

POTENCIAL ENERGÉTICO DAS CORRENTES DE MARÉ NA RIA DE AVEIRO

Resumo

A energia das correntes de maré aproveita a energia cinética existente no movimento de água induzido pela propagação da maré. Esta fonte de energia tem uma série de vantagens em relação a outras energias renováveis. Contudo, o desenvolvimento de indústrias dedicadas à exploração de energia de correntes de maré ainda está num estado inicial. A Ria de Aveiro cuja dinâmica é dominada pela propagação de maré, é um local atraente para avaliar o potencial de produção deste tipo de energia. Neste contexto, foi utilizado o modelo numérico DELFT3D para quantificar o potencial energético das correntes de maré na Ria de Aveiro e para avaliar a viabilidade de uma possível instalação de turbinas.

Palavras chave—Correntes de maré. Ria de Aveiro, DELFT3D.

1. Introdução

Preocupações acerca da redução das fontes energéticas convencionais, do aumento do preço dos combustíveis, assim como do aumento contínuo das emissões de carbono forçaram os investigadores a explorar fontes de energia alternativas [1].

O oceano oferece uma grande diversidade de fontes de energia, por exemplo a energia das ondas, a energia térmica do oceano e a energia das marés. A energia das marés recebe atenção mundial pois é uma fonte de energia renovável que apresenta alta densidade energética, alta previsibilidade e baixo impacto ambiental. Representa uma importante fonte de energia visto que o potencial energético das marés é estimado ser à volta de 450 TWh/ano [2].

A maré é traduzida pelas alterações cíclicas do nível das águas do mar que têm como causa a atração gravitacional do Sol e da Lua.

Matematicamente a maré é uma soma de sinusóides cuja periodicidade é conhecida e depende exclusivamente de fatores astronómicos. As amplitudes de marés vivas em Portugal Continental são cerca de 1.5m. Isto é, o mar sobe e desce 1.5m em relação ao nível médio. Em marés mortas a amplitude da maré é da ordem dos 70cm [3].

Apesar de ainda não ser muito usada, a energia das marés é uma das formas mais antigas de energia renovável usada pela humanidade. Moinhos de maré são usados desde o séc. VI [4]. Intermitência é um problema para a energia eólica, das ondas e solar. Essas fontes de energia renovável muitas vezes exigem um backup das formas tradicionais de geração de energia. No entanto, a previsibilidade inerente do poder de maré é altamente atraente para a gestão de rede, evitando que seja necessário a utilização de um backup principalmente alimentado por centrais de combustíveis fósseis [5].

Existem, principalmente, dois métodos para gerar energia através das marés: aproveitar a energia potencial da subida e descida de maré através da construção de uma barragem ao longo de uma baía ou de um estuário em áreas de maré alta; ou extrair a energia cinética das correntes de fluxo livre que ocorrem durante enchentes e vazantes.

As instalações de energia das marés podem ser classificadas em dois tipos: barragens de maré e sistemas de correntes de maré [4]. A tecnologia requerida para converter a diferença de nível da água induzida pela maré em eletricidade é muito semelhante à utilizada numa central hidroelétrica convencional. As barragens de maré usam a energia potencial na diferença de alturas entre a maré alta e a maré baixa.

Há uma grande variedade de projetos de turbinas, que podem ser projetados para operar em ambos os sentidos, vazante e enchente [4].

Esta tecnologia é considerada madura, confiável e tem excelente potencial. No entanto, as questões atuais que restringem o seu desenvolvimento são os elevados custos da infraestrutura, a escassez mundial de locais viáveis e o impacto ambiental.

Os sistemas de corrente de maré extraem a energia cinética da água em movimento de forma semelhante à que os moinhos de vento extraem energia do ar. A instalação de dispositivos de corrente de maré requer um uso mínimo terrestre.

Em contraste com as barragens de maré os conversores hidrocínicos de maré são construídos sem alterar significativamente o caminho natural do fluxo de água. Dispositivos de corrente de maré são normalmente totalmente submersos, portanto não afetarão visualmente ou acusticamente o seu redor. Estas tecnologias podem ser organizadas em matrizes de várias unidades. A modularidade e a escalabilidade são características atraentes desta tecnologia [4]. Este sistema está a ganhar popularidade devido ao menor custo e impacto ambiental em comparação com as barragens de maré [4].

Projetos recentes estão focados na conceção de uma nova abordagem baseada em microturbinas hidrocínicas, adequadas para locais onshore/nearshore, onde há elevada energia cinética. Esta situação torna possível usar a energia gerada em locais próximos aos pontos de consumo de energia, como cidades e portos, minimizando o impacto ambiental, bem como os custos de investimento e operacional correspondentes [6].

Contudo, o desenvolvimento de sistemas para exploração de energia das marés e a implementação de turbinas enfrenta alguns problemas importantes. Um dos principais problemas é a localização ideal dos sistemas de corrente de maré, uma vez que os locais de maré adequados são limitados.

Na verdade, as turbinas de maré não podem ser instaladas em águas pouco profundas devido à turbulência causada pelas ondas. Por outro lado, elas também não podem ser colocadas em águas profundas devido à diminuição da velocidade da corrente de maré com a profundidade [2].

As turbinas de eixo horizontal são o meio mais comum de extrair energia das correntes marinhas e são bastante semelhantes em termos de design às turbinas eólicas. Embora haja uma variedade de abordagens, todos os dispositivos consistem numa turbina com um eixo de rotação horizontal, alinhado paralelamente ao fluxo da corrente. Estas turbinas de fluxo axial geralmente usam um mecanismo de “descolagem” envolvendo um gerador acoplado ao eixo da turbina, diretamente ou por meio de uma caixa de engrenagens, para produzir eletricidade [4].

As turbinas de eixo horizontal são divididas em duas categorias: não-ductadas e ductadas. Os ductos são estruturas fixas colocadas em redor do lado externo de um rotor para aumentar a sua potência, criando um efeito de funil [4].

As turbinas de eixo vertical extraem energia das marés de maneira similar às horizontais, no entanto, a turbina é montada num eixo vertical. O fluxo das marés faz com que os rotores girem em torno do eixo vertical e gerem energia. São também designadas por turbinas de fluxo cruzado [4].

O objetivo principal deste trabalho é calcular o potencial energético que a Ria de Aveiro pode oferecer através das velocidades das correntes induzidas pela propagação da maré.

Nos seguintes capítulos será feita uma descrição da área de estudo, da metodologia e dos resultados, por esta ordem. Posteriormente, será apresentada a discussão destes resultados e as respetivas conclusões.

II. ÁREA DE ESTUDO

A Ria de Aveiro é uma laguna costeira de reduzida profundidade situada na costa noroeste do Atlântico de Portugal (40. 38'N e 8. 44'W), separada do mar por uma barra de areia. Tem uma geometria muito irregular e complexa, caracterizada por canais estreitos e pela existência de zonas interditaís significativas. Está conectada com o Atlântico através de um canal artificial e troca a maior parte da sua água com o oceano através da propagação da maré ao longo deste canal. A laguna tem uma largura e comprimento máximos de 10 e 45 km, respetivamente, e numa maré viva cobre uma área de 83 km² na maré alta, reduzida para 66 km² na maré baixa. A profundidade média da laguna é de cerca de 1 m, exceto nos canais de navegação onde as operações de dragagem são realizadas com frequência. As marés na embocadura da laguna são predominantemente semidiurnas, com uma amplitude média de aproximadamente 2.0 m. A amplitude de maré mínima é de 0.6 m (marés mortas) e a amplitude máxima é de cerca de 3.2 m (marés vivas), correspondendo a um nível máximo e mínimo de água de 3.5 e 0.3 m, respetivamente. De acordo com estes valores, a Ria de Aveiro é uma laguna mesotidal [7].

III. METODOLOGIA

O modelo numérico utilizado para a realização deste trabalho foi o DELFT3D. É um modelo usado a nível mundial para estudar a hidrodinâmica, o transporte de sedimentos, a morfologia e a qualidade de água para zonas costeiras, ambientes fluviais e estuarinos. Um dos vários módulos deste modelo é o FLOW, um submodelo multidimensional (2D e 3D) de simulação hidrodinâmica e de transporte que calcula fluxos e transporte de sal e calor, resultantes do forçamento tanto das correntes de maré como meteorológico [8].

Delft3D-Flow é um modelo de simulação hidrodinâmica multidimensional que calcula o fluxo não-estacionário e os fenómenos de transporte resultantes da força das marés e meteorológicas numa grelha ajustada.

O modelo consiste num código de diferenças finitas que resolve as equações baroclínicas de Navier-Stokes e de transporte sob hipóteses de águas pouco profundas e de Boussinesq. O modelo utilizado foi previamente calibrado pelo Núcleo de Modelação Estuarina e Costeira, tendo os parâmetros sido ajustados à área de estudo, de maneira a reproduzir com precisão a sua hidrodinâmica [9].

Utilizando a implementação do modelo referido foi efetuada uma simulação de um ano, com um "time step" de 2 minutos. Foram guardados mapas horizontais de 2 em 2 horas, com início às 00:00:00 do dia 1 de junho de 2002 e fim às 00:00:00 do dia 1 de junho de 2003.

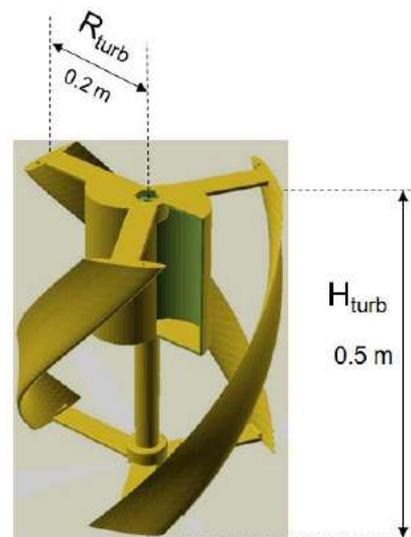


Figura 1. Turbina de eixo vertical Savonius-Gorlov

A turbina escolhida para a realização deste trabalho foi uma turbina Savonius-Gorlov (Fig. 1). Esta turbina consiste num híbrido entre a turbina Savonius, devido ao seu bom desempenho em baixas velocidades, e a turbina Gorlov pois é a turbina que obtém os valores máximos de eficiência.

O modelo é composto por uma Gorlov com um raio de 0.2 metros e um comprimento de 0.5 metros com uma pequena Savonius, deslocada 90 graus para fornecer torque inicial a baixas velocidades de corrente.

A Pteo (Potência teórica) obtida a partir de uma corrente de água do mar usando uma turbina de eixo vertical é apresentada na equação (1) [10][4]:

$$P_{teo} = \frac{1}{2} \times \rho \times H_{turb} \times R_{turb} \times V^3 \quad (1)$$

onde R_{turb} é o raio da turbina, H_{turb} é o comprimento da turbina, ρ é a densidade da água do mar e considerando V como a intensidade da velocidade da corrente, calculado pela equação (2) [10]:

$$V = \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad (2)$$

Os valores utilizados para os cálculos são: $R_{turb} = 0.2$ m, $H_{turb} = 0.5$ m e $\rho = 1025$ Kg/m³.

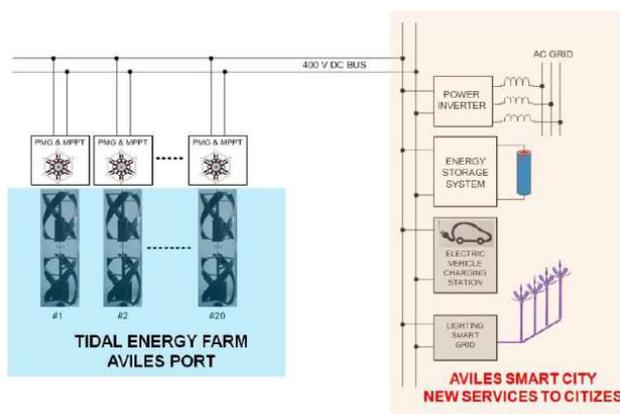


Figura 2 - Sistema de microgeração de energia de correntes de marés do Porto de Avilés [10].

Esta turbina pode ser incorporada numa central de microgeração de energia das marés, como foi feito no Porto de Avilés, Espanha (Fig. 2).

A estrutura era composta por 20 turbinas Savonius-Gorlov, numa matriz de 5 por 2 com 2 “pisos”, onde as turbinas se encontravam sobrepostas [10].

Foi obtido o ciclo de maré previsto para a estação da Barra durante o período de um ano, com o fim de identificar as marés de maior e menor amplitude. Foram obtidos os mapas de velocidades horizontais para cada uma dessas marés assim como os mapas de potencial teórico.

A partir destes mapas foram seleccionadas as zonas com maior potencial teórico com o objetivo de simular a instalação de uma central de geração compostas por turbinas.

Para conseguir completar este objetivo foi simulada a potência teórica de uma turbina para cada um dos locais seleccionados, durante um ano. Por fim foi realizado um cálculo da potência teórica que cada central produziria durante um ano e foi feita a soma total da potência teórica.

IV. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados de altura de água ao longo de um ciclo de maré previsto para a estação da Barra. Esta estação foi escolhida para estudar a variação da altura de maré na zona da ligação entre a Ria de Aveiro e o mar. Foram também obtidos 6 mapas de velocidades horizontais referentes à maré de maior amplitude durante o período de simulação, assim como 6 mapas referentes à maré de menor amplitude, dos quais só será apresentado um exemplo devido às limitações de tamanho do documento. Usando a Eq. 5, foram obtidos mais 12 mapas, referentes às potências teóricas da maré de maior amplitude (6) e à potência de maré de menor amplitude (6), onde também só será apresentado um exemplo devido à razão descrita acima. Posteriormente, foram escolhidos 4 locais onde foi estudada a sua profundidade, durante o período de simulação, no momento logo após à maré de maior amplitude, e onde foram simuladas implantações de turbinas Savonius-Gorlov. Finalmente, foram calculadas as potências teóricas para cada um dos locais definidos, assim como se considerou a construção de uma central de geração de energia em cada local, sendo que no final se calculou uma potência teórica total.

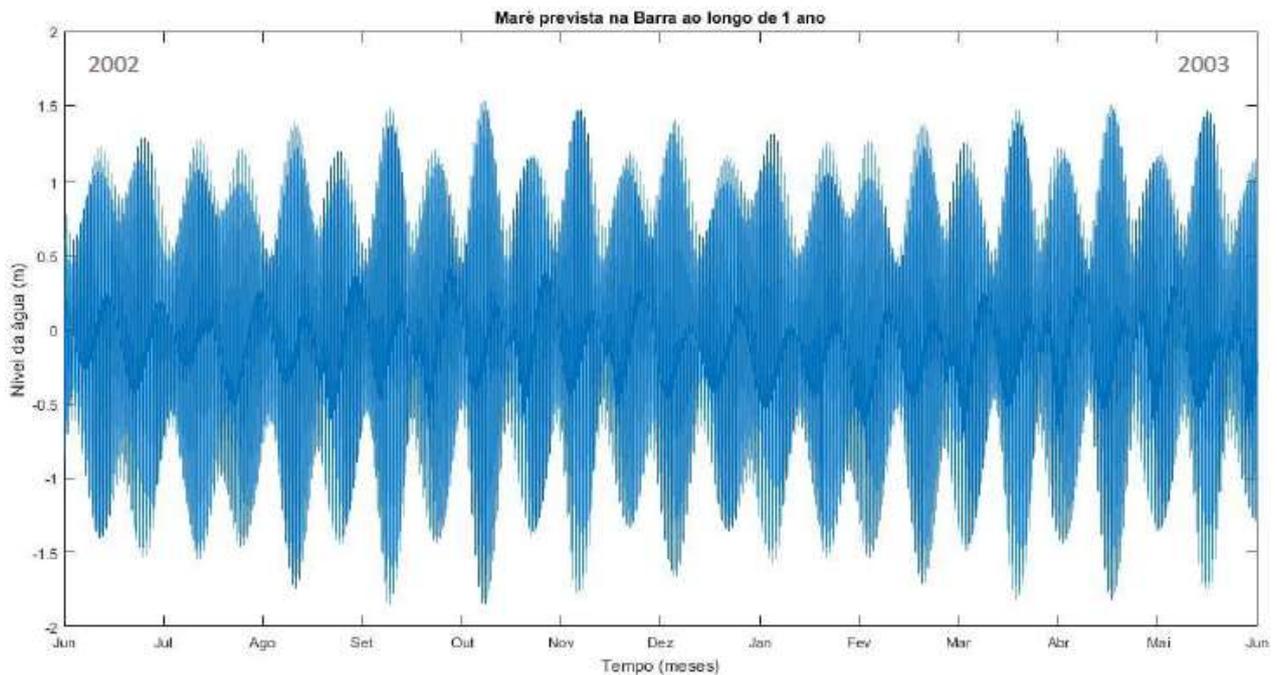


Figura 3 – Evolução da amplitude de maré no decurso de um ano na estação da Barra

Após análise dos ciclos de maré que ocorreram desde o dia 1 de junho de 2002 até ao dia 1 de junho de 2003 na estação da Barra (Fig.3), verificou-se que a maré de maior amplitude durante este período de tempo ocorreu no dia 7 de outubro de 2002, sendo a preia-mar prevista às 15h40.

Verificou-se ainda que a maré de menor amplitude durante este período ocorreu no dia 13 de outubro de 2002 sendo que a preia-mar foi prevista às 21h10.

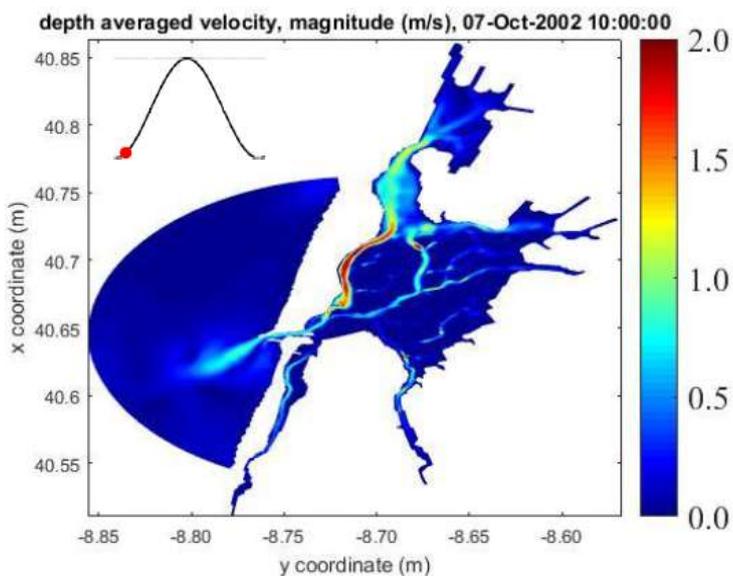


Figura 4 – Exemplo de mapa de velocidades horizontais

De uma forma geral, para os mapas de velocidades horizontais (Fig.4), verifica-se que as zonas de maior velocidade ocorrem nos canais de navegação e as de menor velocidade, quase nula, nas zonas centrais alagáveis da Ria de Aveiro (antigas marinhas). No início da enchente, observam-se velocidades altas que abrandam ao longo do tempo, que por sua vez voltam a aumentar no final da enchente. Posterior à preia-mar, ou seja, no início da vazante, verificam-se velocidades baixas que tendem a aumentar à medida que a maré vaza sendo observados os máximos de velocidade nos instantes anteriores à baixa-mar.

Usando a Equação 1 e as velocidades obtidas foram feitos mapas de potência para a maré de maior amplitude durante o período da simulação, assim como para a maré de menor amplitude.

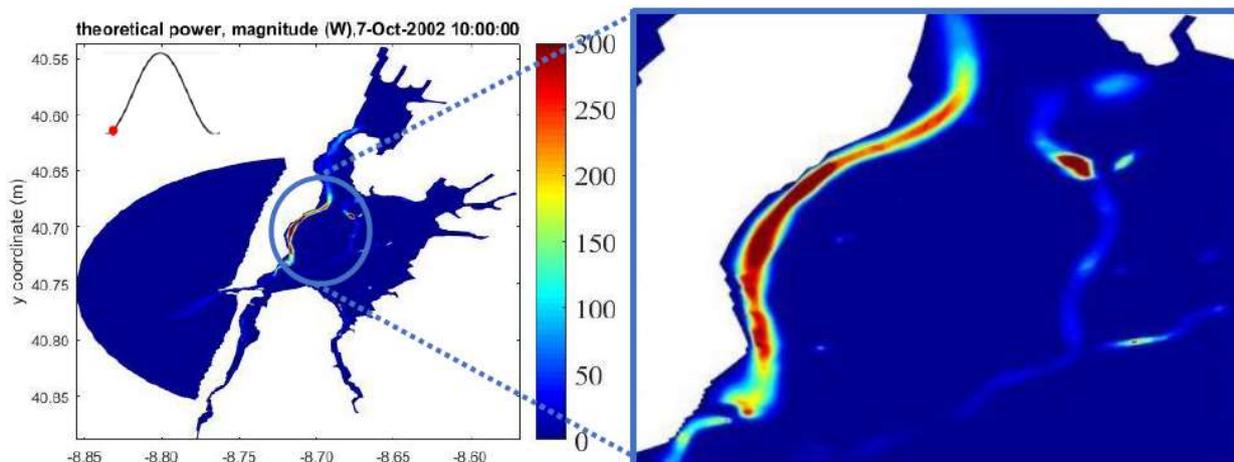


Figura 5 – Exemplo de mapa de potência teórica

De uma forma geral, para os mapas de potências teóricas (Fig.5), observa-se que as potências maiores ocorrem nos canais de navegação e as potências mais baixas nas zonas centrais alagáveis da Ria de Aveiro (antigas marinhas). Sendo a potência diretamente proporcional à velocidade, verificam-se potências altas no início da enchente que diminuem nas horas seguintes e que tendem a aumentar com o aproximar do final da enchente. Seguido à preia-mar, verificam-se potências baixas que tendem a aumentar à medida que a maré vaza sendo observados os máximos de potência nos instantes finais da vazante.

Considerando os resultados obtidos, verifica-se que as zonas com maior potencial para implantação de turbinas são a zona da Barra, no Canal de S. Jacinto, no Canal de Ovar e no Canal Espinheiro (Fig.6).

Considerando os resultados obtidos, foram então feitas simulações para as diferentes zonas. Foi calculada a potência teórica que uma turbina pode fornecer durante o período de um ano.

Obtiveram-se os gráficos da potência teórica ao longo do ano para o Canal de Ovar (Fig.7) para o Canal Espinheiro (Fig. 8) para o Canal de S. Jacinto (Fig.9) e para a zona da Barra (Fig.10).

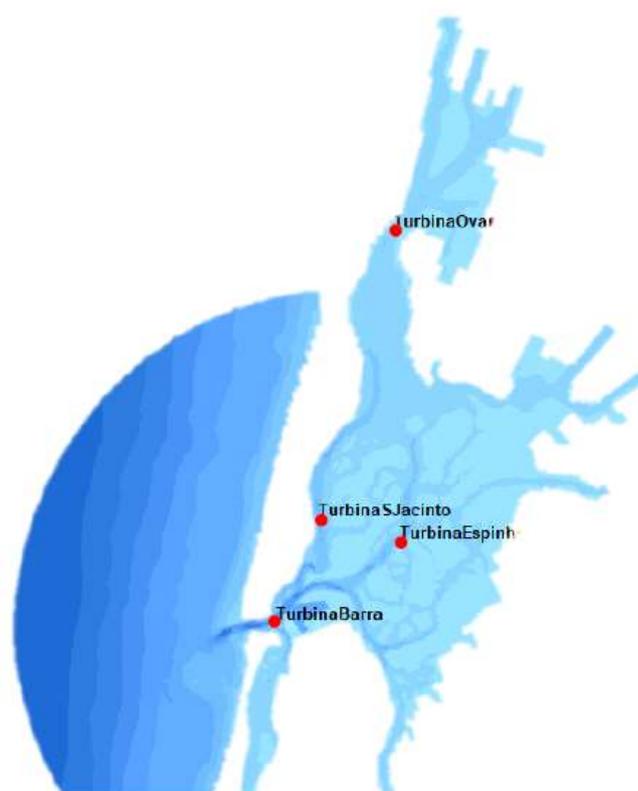


Figura 6 - Zonas da Ria de Aveiro onde serão realizadas as simulações de implantação de turbinas (Turbina Barra, Turbina do Canal de S. Jacinto, Turbina do Canal de Ovar, Turbina do Canal Espinheiro)

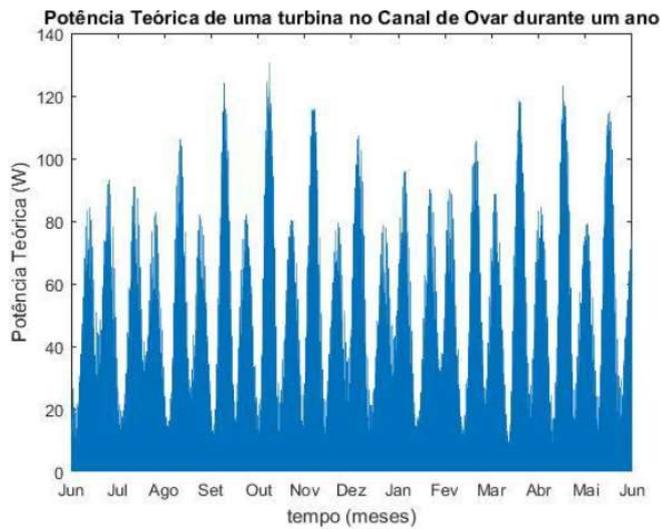


Figura 7 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal de Ovar durante um ano

A integração dos valores obtidos das potências teóricas para o período de um ano permitiu a determinação da potência teórica total, para o Canal de Ovar, de $1.3614 \cdot 10^6$ watts.

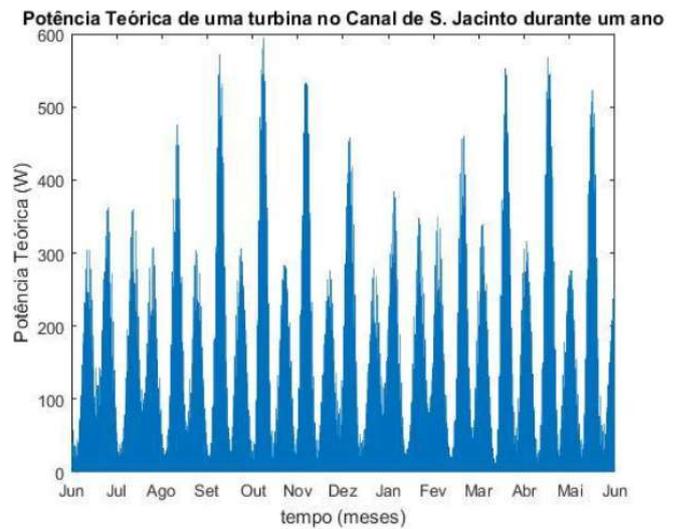


Figura 9 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal de S. Jacinto durante um ano

A integração dos valores obtidos de todas as potências teóricas do Canal de S. Jacinto permitiu a determinação de uma potência teórica total de $2.4437 \cdot 10^6$ watts.

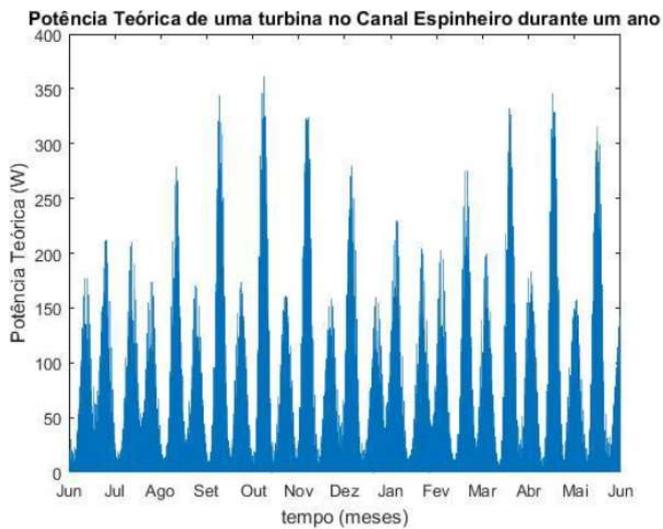


Figura 8 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal Espinheiro durante um ano

Ao integrar todas as potências teóricas do Canal Espinheiro foi possível obter uma potência teórica total de $1.1235 \cdot 10^6$ watts. Apesar de o Canal Espinheiro ter máximos de potências teóricas mais altos o seu total de potência teórica é mais baixo que o do Canal de Ovar.

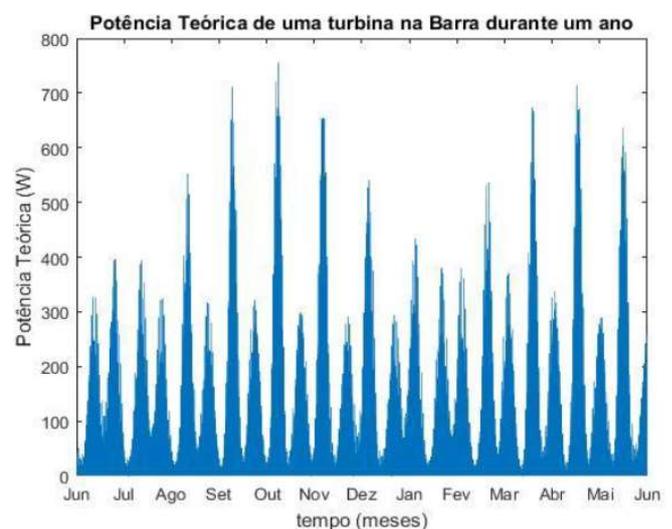


Figura 10 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina na Barra durante um ano

O total das potências teóricas na zona da Barra foi de $3.3277 \cdot 10^6$ watts.

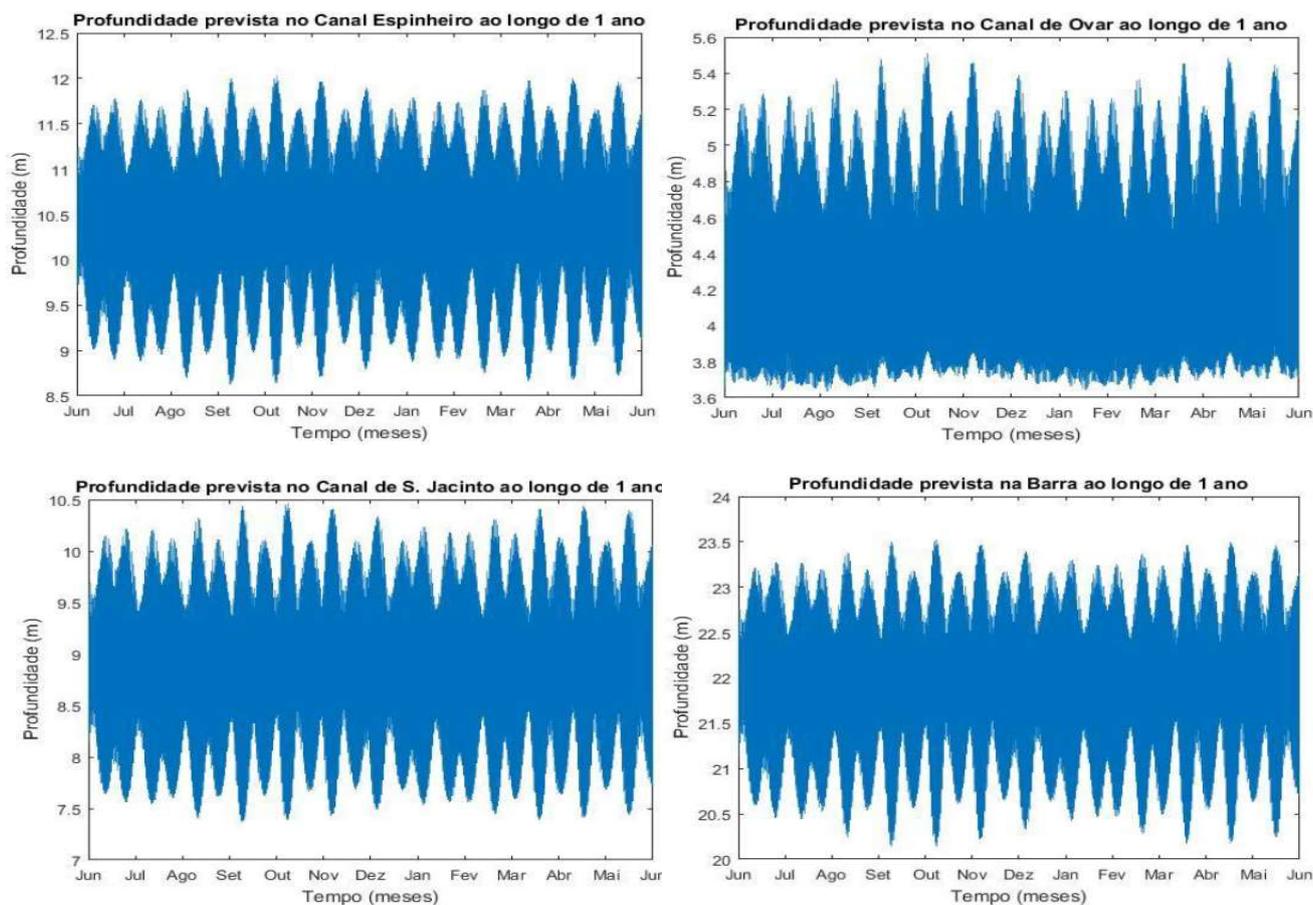


Figura 11 - Profundidades previstas para os 4 locais selecionados

Analisando a Fig. 22, verifica-se que todos os locais selecionados, durante o período de simulação, têm a profundidade necessária para a implantação de 2 turbinas sobrepostas cada uma com 0.5m de altura, ou seja, mais de um metro.

Imaginando que seria construída uma central de geração de 20 turbinas, de maneira semelhante à realizada no Porto de Avilés, em cada um destes pontos, obteríamos valores de potência teórica durante um ano de, supondo que todas as turbinas obteriam as mesmas velocidades:

- Para a zona da Barra – $6.65540 \cdot 10^7$ W
- Para o Canal de S. Jacinto – $4.88740 \cdot 10^7$ W
- Para o Canal de Ovar – $2.24700 \cdot 10^7$ W
- Para o Canal Espinheiro – $2.72280 \cdot 10^7$ W

No total, seria obtido uma potência teórica, durante o período de um ano, de $1.65126 \cdot 10^8$ W, correspondendo isto a 18,9 kWh.

V. DISCUSSÃO

Em relação à maré de maior amplitude, observa-se que o momento de maior velocidade, é o final da maré vazante. São obtidas também boas velocidades no início da enchente assim como nos momentos antecedentes à preia-mar. Sendo a potência teórica exatamente proporcional à velocidade obtiveram-se maiores potências teóricas no final da vazante, sendo que se obtiveram também boas potências no início da maré enchente e na altura de preia-mar.

Na maré de menor amplitude, apesar das velocidades serem muito fracas, obtêm-se as maiores velocidades no final da vazante.

Também são de considerar as velocidades próximas da preia-mar, sendo um pouco mais altas que o normal nessa maré. Tendo já sido referido em cima, a potência teórica é exatamente proporcional à velocidade, logo onde houverem maiores velocidades haverão também maiores potências. Sendo que para essa maré, a de menor amplitude, as maiores potências teóricas obtêm-se no final da vazante. Obtêm-se também potências teóricas mais elevadas que o normal para essa maré, próximo da preia-mar.

Tendo sido feita a simulação da implantação de uma turbina em 4 locais distintos e calculada a potência teórica durante um ano em cada um desses locais, é possível afirmar, tendo sido possível observar anteriormente nos mapas horizontais de velocidade, que o melhor local para implantação de turbinas é a zona da Barra, sendo que o canal de São Jacinto também apresenta potências teóricas relativamente altas.

Posterior à realização da simulação do potencial teórico em cada um dos locais de maior potencial foi necessário verificar se estes continham uma profundidade adequada para a criação de centrais de geração de energia elétrica. Após uma análise aos resultados verifica-se que os 4 locais apresentam profundidade necessária para a criação destas centrais.

Considerando que em 2014 o consumo de eletricidade per capita em Portugal foi de 4662.60 kWh [11] e que a eficiência de uma turbina é estimada que seja entre 30% e 50% [4] podemos afirmar que a Ria de Aveiro ainda não é uma aposta segura para este tipo de tecnologia visto que o aproveitamento total dos 4 locais é cerca de 18.9 kWh, tendo sido considerada uma eficiência de 100% para as turbinas, e este valor é muito pequeno em comparação ao que um só único português gasta.

VI. CONCLUSÃO

A energia das correntes de maré está a emergir como uma grande fonte de energia de elevado potencial. Considerando que tem uma série de vantagens em relação a outras energias renováveis.

A fim de quantificar o potencial de energia das correntes de maré na Ria de Aveiro foi explorado um modelo numérico (DELFT3D) previamente implantado e calibrado para simular a hidrodinâmica da laguna.

A corrente de maré mais forte ocorreu na zona da embocadura com um valor máximo de mais ou menos 2 m/s no final da vazante da maré de maior amplitude do período de simulação. Há que considerar, num futuro próximo em que seja possível a implementação de tais turbinas que a zona da embocadura é uma zona de grande tráfego de embarcações. As magnitudes de velocidade na área de estudo foram maiores durante a vazante do que durante a enchente.

A escolha dos locais para ser realizada a simulação da instalação de uma turbina foi feita através de uma análise dos mapas horizontais de velocidade, tendo sido identificados 4 locais. Estes locais foram escolhidos unicamente pelas suas velocidades e não foi considerado se havia espaço suficiente para a passagem de embarcações, nem se estes locais asseguravam um transporte fácil de eletricidade.

Para realizar tais simulações, foi utilizada a turbina mais pequena que foi encontrada na pesquisa efetuada assim como foi analisada a profundidade dos locais selecionados. Essa turbina era uma Savonius-Gorlov, tendo um raio de 20 cm e uma altura de 50 cm.

É de salientar que os rendimentos de conversão de desempenho e energia poderiam ser melhorados pela implementação de um dispositivo específico ajustado para a Ria de Aveiro e para os seus requisitos exclusivos. Empresas dedicadas ao desenvolvimento de turbinas de maré oferecem curvas de eficiência de dispositivos de sistemas de conversão de energia que podem ser usadas para encontrar o projeto ideal para a área de estudo. O desenvolvimento adicional na eficiência de turbinas é o elemento chave para impulsionar a tecnologia de energia das marés para alcançar

o estado comercial e se tornar um recurso de energia renovável competitivo. O trabalho futuro deve ser feito para aumentar a capacidade de captação de energia das turbinas, ou seja, para conseguir turbinas a trabalhar a velocidades abaixo da velocidade de corte ou acima da velocidade nominal. Sendo que para estudos futuros devem ser consideradas as velocidades de corte e nominais da turbina usada neste trabalho para se fazer uma previsão dos períodos em que as velocidades das correntes são rentáveis e assim desligando a mesma quando não são.

Para simular a criação de uma central de microgeração, foi usado um design proposto para o Porto de Avilés. Para comprovar se estas turbinas e centrais são realmente rentáveis, no futuro, deverá ser feito uma análise através de um modelo de custo-benefício. Mesmo não tendo sido realizada essa análise, entende-se que esta tecnologia ainda é muito recente e cara, e que um projeto deste tipo requereria um investimento muito elevado e como tal difícil de recuperar.

Como trabalho futuro deve ainda ser salientado que pesquisas em métodos de instalação e transporte devem ser incentivadas. A redução de custos pode ser alcançada através de uma série de mecanismos que se encaixam no desenvolvimento contínuo das tecnologias de energia das marés. A melhoria do desempenho do dispositivo, o aumento de escala de utilização, a experiência e a inovação são os pilares fundamentais que permitirão que a tecnologia das marés se torne comercialmente viável e alcance uma maior taxa de implantação.

Adicionalmente, mais trabalho deve ser realizado para fornecer respostas a várias incertezas em relação ao espaçamento entre turbinas de uma central e à capacidade de extração disponível do recurso. A investigação deve ser promovida neste tópico para determinar a quantidade real de recursos que podem ser extraídos sem prejudicar o ambiente marinho.

Em relação à abordagem ambiental, estas turbinas são projetadas para extrair energia da água, o que afeta as características físicas, químicas e ecológicas do ambiente marinho. É de esperar que os maiores efeitos ambientais ocorram onde as centrais possam a vir a ser instaladas. Possíveis métodos de mitigação para a gestão de efeitos no fundo da laguna, nos sedimentos e na hidrodinâmica incluem o design sensível de estruturas de base e a escolha do local para minimizar o impacto, bem como a interação da central com a fauna marinha. Em geral, é de esperar que os dispositivos de correntes de maré tenham um efeito relativamente baixo no ambiente.

Para aumentar também a viabilidade deste tipo de projetos é desejável que à medida que a tecnologia avança, seja criada uma turbina de eixo horizontal de pequenas dimensões, visto que são mais eficientes que as de eixo vertical.

A energia das marés é uma tecnologia promissora, que poderá ser rentável em outros estuários em Portugal com velocidades maiores. O governo e instituições nacionais devem promover o investimento na investigação em relação ao design, desenvolvimento, construção e métodos para instalação e fixação dos dispositivos, com o intuito de tornar esta tecnologia competitiva para a produção de energia renovável.

REFERENCES

- [1] Lee, J., Park, S., Kim, D., Rhee, S., & Kim, M. (2012). Computational methods for performance analysis of horizontal axis tidal stream turbines. *Applied Energy*, 98, 512-523. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.04.018
- [2] El Tawil, T., Charpentier, J., & Benbouzid, M. (2017). Tidal energy site characterization for marine turbine optimal installation: Case of the Ouessant Island in France. *International Journal of Marine Energy*, 18, 57-64. doi: 10.1016/j.ijome.2017.03.004

- [3] Marés | Instituto Hidrográfico. (2018). Retrieved from <http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>
- [4] Colom, M. (2015). Power generation from tidal currents. Application to Ria de Vigo. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental.
- [5] Barbarelli, S., Florio, G., Amelio, M., Scornaienchi, N., Cutrupi, A., & Lo Zupone, G. (2015). Transients analysis of a tidal currents self-balancing kinetic turbine with floating stabilizer. Applied Energy, 160, 715-727. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.06.049
- [6] Alvarez, E., Rico-Secades, M., Suárez, D., Gutiérrez-Trashorras, A. & Fernández-Francos, J. (2016). Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River. Applied Energy, 183, pp.100-112.
- [7] Dias, J., Lopes, J., & Dekeyser, I. (2000). Tidal propagation in Ria de Aveiro Lagoon, Portugal. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans And Atmosphere, 25(4), 369-374. doi: 10.1016/s1464-1909(00)00028-9
- [8] Deltares systems 2014. "Delft3D-FLOW, User Manual", pp. 1-684. Available at: www.deltares.nl
- [9] Pacheco, A., & Ferreira, Ó. (2016). Hydrodynamic changes imposed by tidal energy converters on extracting energy on a real case scenario. Applied Energy, 180, 369-385. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.07.132
- [10] Alvarez, E., Navarro, A., Gutiérrez-Trashorras, A., Francos, J. & Rico-Secades, M. (2013). Obtaining renewable energy from tidal currents in the Aviles port: New services for citizens. 1-9. 10.1109/SmartMILE.2013.6708175.
- [11] Electric power consumption (kWh per capita) | Data. (2018). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH>. PC

HUMOR ELETRO

