

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“MICRO-GERAÇÃO NO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ÁGUA DAS ÁGUAS DO ALGARVE. CENTRAL DE BELICHE”

Irene Samora (1), Helena M. Ramos (2), Dídía Covas (3), Anton J. Schleiss (4)

- (1) Instituto Superior Técnico, Lisboa, +351218418129, irene.a.samora@ist.utl.pt
(2) Instituto Superior Técnico, Lisboa, +351218418151, hr@civil.ist.utl.pt
(3) Instituto Superior Técnico, Lisboa, +351218418149, didia.covas@civil.ist.utl.pt
(4) École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, anton.schleiss@epfl.ch

RESUMO

A Barragem de Beliche no Algarve tem como principais objetivos o abastecimento público e a rega. De forma a contribuir para uma melhor eficiência energética e para uma redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, foi instalada uma central micro-hidroelétrica na ETA de Beliche. Foram instaladas duas turbinas numa câmara de válvulas, a montante da estação de tratamento de água, e deixando-se espaço suficiente para a instalação futura de um terceiro grupo. As turbinas são PAT (pumps as turbine – bombas funcionando como turbinas) e foram testadas para a determinação dos seus pontos de funcionamento. Para otimizar a eficiência do sistema foi realizada uma análise de custo-benefício, tendo-se considerado diferentes cenários de operação.

Palavras-chave: Produção micro-hidroelétrica, PAT, análise de custo-benefício.

ABSTRACT

The Beliche dam in Algarve is mainly for irrigation and water consumption uses. In order to improve the energy efficiency of the system and contribute for the reduction of CO₂ emissions to the atmosphere, a micro-hydropower plant was installed in the Beliche WTP. Two turbines were installed in a valve's chamber, upstream the treatment devices, leaving enough room for a future third one. The turbines are pumps working as turbine (PAT) and were tested for the determination of its operational points. For the purpose of improving the efficiency of this system, a cost-benefit analysis was carried, considering different scenarios of operation.

Key words: Micro-hydro, PAT, cost-benefit analysis.

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Irene Samora: Estudiante de doctorado en el Instituto Superior Técnico (Ingeniería Civil). Investigadora de CEHIDRO.

INTRODUÇÃO

A produção hidroelétrica de pequena escala (mini-hídricas e micro-hídricas) tem sido recentemente desenvolvida como uma solução de energia renovável, em particular em sistemas de adução. Esta solução tem como vantagens utilizar componentes que já existem (reservatórios, condutas, válvulas), não sendo necessário grandes trabalhos de construção civil, e o uso de um caudal diário contínuo e garantido (Vieira e Ramos, 2008). No entanto, é ainda necessário um aprofundamento do estudo de soluções para que estas sejam eficientes e lucrativas em sistemas de abastecimento e tratamento de águas. As principais razões prendem-se com (i) o facto de não existirem no mercado turbinas para pequenos caudais e pequenas quedas e com (ii) a grande variabilidade de caudais ao longo do dia.

O presente documento pretende descrever um caso de estudo pertencente às Águas do Algarve (AdA), a central de Beliche. Este estudo foi desenvolvido no âmbito do programa europeu TRUST – Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow com o objetivo de avaliar a situação atual. A central está presentemente terminada e a funcionar, mas a sua produção necessita de melhorias de operação, como se poderá verificar com a análise económica realizada.

APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A empresa Águas do Algarve S.A. gere o sistema multimunicipal de água (SMA) e o sistema multimunicipal de saneamento (SMS) da região do Algarve. O SMA é composto por 65 reservatórios, 450 km de condutas, com diâmetros variando entre 60 e 1500 mm, e quatro fontes de abastecimento:

- As barragens de Odeleite e Beliche, que fornecem água às ETA de Tavira e Beliche.
- A barragem da Bravura, que abastece a ETA de Fontainhas
- As barragens do Funcho e de Odelouca, que abastecem a ETA de Alcantarilha

As barragens de Odeleite e Beliche, ligadas entre si, foram construídas com o principal objetivo de criar um reservatório suficientemente grande para rega e abastecimento público da região de Sotavento do Algarve. Imediatamente a jusante da barragem de Beliche encontra-se a ETA de Beliche (Figura 1) na qual, em 2008, foi instalada uma central micro-hídrica e cuja ligação à rede elétrica nacional ocorreu em 2011.

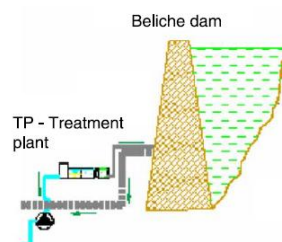


Figura 1. Perfil hidráulico da barragem de Beliche e ETA.

Atualmente, a central possui duas turbinas instalada numa câmara de válvulas que foi adaptada para o efeito. As turbinas encontram-se imediatamente a montante dos dispositivos de tratamento da ETA, em bypass ao troço principal de conduta que abastece a estação (Figura 2). A câmara e o bypass estão preparados para a instalação de uma eventual terceira turbina (Figura 3).

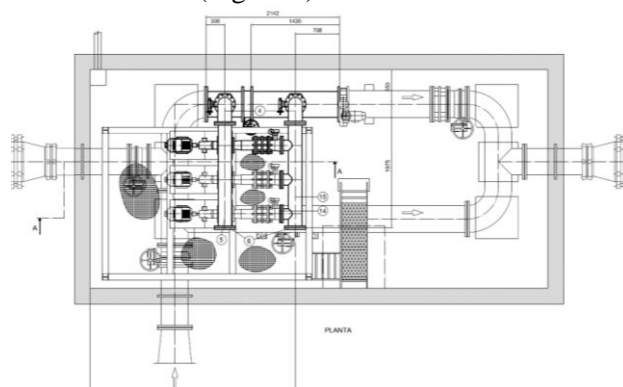


Figura 2. Planta da central micro-hidroelétrica.

A entrada de água na ETA é controlada por uma válvula de descarga com controlo automático. Anteriormente existia já um bypass ao circuito principal dentro da câmara de válvulas, que foi adaptado para receber as turbinas.



Figura 3. – Vista do bypass no interior da câmara de válvulas.



Figura 4. Vista das turbinas no interior da câmara de válvulas.

EFICIÊNCIA DA TURBINA

As turbinas instaladas na central hidroelétrica de Beliche são do tipo PAT. Uma PAT consiste numa bomba a funcionar em sentido inverso de forma a, em conjunto com um gerador de indução, produzir energia. Esta é uma tecnologia que tem sido amplamente explorada e com resultados comprovados (Caxaria et. al, 2011).

A queda nominal na central hidroelétrica de Beliche é de 16,3 m e o caudal médio diário é de 96,2 l/s, o qual foi utilizado como caudal nominal. Devido à variabilidade de caudais, optou-se por instalar em Beliche duas PAT para caudal nominal de cerca de 48 l/s (Figura 6).

A principal desvantagem na utilização de PAT é a dificuldade em determinar as características necessárias para selecionar a bomba mais indicada para cada caso particular, o que é de extrema importância para a viabilidade da instalação (Ramos et. al, 2009). Assim, antes da construção da central hidroelétrica na ETA de Beliche, foi realizada uma série de ensaios experimentais na ETA de Tavira para determinar as principais curvas de funcionamento (curva característica, curva de rendimentos) e pontos de operação da PAT. Estes testes foram realizados por Livramento, 2013, que descreveu com detalhe os protocolos experimentais seguidos e os principais resultados obtidos.

Os testes experimentais na ETA de Tavira foram realizados através da simulação de características físicas e hidráulicas semelhantes às encontradas na ETA de Beliche. A albufeira de Beliche foi simulada

utilizando uma bomba submersível (com 1.1 kW) controlada por um variador de frequência para bombear a água de um tanque diretamente para a PAT, induzindo a queda e o caudal pretendidos. Estes testes foram, conseqüentemente, limitados pelo ponto de operação máximo da bomba submersível.

Os primeiros testes foram realizados sem pressão na extremidade de jusante da turbina para diferentes velocidades de rotação. Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 4 e na Figura 5.

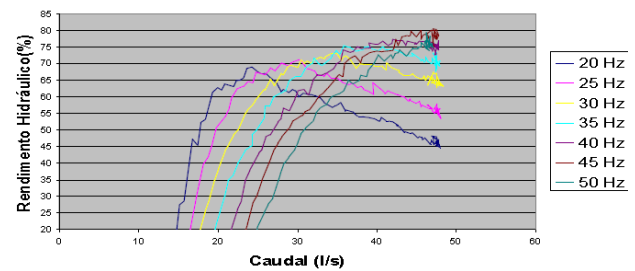


Figura 5. Potência elétrica para uma situação sem pressão na extremidade de jusante (Livramento, 2013).

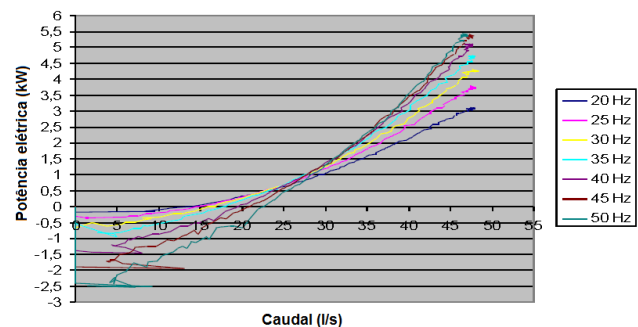


Figura 6. Potência elétrica para uma situação com pressão na extremidade de jusante (Livramento, 2013).

Novos testes foram realizados, tendo-se desta vez fixado a frequência em 50 Hz (frequência da rede). Nesta série de ensaios foi induzida uma pressão de 3 m na extremidade de jusante da turbina para simular a diferença de cotas entre a turbina e a entrada na ETA de Beliche. Para estas condições, os resultados obtidos foram os que se apresentam na Tabela 1 e na Figura 6, nos quais se incluem também medições do binário no eixo da turbina. Os testes foram limitados pela bomba submersível a 93% do caudal nominal e a 89% da queda total disponível em Beliche.

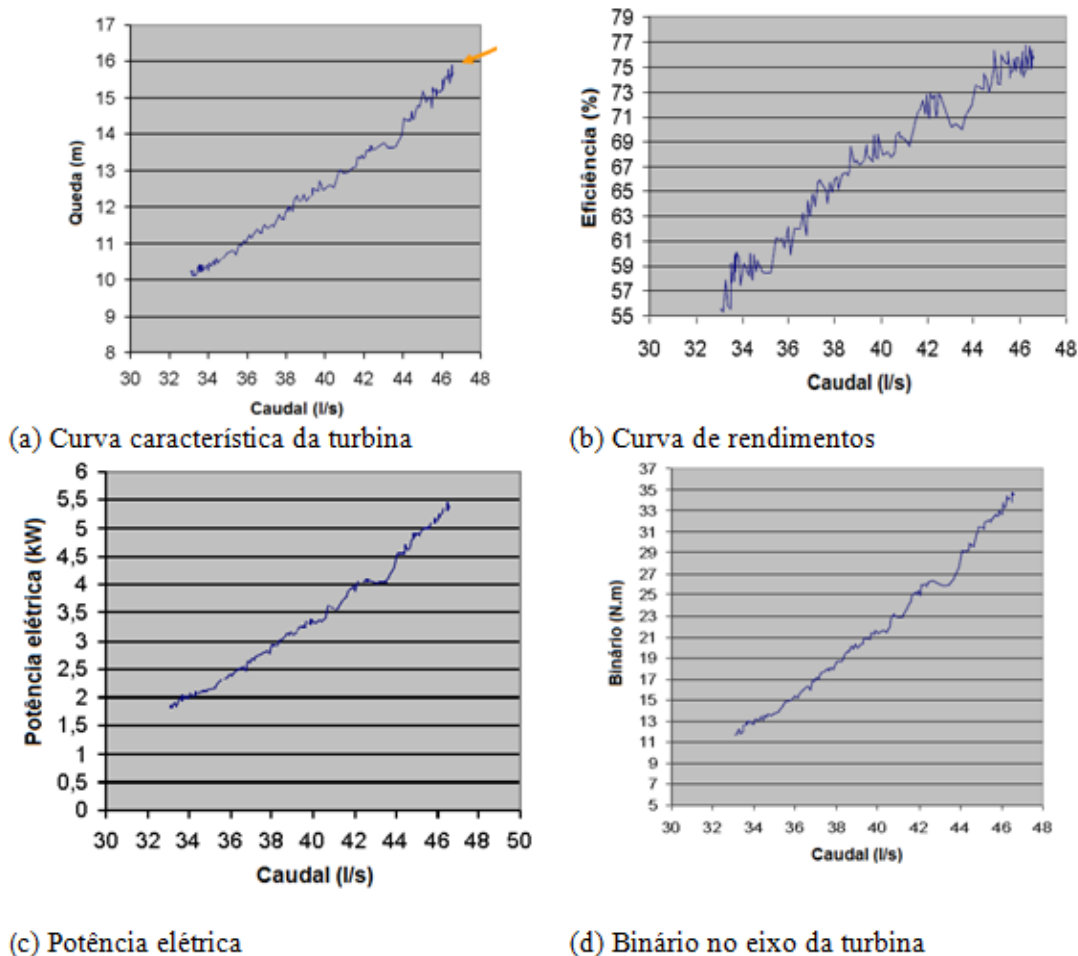


Figura 7. Resultados dos ensaios experimentais para 1500 rpm (50 Hz) e para uma situação com pressão na extremidade de jusante (Livramento, 2013).

Tabela 1. Valores máximos para 1500 rpm (50 Hz) e para uma situação com pressão na extremidade de jusante (Livramento, 2013).

Caudal (l/s)	46,493
Pressão a montante (bar)	1,868
Pressão a jusante (bar)	0,2986
Queda (m)	15,69
Rendimento hidráulico (%)	76,37

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Na estimativa da produção elétrica foram considerados dois cenários:

Cenário 1: produção apenas durante a estação alta;
Cenário 2: produção durante o ano inteiro.

A potência de uma turbomáquina é dada por:

$$P = \eta \gamma Q H_u$$

onde γ é o peso volúmico da água (9800 N/m^3), H_u (m) a queda útil calculada pela diferença de cotas da linha de energia entre as secções de montante e jusante da turbina, Q o caudal (m^3/s) e η o rendimento global do conjunto turbina-gerador.

Visto não se dispor de medições de níveis na albufeira de Beliche, foi considerada uma queda média de 19 m nos cálculos de produção de energia.

Com base nos testes realizados na ETA de Tavira, admitiu-se um rendimento hidráulico constante de 74% e um rendimento elétrico de 90%. A potência instalada é, portanto, de 11 kW.

Uma vez que a ETA funcionou apenas durante parte dos anos de 2011 e 2012, a série de caudais diários para o primeiro cenário foi obtida a partir das medições de volume de água tratada fornecidas pelas Águas do Algarve. A Figura 7 apresenta a variação dos caudais durante os anos de 2011 e 2012, assim como a média destes dois anos. As turbinas funcionaram, em média, 182 dias por ano, o que corresponde a aproximadamente 6 meses.

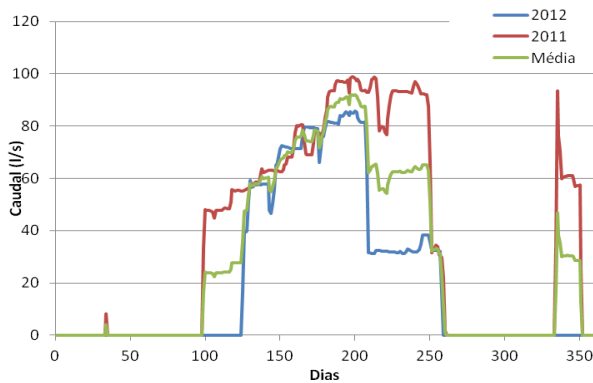


Figura 8. Caudais diários na ETA de Beliche.

A energia total produzida num ano médio foi, deste modo, calculada em cerca de 28 784 kWh/ano para o primeiro cenário.

Para estimar a energia produzida no segundo cenário, com as turbinas em funcionamento 365 dias por ano, aplicou-se uma simples proporção direta, resultando em 57 726 kWh/ano.

ANÁLISE ECONÓMICA

Na análise económica da exploração da central micro-elétrica de Beliche foram considerados dois esquemas de remuneração distintos:

- Micro-geração;
- Consumo in-situ.

Uma vez que a central de Beliche é uma central de produção de energia elétrica a partir de um recurso renovável, baseada numa só tecnologia, que introduz menos de 250 kWh na rede elétrica, esta pode integrar-se no programa português de micro-geração. Para ser admitida neste programa, não pode ainda produzir ou fornecer à rede elétrica nacional mais de metade da potência contratada para consumo com o comercializador. Deste modo, a energia consumida na ETA deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida.

O programa português de micro-geração está definido no Decreto Lei nº 34/2011, posteriormente regulado pela Portaria nº 285/2011, e admite dois regimes de remuneração: o regime geral, no qual a energia é vendida de acordo com as condições de mercado; e o regime bonificado, para o qual existe uma tarifa de referência, que em 2011 era de 250€/MWh e cujo valor é reduzido anualmente em 14%. Existe ainda uma taxa a aplicar à tarifa de referência que depende do tipo de energia primária utilizada. Para o caso da energia hídrica, esta taxa é de 50%.

O regime bonificado é mais vantajoso, pelo que foi considerado no cálculo do lucro. Considerando que o projeto foi licenciado em 2011, a tarifa de referência é de 250€/MWh. A tarifa a aplicar é, portanto, de 125 MW/h, válida durante 25 anos. No final deste período, a remuneração altera-se para o regime geral.

Para o esquema de consumo in-situ, a remuneração foi calculada a partir da tarifa média de compra. A partir dos dados fornecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) respeitantes à tarifa transitória de venda a clientes finais em média tensão, estimou-se uma tarifa média de 118,9€/MWh para o ano de 2011.

Dada a falta de informação relativa aos custos, foram consideradas estimativas baseadas no estudo de Ramos e Ramos, 2010. Neste estudo é apresentada a variação dos custos de aquisição de uma turbina ou de uma PAT. (Figura 8).

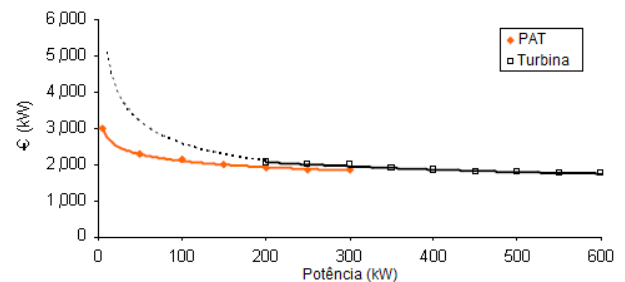


Figura 9. Custos médios de equipamento de produção hidroelétrica (Ramos e Ramos, 2010).

As PAT são visivelmente menos dispendiosas que as turbinas. Na Figura 9 apresentam-se os custos médios de aquisição de bombas.

Tendo em conta que o equipamento hidromecânico foi instalado numa câmara já existente, não exigindo elevados custos de construção civil, admitiu-se um custo de 30 000€ para a aquisição e instalação das PAT. Considerou-se ainda 2% deste custo para despesas de manutenção durante o período de análise.

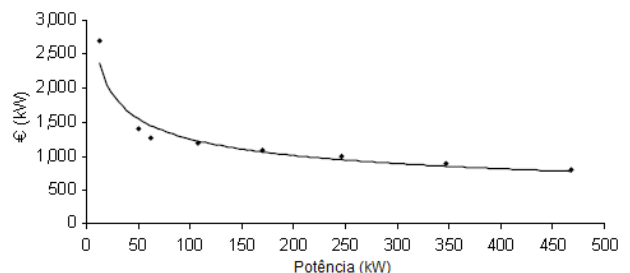


Figura 10. Custos iniciais de bombas (Ramos e Ramos, 2010).

A análise económica foi realizada a preços constantes e assumindo diferentes taxas de atualização para um período de 15 anos. O Valor Atual Líquido (VAL) e o rácio Benefício-Custo (B/C) foram calculados para três taxas de atualização (2%, 4% e 6%) e a Taxa Interna de Rentabilidade foi determinada para o período de 15 anos. Os resultados para o primeiro cenário de produção de energia (produção apenas durante a estação alta) estão presentes na Tabela 2, e os resultados do segundo cenário (produção durante todo o ano) apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 2. Análise económica do primeiro cenário.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	15323	8537	2911	13078	6594	1214
B/C	1,50	1,27	1,09	1,43	1,21	1,04
TIR	7,2%			6,5%		

Tabela 3. Análise económica do segundo cenário.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	61808	48760	38048	57306	44846	34644
B/C	3,02	2,56	2,20	2,87	2,44	2,09
TIR	18,7%			17,7%		

Na Figuras 10 apresentam-se as estimativas do VAL para a opção de micro-geração e na Figura 11 apresentam-se as estimativas do VAL para o consumo in-situ.

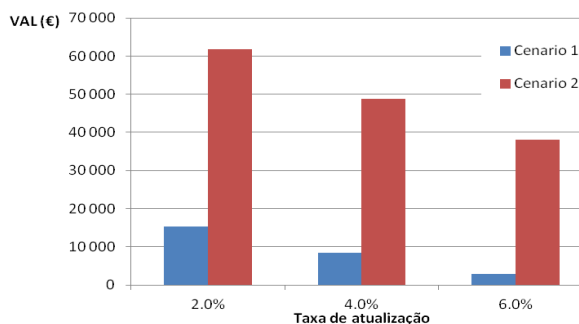


Figura 11. Estimativa do VAL para a opção de micro-geração.

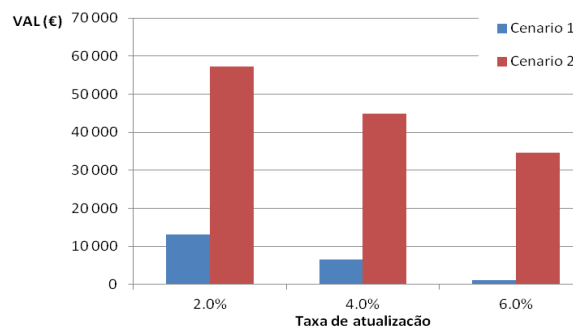


Figura 12. Estimativa do VAL para a opção de consumo in-situ.

Uma vez que os custos de investimento foram estimados, a análise económica foi repetida para outros valores, procurando-se aferir a sensibilidade do projeto aos custos iniciais. Deste modo, admitiu-se um panorama mais económico, com custos iniciais de 20 000€ (Tabela 4 e 5), e um panorama mais dispendioso, com um custo de investimento de 40 000€ (Tabela 6 e 7).

Tabela 4. Análise económica do primeiro cenário para custos iniciais mais baixos.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	25626	19026	13589	23381	17083	11892
B/C	2,26	1,91	1,64	2,15	1,82	1,56
TIR	13,4%			12,6%		

Tabela 5. Análise económica do segundo cenário para custos iniciais mais baixos.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	72111	59249	48726	23381	17083	11892
B/C	4,53	3,85	3,30	4,31	3,66	3,14
TIR	27,5%			26,3%		

Tabela 6. Análise económica do primeiro cenário para custos iniciais mais elevados.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	5020	-1952	-7766	2775	-3895	-9463
B/C	1,12	0,95	0,82	1,07	0,91	0,78
TIR	3,4%			2,8%		

Tabela 7. Análise económica do segundo cenário para custos iniciais mais elevados.

Taxa de atualização	Micro-geração			Consumo in-situ		
	2,0%	4,0%	6,0%	2,0%	4,0%	6,0%
VAL (€)	51506	38272	27370	47003	34375	23967
B/C	2,26	1,92	1,65	2,15	1,83	1,57
TIR	13,4%			12,6%		

De acordo com resultados obtidos, apesar de o primeiro cenário ter VAL baixos, o segundo cenário tem condições para ser lucrativo para os três custos iniciais considerados.

Pode-se concluir também que a remuneração no regime de micro-geração é mais vantajosa que o consumo in-situ.

Os custos de investimento têm influência no rendimento, mas no caso do cenário 2 não afetam a viabilidade, sendo sempre favoráveis. Assim, a análise económica demonstra que a estação micro-hídrica tem condições para ser rentável se as suas regras de operação forem melhoradas.

CONCLUSÕES

As Águas do Algarve têm vindo a investir em soluções de micro-geração, entre as quais se encontra a central de Beliche. Esta central está atualmente em funcionamento, utilizando a queda disponível na barragem de Beliche e o caudal tratado na ETA de Beliche, encontrando-se localizada imediatamente a jusante da barragem.

Estão instaladas duas PAT, o que se apresenta como uma solução económica e adequada às condições de queda e caudal da central.

A produção atualmente está a ser limitada a cerca de metade do ano. A análise económica realizada demonstra que produção pode ser superior à atual se as regras de operação forem otimizadas e que a central tem condições para ser viável.

REFERENCIAS

Caxaria, G., Mesquita e Sousa, D. e Ramos, H., (Maio, 2011). "Small scale hydropower: generator analysis and optimization for water supply systems". World Renewable Energy Congress, Sweden.

Livramento, J. M. (2013). Central micro-hídrica incorporada em adutora, Tese para obtenção de grau de Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2013.

Ramos, H., Borga, A. e Simão, M. (Dezembro, 2009). "New design for low-power energy production in water pipe systems." Water Science and Engineering pp. 69-84.

Ramos, J. S.E Ramos, H. (2010). "Multi-criterion optimization of energy management in drinking systems". Water Science and Technology: Water Supply, IWA Publishing Vol 10, N.º.1 pp. 39-49.

Vieira, F. and Ramos, H., (Novembro, 2008). "Hybrid solution and pump-storage optimization in water supply system efficiency: A case study." Energy Policy, Elsevier, pp.4142-4148.