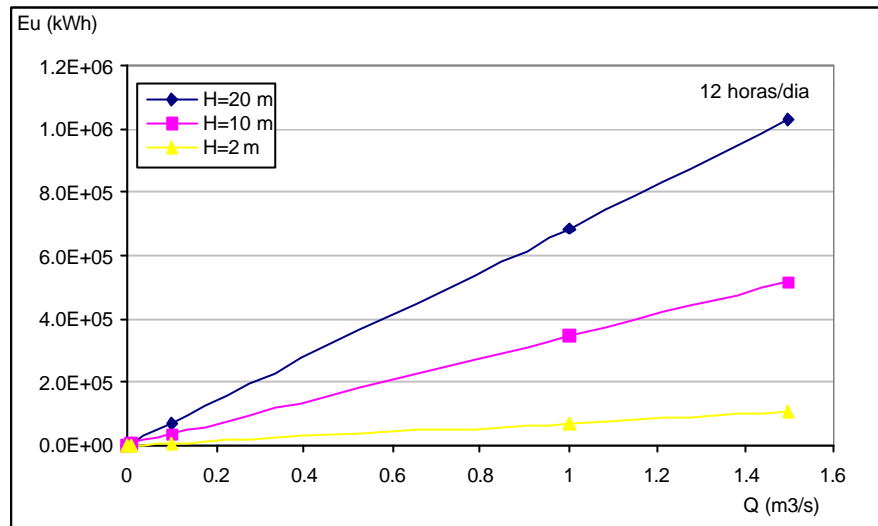


Fig. 3 – Estimativa da energia útil produzida em ano médio em função do caudal turbinado para quedas baixas

Com base em diferentes valores de caudal e potência a instalar (ou queda) procedeu-se ao cálculo das funções objectivo: 1) relação benefício anual líquido actualizado e custo do investimento e manutenção (Bo/C); 2) valor actualizado líquido referente ao ano zero ($VALo = Bo - C$) do “cash-flow” verificado até ao ano horizonte do projecto. Este último indicador (VALo) é considerado como o factor mais importante em termos financeiros na análise de viabilidade económica de um empreendimento. Outros indicadores económicos podem ser utilizados, como a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o período de pagamento de retorno (“pay-back”) embora não permitam obter conclusões de eficiência e rentabilidade económica por comparação de possíveis soluções.

Conhecida a previsão da evolução do caudal médio turbinável durante o período de funcionamento do sistema (e.g. até ao ano horizonte de projecto em função das necessidades, da evolução local da população, da respectiva capitação e do período de funcionamento diário) estima-se o volume médio anual total de água turbinada (Figura 3) e a energia produzida em ano médio, recorrendo à

expressão da potência, admitindo um rendimento médio de 80% e uma queda útil aproximadamente constante. Nestes sistemas, normalmente admite-se que o caudal é aproximadamente constante ao longo do ano ou durante um período mais longo, podendo variar o tempo de funcionamento (Figuras 4 e 5).

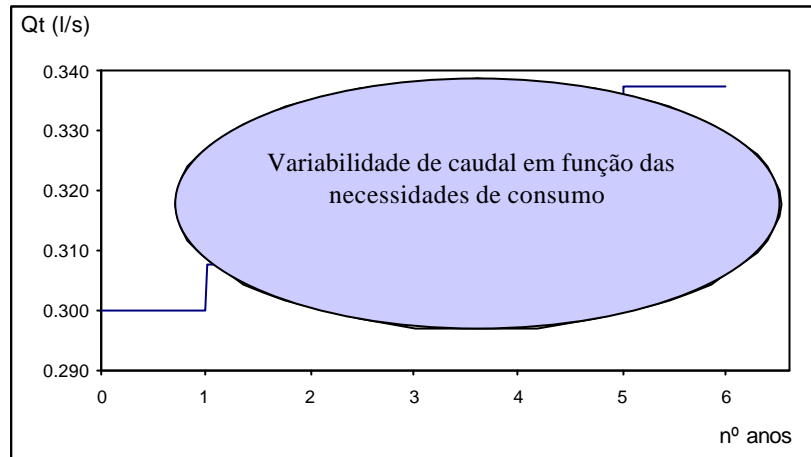


Fig. 4 – Variação típica do caudal médio anual em sistemas adutores de abastecimento de água

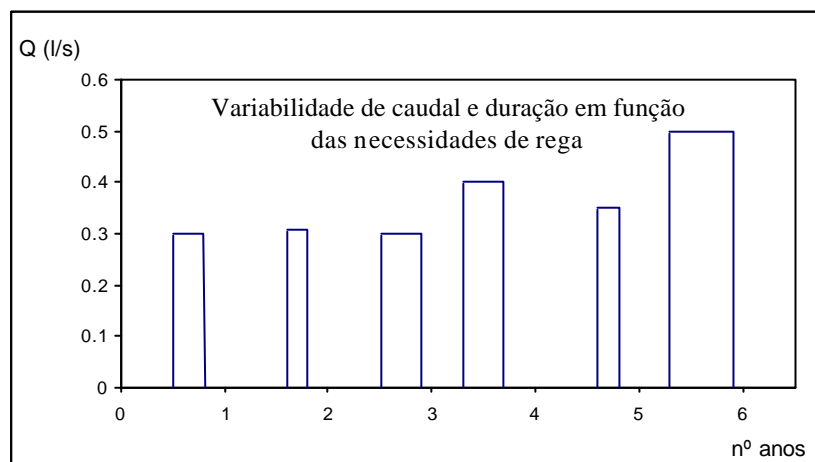


Fig. 5 – Variação típica do caudal médio anual em sistemas adutores para rega

Com base na energia útil em ano médio determina-se o benefício anual líquido (receita anual) considerando que o valor médio de venda da energia à rede nacional é constante anualmente (e.g. para efeitos de cálculo, na fase actual, admitiu-se um valor mínimo de 10\$00/kW). Considerando que no ano horizonte de projecto o valor do empreendimento é nulo, procedeu-se ao cálculo de indicadores económicos, em particular do valor actualizado líquido (VALo) reportado ao ano zero.

Relativamente à gama de quedas baixas (variando entre 2 a 20 m), referidas anteriormente, obteve-se para alguns valores de caudal turbinável valores superiores à unidade da relação entre benefício actualizado líquido e custo de investimento e manutenção e valores de VAL positivos embora para a situação de potências muito baixas (caudais e quedas muito baixas) conduzem a situações não satisfatórias (Figura 6). O ano horizonte do projecto considerado foi de 20 anos e 12 h para o número de horas de turbinamento mínimo.

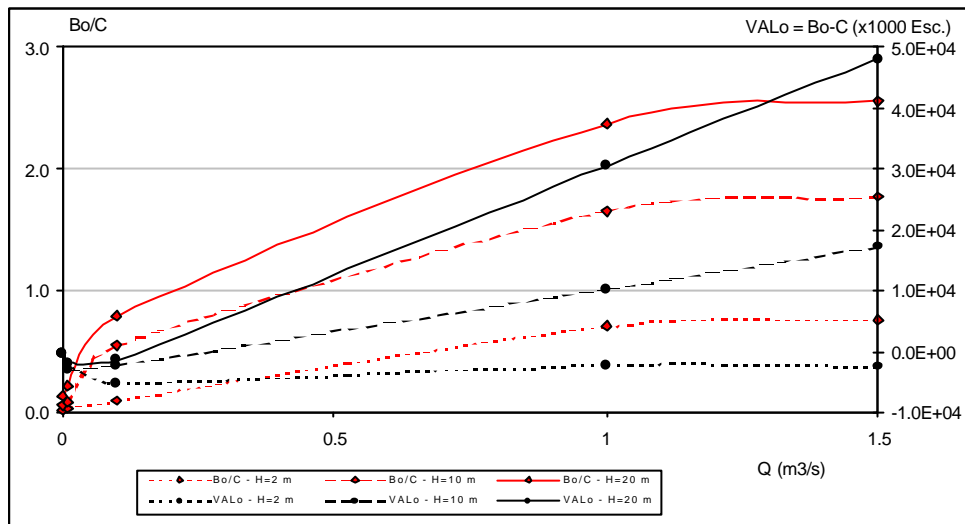


Fig. 6 – Síntese do estudo económico para quedas baixas

Análise semelhante também foi realizada para quedas médias a altas (de 50 a 200 m), para sistemas com maior potencial energético, obtendo-se, resultados bastante mais satisfatórios para menores períodos de turbinamento (cerca de 8 horas diárias em média - Figuras 7 e 8) e para um horizonte de projecto só de 10 anos.

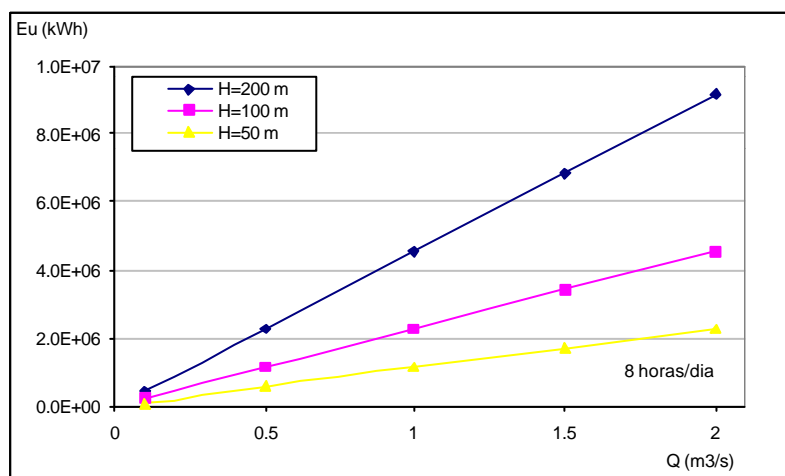


Fig. 7 – Estimativa da energia útil produzida em ano médio em função do caudal turbinado para quedas médias a altas

Da análise efectuada pode concluir-se que as funções objectivo Bo/C (benefício/custos) e VAL são funções crescentes e que sempre que $Bo/C > 1$ o empreendimento não apresenta prejuízo. No entanto, em termos económicos e tratando-se de um valor actualizado líquido, o critério baseado no VALo, ou lucro actualizado, permite maximizar a rentabilidade de um empreendimento, correspondendo-lhe soluções economicamente mais vantajosas.

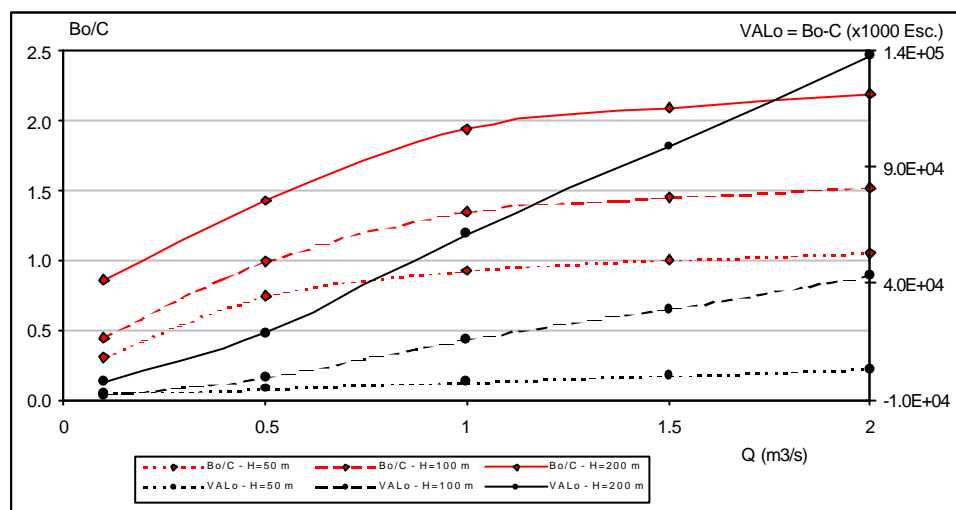


Fig. 8 – Síntese do estudo económico para quedas médias a altas

Refere-se que na análise desenvolvida foram utilizados custos de pequenos aproveitamentos actualizados, com base em bibliografia disponível e através de consulta a alguns fabricantes de turbinas normalizadas típicas, para serem adaptadas a este tipo de sistemas, havendo, no entanto, o cuidado de maximizar os respectivos custos na análise económica apresentada.

Este tipo de sistemas, adutores para abastecimento e rega, apresentam a vantagem de os caudais serem praticamente constantes, não necessitando de um estudo hidrológico, podendo variar o tempo de funcionamento em função das necessidades e (se existir) da capacidade do reservatório de armazenamento. Refere-se que num sistema adaptado para rega o risco associado é mais elevado, porque o sistema só funciona alguns períodos do ano.

5- Casos de estudo

Analysaram-se duas situações distintas: I - A) um sistema de rega, com quedas úteis variáveis entre 1 a 5 m, do tipo caixa aberta, em canal com superfície livre, com uma micro-turbina instalada, para um funcionamento durante 210 dias durante 8 horas por dia, em ano médio durante o período de rega;

B) um sistema de rega com derivação de caudal excedente para um circuito hidráulico paralelo para a mini-central central hidroeléctrica; II - sistema adutor de reforço de abastecimento de água a populações, que liga uma ETA (estação de tratamento de águas) a vários reservatórios de abastecimento, constituído por uma ramal principal e várias derivações (ramais secundários até aos reservatórios).

Sendo o sistema I - A) um sistema que tem um tempo de funcionamento mais reduzido e apresenta maiores condicionalismos relativamente ao caudal e à queda, exige um conhecimento e uma análise de risco relativamente ao balanço custo-benefício mais cuidado, passando pelos custos do equipamento da central, tempo total médio de turbinamento, custo de venda de energia (admitiu-se um mínimo de 10\$00/kW) e horizonte de projecto do empreendimento (considerado no mínimo 30 anos). Verificou-se que o indicador Bo/C em alguns casos dá inferior à unidade e o respectivo VALo actualizado toma, nestes casos, obviamente valores negativos. As quedas e caudais sendo muito pequenos, conduzem a valores de energia útil média anual também muito baixos que, só por si, condicionam fortemente a respectiva produção energética (Figura 9).

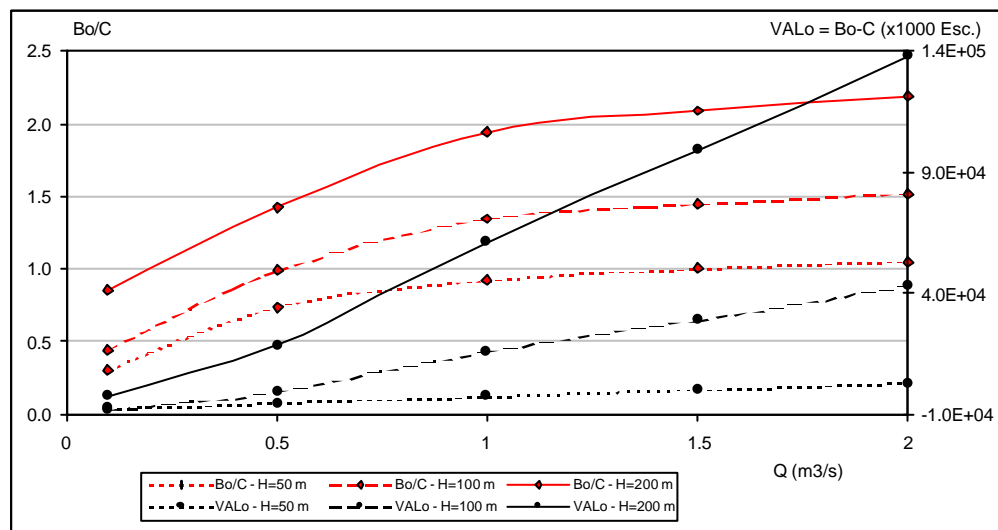


Fig. 9 – Caso analisado de um sistema de rega com turbinamento em simultâneo com rega

O sistema I - B) depende fundamentalmente, assim como o A), da capacidade de transporte e da exploração do canal de rega, no entanto constitui uma central essencialmente de inverno, de modo a não perturbar as actividades de regadio em época de estiagem. O caudal derivado através de um

descarregador lateral existente no canal adutor para rega, é recolhido num colector que posteriormente conduzirá esse caudal até à central. Admite-se o seguinte aproveitamento de caudal em ano médio:

Meses	Horas de funcionamento (h/dia)	Q (m ³ /s)	P (kW)	Eu (kWh)
1	15	1,20	94	43710
2	15	1,00	78	32760
3	10	1,00	78	24180
4	8	0,80	62	14880
5	5	0,60	48	7440
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	5	0,60	48	7440
11	10	1,00	78	23400
12	15	1,20	94	43710

Atendendo à distribuição de caudais médios mensais, o aproveitamento seria rentável, apresentando um valor de positivo, para um período mínimo de vida útil de 40 anos. No entanto, à medida que o valor da queda é menor o empreendimento também é menos rentável para os mesmos valores de



potência.

Fig. 10 – Vista do descarregador lateral do canal de rega para o canal de adução de um aproveitamento hidroeléctrico tipo

Quadro 1 – Características de dimensionamento das condutas adutoras.
Trechos em análise

Trecho	Volume Reserv. (m ³)	Hmont cent. (reg. perm. para Q _{dmc 40}) (m)	Z _R (m)	Hu (m)	Q _{dmc 40} (l/s)	Δt ₄₀ (h)
N1 – R1	100	648	447	201	10	15

N2 – R2	50	634	425	209	9	15
N3 – R3	50	628	447	181	10	15
N4 – R4	50	604	452	152	3	15

O sistema II) para reforço de abastecimento de água a uma zona, apresenta as seguintes características de dimensionamento e topologia simplificada (Quadro1 e Figura 11).

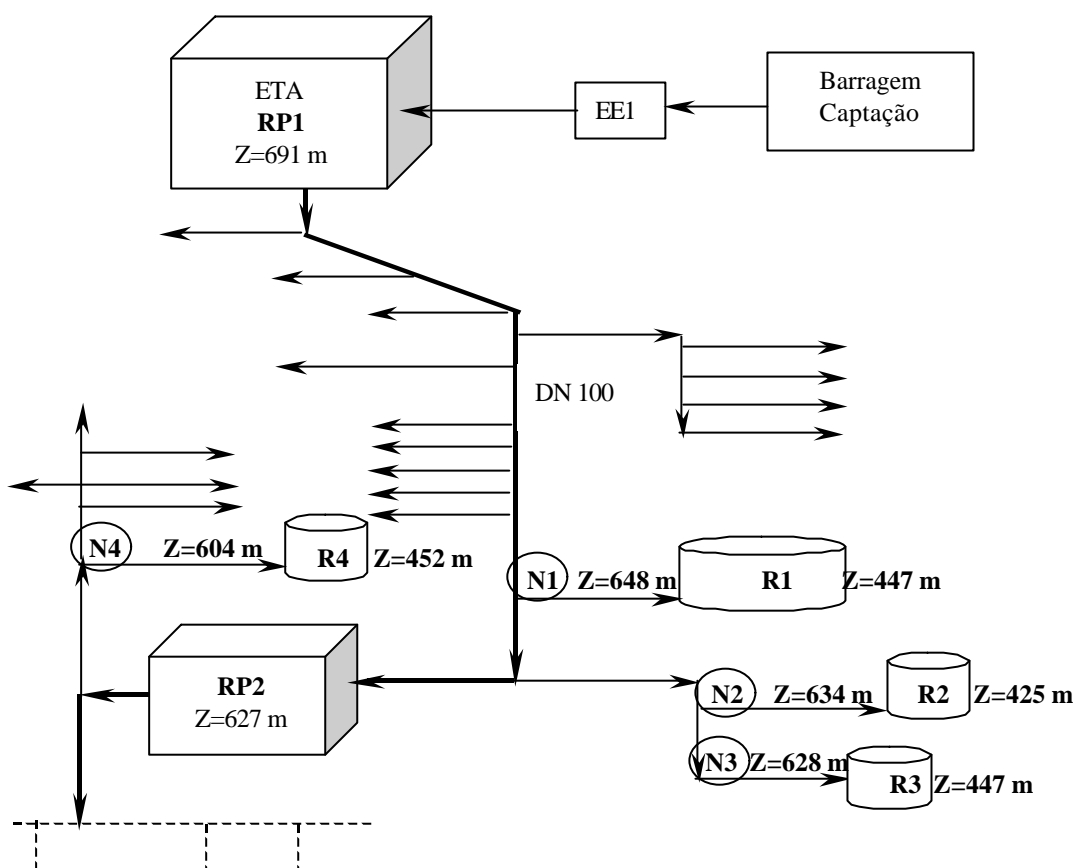


Fig. 11 – Esquema do reforço de abastecimento de água a uma zona populacional

Considerou-se o sistema com um horizonte de projecto de cerca de 40 anos e um tempo médio mínimo de funcionamento, neste período, de cerca de 15 horas diárias, embora seja previsível um período inicial menor, sendo atingido o máximo de horas de funcionamento até ao ano 40. A taxa de actualização admitida foi de 10%, correspondendo-lhe um factor de actualização de 9,8. Mesmo para as restrições admitidas, o pagamento de retorno para um custo do kW instalado de 10\$00 corresponde, em média, a 12 anos. A escolha mais vantajosa diz respeito, obviamente, aos maiores valores de VALo e Bo/C (Figura 12).

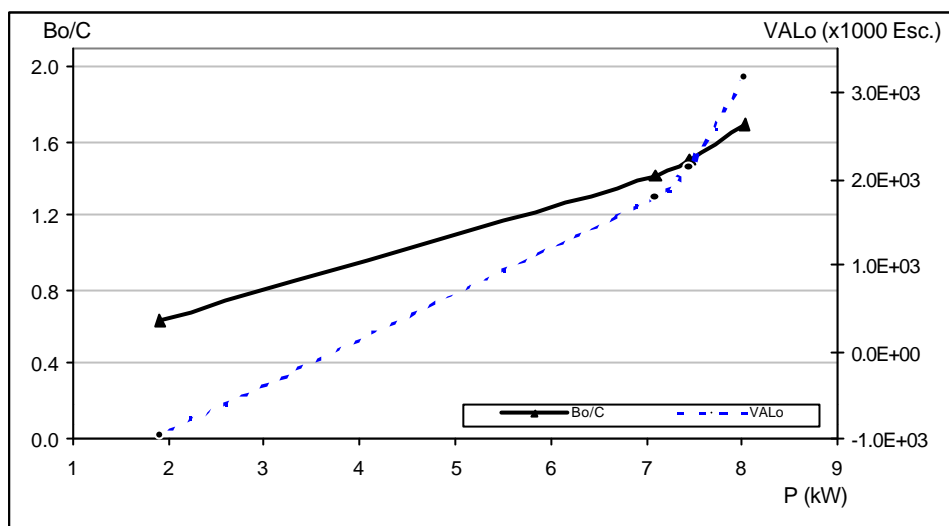


Fig. 12 – Análise económica em função da potência instalada do sistema em estudo

Na Figura 12 verifica-se que não seria rentável a instalação de uma micro-turbina no trecho N4-R4. Para potências tão baixas não é tão aconselhável a consideração destes sistemas uma vez que o benefício toma valores muito baixos.

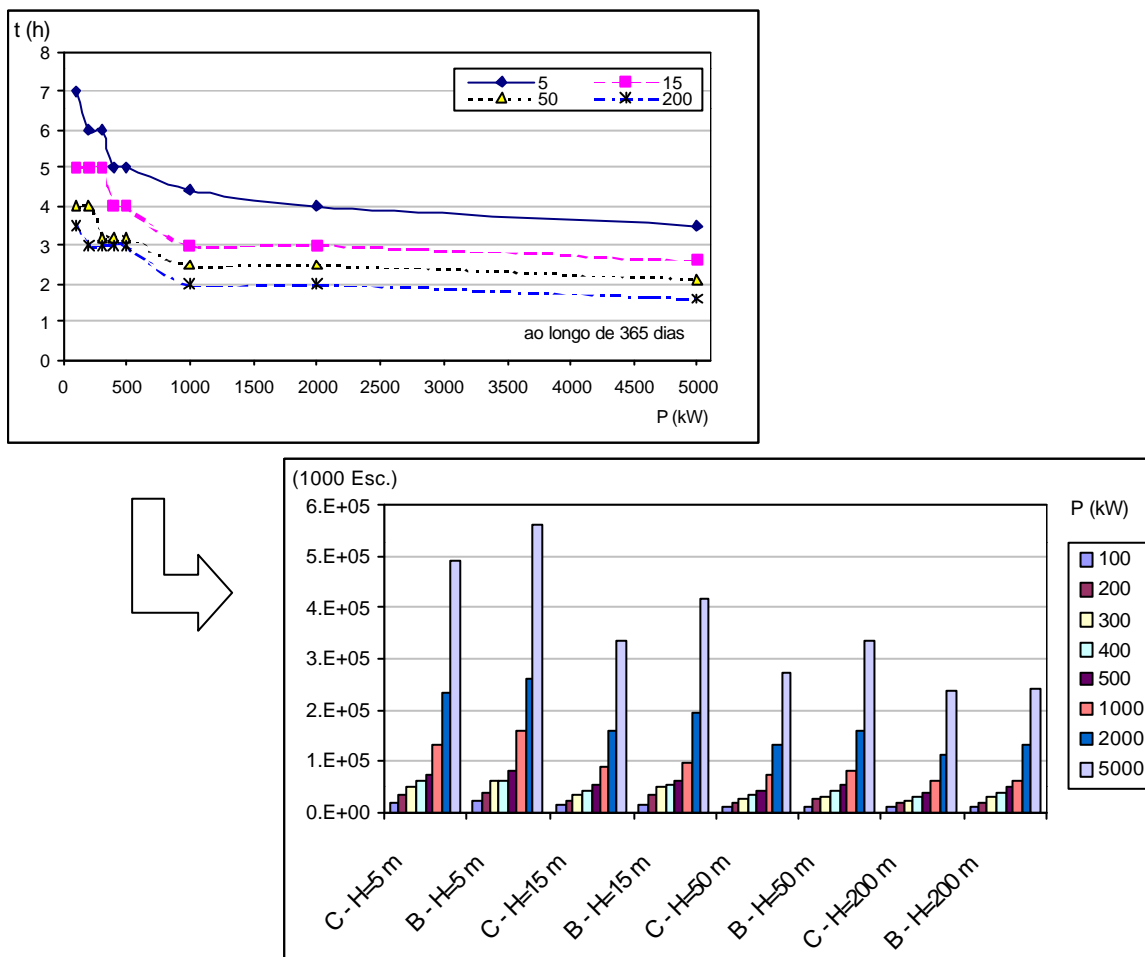
6- Conclusões

Da análise efectuada pode concluir-se que os sistemas de abastecimento de água apresentam melhores características de aproveitamento de energia, quer pelo caudal garantido, pelo período de funcionamento, quer pela queda disponível, relativamente aos sistemas de rega, cujas flutuações de caudal variam muito sazonalmente, desde um valor nulo, em período húmido (e.g. no inverno) a um valor máximo, normalmente associado ao período de estiagem.

Uma instalação deste tipo deverá estar associada a um sistema cuja capacidade de regularização de caudais, por armazenamento em barragem ou reservatório, esteja previamente concebida para a solução base (dando prioridade ao abastecimento público ou rega em detrimento da produção energética, sendo esta, exclusivamente, uma mais valia para o sistema integrado), de modo a ser

garantido o caudal de consumo previsto (ao que lhe corresponderá também o caudal turbinado). Apresenta-se como uma solução inovadora de utilização de uma fonte importante de energia renovável, relativamente à substituição de válvulas redutoras de pressão ou câmaras de perda carga em sistemas adutores, cuja perda de energia teria que existir por imposição das condições de operacionalidade e segurança do sistema (e.g. redução das classes da tubagem), sendo o controlo das pressões no interior de condutas ou sistemas hidráulicos devido, normalmente, a factores de ordem económica e de segurança do respectivo equipamento.

Das diversas simulações efectuadas algumas dificuldades surgiram na estimativa de custos do equipamento da central para potências muito baixas (associadas a baixos valores de caudal e/ou queda) e consequentemente na rentabilidade do empreendimento devido ao custo mínimo da central



associado ao equipamento exigido independente do valor da potência a instalar.

Fig. 13 - Análise de sensibilidade ao número de horas de funcionamento mínimo exigido e ao custo-benefício em sistemas adutores de abastecimento para H_u entre 5 a 200 m em função da potência instalada

É importante verificar (Figura 13) que a quedas menores estão associados custos de equipamento mais elevados.

O estudo realizado permite salientar, ainda, que o aproveitamento da carga hidráulica em excesso, através da instalação de micro-turbinas, pode apresentar-se como uma solução economicamente mais vantajosa e tecnicamente viável, e constituir, uma importante medida de mitigação relativamente às perdas energéticas que resultariam da necessidade de instalação de órgãos dissipadores de energia, desde que a normalização deste tipo de turbinas conduza, cada vez mais, a uma redução do seu custo. Esta abordagem é um exemplo de um processo de gestão múltipla otimizada de um recurso escasso e tão importante como é a água.

Bibliografia

Almeida, A.B.; Pereira, A.J. (1996), *Hidroelectricidade e Abastecimento de Água*. O sistema Integrado do Funchal. 3º Congresso da Água Lisboa.

Brealey, Richard A.; Myers, Stewart C. (1996), *Principles of Corporate Finance*. McGraw-Hill, Inc.

Cehidro (1985) – Relatório N° 4 – Pequenas centrais Hidroeléctricas. Custos de Pequenos Equipamentos e Respectivos Equipamentos de A. Pinheiro.

Covas, D.; Ramos, H. (1998), *A Utilização de Válvulas Redutoras de Pressão do Controlo d Redução de Fugas dm Sistemas de Distribuição de Água*. 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Barcelos, 27 a 30 de Outubro.

Garay, P.N. (1990), *Using Pumps as Hydroturbines*. Hydro Review, pp. 52 – 61. October.

Metzger, R.; Stobnicke, J.B. (1988), *Water Supply Yields Power*. Civil Engineering, pp. 60 – 62, May.

Ramos, H.; Covas, C. (1998), *O Aproveitamento da Energia em Excesso em Sistemas de Abastecimento de Água*. 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Barcelos, 27 a 30 de Outubro.

Ramos, H.; Covas, D. (1998), *Pressure Reducing Valves and Micro-Turbines for Leakage Control in Water Supply Systems*. Editada na revista internacional “Manutenzione” International Magazine in Field of Industrial Plants’ Maintenance, Italy.

University Of Liverpool (1998), *Management of Water Distribution and Leakage Control*. Course developed between 27th April to 1st May, Liverpool.