

Circulação costeira no barlavento Algarvio no verão e outono de 2015

P.B. Oliveira (1), M. Santos (1,2), T.Moita (1,3) and A. Amorim (2)

- (1) IPMA - Av. Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165 Lisboa. pboliveira@ipma.pt
- (2) MARE/FCUL - Campo Grande, 1749-016 Lisboa
- (3) CCMAR - Univ. Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro

Resumo: Estudos anteriores mostram que a circulação costeira na costa algarvia se caracteriza por uma elevada variabilidade temporal. Neste trabalho são apresentados os resultados da medição da corrente com um ADCP fundeado a cerca de 1 milha ao largo da Ponta da Piedade, à profundidade de 30 m, entre Julho e Novembro de 2015. Os dados mostram a predominância da corrente dirigida ao longo da costa, sendo tipicamente dirigida para leste durante os períodos de vento dos quadrantes norte/oeste e em sentido contrário em períodos de vento fraco, de sul ou de levante. A comparação com soluções publicamente disponíveis de diferentes modelos numéricos revela disparidades entre os modelos e as observações. A análise centrada nos eventos de corrente com intensidades superiores a 0.1 m/s, e com duração superior a um dia, mostra diferenças importantes entre as soluções dos vários modelos no que respeita à intensidade, duração e estrutura vertical das correntes.

Palavras-chave: Circulação costeira, afloramento, upwelling, levante, ADCP, modelos numéricos.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais distintivos da oceanografia costeira do barlavento Algarvio, durante o verão, é a ocorrência de um forte gradiente da temperatura da superfície do mar (TSM), que separa a água fria resultante do afloramento junto ao cabo de S. Vicente e a água mais quente situada a leste e ao largo. A baía de Lagos surge neste contexto como uma região costeira onde a TSM é relativamente elevada, sujeita a episódios de arrefecimento associados ao aumento da área abrangida pelas águas mais frias que se estendem para leste a partir do Cabo de S. Vicente (Relvas et al., 2007).

O registo de valores elevados da concentração de fitoplâncton tóxico de origem tropical e sub-tropical, da espécie *Ostreopsis cf. ovata*, na praia de D. Ana em 2011 (David et al., 2012) vieram colocar a hipótese da expansão para norte da área ocupada por aquela espécie, observada tipicamente a latitudes menos elevadas. Por seu turno, a constatação de que as maiores concentrações se observaram na parte oeste da baía de Lagos indicam que as condições aí observadas deverão ser particularmente favoráveis à sua proliferação.

Neste trabalho são apresentados os resultados das observações realizadas junto à Ponta da Piedade durante o verão de 2015, com o objectivo de caracterizar a estrutura vertical e a variabilidade temporal da corrente costeira, assim como validar as soluções dos modelos numéricos publicamente disponíveis para o barlavento Algarvio.

2. DADOS

As observações do perfil da corrente entre os 11.5 e os 26.5 m de profundidade foram efectuadas com um correntómetro acústico ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) RDI/Teledyne WH Sentinel 1200 kHz, fundeado junto à bóia de sinalização da aquacultura "Algarve *Offshore Seashells*" da empresa Testa e Cunhas, situada a 0.9 milhas da Ponta da Piedade sobre a isóbata dos 30 m (Fig.1). O equipamento foi configurado para a medição do perfil de correntes com uma resolução vertical ("Depth cell size") de 3 m e uma taxa de amostragem de 10 min, sendo cada amostra (ensemble) calculada a partir de 120 pulsos ("water pings"), o que resulta num desvio padrão estimado de 0.15 cm/s. O equipamento foi fundeado no dia 30 de junho de 2015 e recuperado no dia 19 de novembro de 2015, correspondendo a uma série temporal de 142 dias de perfis de corrente. Para análise da variabilidade sub-inercial foi aplicado um filtro "passa-baixas" com um período de corte de 40 horas sobre os valores médios horários, utilizando a função "ls_l_lowpass" do programa Ferret (Hanking et al., 1996).

Para o estudo dos padrões da temperatura da superfície do mar (TSM) utilizaram-se as imagens diárias da análise MUR - *Multiscale Ultrahigh Resolution* - (MUR, 2016), versão 4.1, disponíveis no arquivo PODAAC (*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*) do *Jet Propulsion Laboratory* da NASA.



Fig. 1. Localização do ADCP a 0,9 milhas da Ponta da Piedade, fundeado sobre a isóbata dos 30 m.

As soluções dos modelos numéricos utilizadas foram obtidas a partir do serviço europeu CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*) e dos grupos nacionais de modelação da circulação oceânica que disponibilizam os resultados numéricos dos seus modelos de forma operacional na internet: o Grupo de Modelação Oceânica – GMO do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e CESAM (Centro de Estudos do Ambiente e do Mar), e o Centro de Ambiente e Tecnologia Marinha - MARETEC do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. O serviço CMEMS disponibiliza soluções diárias do modelo NEMO com uma resolução horizontal de $1/36^\circ$ (~2.5km) e uma resolução vertical variável em profundidade, com 15 níveis até aos 30 m. O GMO disponibiliza soluções do modelo ROMS (*Regional Ocean Modeling System*) com uma resolução temporal de 12 horas, uma resolução horizontal de cerca de 3 km e cinco níveis verticais: 1, 10, 50, 100 e 1000 m. As soluções produzidas pelo MARETEC baseiam-se no modelo MOHID e são disponibilizadas com uma resolução temporal de 3 horas, com um espaçamento horizontal de cerca de 5 km e uma resolução vertical semelhante ao modelo NEMO, com 15 níveis até aos 30 m.

Para análise do forçamento atmosférico utilizaram-se os dados de vento aos 10m das reanálises “ERA-interim” do Centro Europeu de previsão a médio prazo (ERA - ECMWF - *European Centre for Medium-range Weather Forecasts - ReAnalysis*). As reanálises ERA-interim são disponibilizadas publicamente com uma resolução espacial de 25 km e temporal de 6 horas. A tensão do vento foi calculada a partir do vento aos 10m utilizando a parametrização em bloco descrita por Schwing et al. (1996).

3. RESULTADOS

As observações efectuadas com o ADCP mostram que a circulação costeira sub-inercial nas proximidades da Ponta da Piedade (Fig. 2) é dominada pela componente ao longo da batimetria, orientada na direcção E-W. No que respeita à variação temporal, o regime das correntes tem um carácter intermitente, com episódios de corrente superior a 0.1 m/s com durações tipicamente de 2-3

dias, sendo frequente a inversão rápida (< 12h) no sentido da corrente, passando de valores elevados (> 0.1 m/s) num sentido para valores igualmente elevados no sentido contrário (e.g. 13 setembro). Para além da diferença de intensidade, a distribuição vertical das componentes longitudinal e transversal à costa também possuem características distintas, observando-se um claro padrão de maior homogeneidade da componente longitudinal com uma intensificação nos níveis superiores, em contraste com heterogeneidade da componente transversal onde se registam alguns episódios de valores mais elevados junto ao fundo (e.g. 4 e 14 setembro, 6 outubro, 7 novembro), sendo dirigidos para o largo e associados aos máximos de intensidade de corrente para leste. Focando a análise nos episódios de corrente superior a 0.1 m/s e duração superior a 2 dias, verifica-se que entre o início de julho e meados de novembro ocorreram 7 episódios de levante (corrente para Oeste) e 7 episódios de corrente para leste. Os eventos de levante foram geralmente mais prolongados, com um máximo de 5 dias registado entre os dias 17 e 21 de outubro. Relativamente à distribuição vertical, verifica-se uma assimetria entre os dois tipos de evento, sendo que nos períodos de corrente para leste o perfil vertical é mais homogéneo, com correntes elevadas junto ao fundo. Durante os eventos de levante as correntes mais intensas estão geralmente confinadas aos primeiros 20 m de profundidade, com excepção do episódio particularmente intenso de meados de outubro em que a componente sub-inercial junto ao fundo atingiu valores superiores a 0.15 m/s no dia 20.

Dada a curta duração dos episódios, a inversão do sentido da corrente não corresponde necessariamente a alterações significativas na distribuição da TSM no barlavento Algarvio. Por exemplo, distribuição da TSM para os dias 31 de julho e 29 de setembro, que correspondem respectivamente a episódios de corrente para leste e de levante, apresentam padrões semelhantes (Fig. 3), tanto nas análises MUR, baseadas em dados de satélite (à esquerda), como nas soluções do modelo CMEMS/NEMO (à direita). Nas duas situações a distribuição da TSM é semelhante, sendo dominada pelo núcleo de água fria que estende para leste a partir do Cabo de S. Vicente até à baía de Lagos. Todavia, os padrões da corrente aos 10 m do modelo CMEMS/NEMO (vectores sobrepostos na TSM do modelo, à direita) são totalmente distintos.

Tendo em vista a utilização dos modelos numéricos para o estudo do transporte de plâncton importa validar as soluções dos modelos relativamente à intensidade das componentes da corrente. Na Fig. 4 apresentam-se as séries temporais de vento e corrente aos 15 m, observadas com o ADCP e extraída dos modelos numéricos disponíveis. Os valores estatísticos para a o desvio médio (bias) e a

raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE), entre os modelos as observações, são apresentados na Tabela I.

Tabela I. Parâmetros estatísticos de comparação entre as componentes da velocidade da corrente calculada pelos modelos de circulação e as velocidades medidas com o ADCP aos 15 m, entre 1 julho 2015 e 18 novembro de 2015 ao largo da Ponta da Piedade.

Modelo	U (m/s)		V (m/s)	
	Bias	RMSE	Bias	RMSE
CMEMS NEMO	-0.06	0.12	-0.01	0.04
MARETEC MOHID	-0.02	0.09	0.01	0.02
GMO ROMS	-0.05	0.12	0.00	0.02

4. CONCLUSÃO

As observações efectuadas mostraram uma elevada variabilidade temporal das correntes costeiras junto à Ponta da Piedade, alternando entre episódios de corrente para leste e de sentido contrário (levante). Este padrão foi também observado por Garel et al. (2016) que analisaram cerca de 18 meses de observações horárias realizadas com um ADCP fundeado a 23 m de profundidade a leste do Cabo de Santa Maria, no sotavento algarvio.

A comparação entre os dados do ADCP e os modelos numéricos mostrou uma diferença significativa entre as soluções dos modelos e as observações. Os resultados mostram a necessidade de utilizar configurações dos modelos numéricos que permitam resolver os processos da zona costeira, caracterizada por uma elevada variabilidade espacial e temporal. Neste contexto, a costa sul de Portugal continental, e em particular o barlavento algarvio, apresenta-se como uma região complexa, sendo necessário utilizar elevadas resoluções espaciais para resolver particularidades da circulação resultante do afloramento costeiro no Cabo de S. Vicente, durante o regime de nortada, e a circulação associada aos ventos de levante (Teles-Machado et al., 2007) e aos gradientes de pressão ao longo da costa (Garel et al., 2016). Atendendo aos estudos recentes que mostram que alguns processos atmosféricos na zona costeira só são adequadamente representados em modelos meteorológicos de alta resolução (< 10 km) (Monteiro et al., 2016), e que esses processos são relevantes para circulação oceânica (Renault et al., 2012), o requisito para a utilização de elevadas resoluções espaciais estende-se aos modelos atmosféricos utilizados para forçar os modelos da circulação oceânica.

Agradecimentos

Este trabalho realizou-se no âmbito da bolsa de doutoramento de Mariana Santos do programa doutoral “EarthSystems” (FCT) intitulado “*Harmful Algal Blooms (HABs) in a changing world: the case of S and W Iberian Bays*”.

À empresa Testa e Cunhas (<http://testacunhas.com/>), em particular ao Eng. A.M. Cunha por toda a colaboração prestada, em particular o apoio logístico para os trabalhos de mar de colocação e levantamento do ADCP. Ao André Ferreira pelo apoio nas operações de mergulho para fundeamento e recuperação do ADCP.

Os dados CMEMS foram obtidos a partir de <http://marine.copernicus.eu>. Os dados ECWMF ERA Interim a partir de <http://www.ecmwf.int/>, e os dados MUR SST do arquivo PO.DAAC do JPL <https://podaac.jpl.nasa.gov/>, <http://mur.jpl.nasa.gov>.

As soluções dos modelos numéricos desenvolvidos pelo Grupo de Modelação Oceânica da Universidade de Aveiro e MARETEC/IST foram obtidas, respectivamente, dos servidores threads disponíveis a partir de <http://gmo.web.ua.pt/> e <http://forecast.maretec.org/maps/>. A análise de dados e figuras foram realizadas utilizando o programa Ferret, um produto do PMEL - Pacific Marine Environmental Laboratory da NOAA, disponível em <http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/>.

REFERÊNCIAS

- David H., A. Laza-Martínez, E. Orive, A. Silva, M.T. Moita, M. Mateus & H. de Pablo (2012). First bloom of *Ostreopsis cf. ovata* in the continental Portuguese coast. IOC-UNESCO/Harmful Algae News, nº45.
- Garel, E.; Laiz, I.; Drago, T. e Relvas, P. (2016). Characterisation of coastal counter-currents on the inner shelf of the Gulf of Cadiz *Journal of Marine Systems*, 155, 19-34.
- Hankin, S., Harrison, D.E., Osborne, J., Davison, J. e O'Brien, K., (1996). A Strategy and a Tool, Ferret, for Closely Integrated Visualization and Analysis. *The Journal of Visualization and Computer Animation* 7, 149-157.
- Monteiro, I. T., A. J. Santos, M. Belo-Pereira e P. B. Oliveira (2016). Adjustment of the summertime marine atmospheric boundary layer to the western Iberia coastal morphology, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2016JD025055.
- Relvas, P.; Barton, E.; Dubert, J.; Oliveira, P. B.; Peliz, A.; da Silva, J. e Santos, A. M. P., 2007. Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: Latest views and challenges *Progress in Oceanography*, 74, 149 – 173.
- Renault, L., Dewitte, B., Marchesiello, P., Illig, S., Echevin, V., Cambon, G., Ramos, M., Astudillo, O., Minnis, P., Ayers, J. K., 2012. Upwelling response to atmospheric coastal jets off central Chile: A modeling study of the october 2000 event. *J. Geophys. Res.* 117 (C2), C02030–, doi: 744 10.1029/2011JC007446.

Schwing, F. B., M. O’Farrell, J. M. Steger, and K. Baltz (1996), Coastal upwelling indices, West Coast of North America, 1946 – 1995, NOAA Tech. Memo. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-231, 144 p.

Teles-Machado, A.; Peliz, Á.; Dubert, J. e Sánchez, R. F. (2007). On the onset of the Gulf of Cadiz Coastal Countercurrent Geophys. Res. Lett., AGU, 34, L12601.

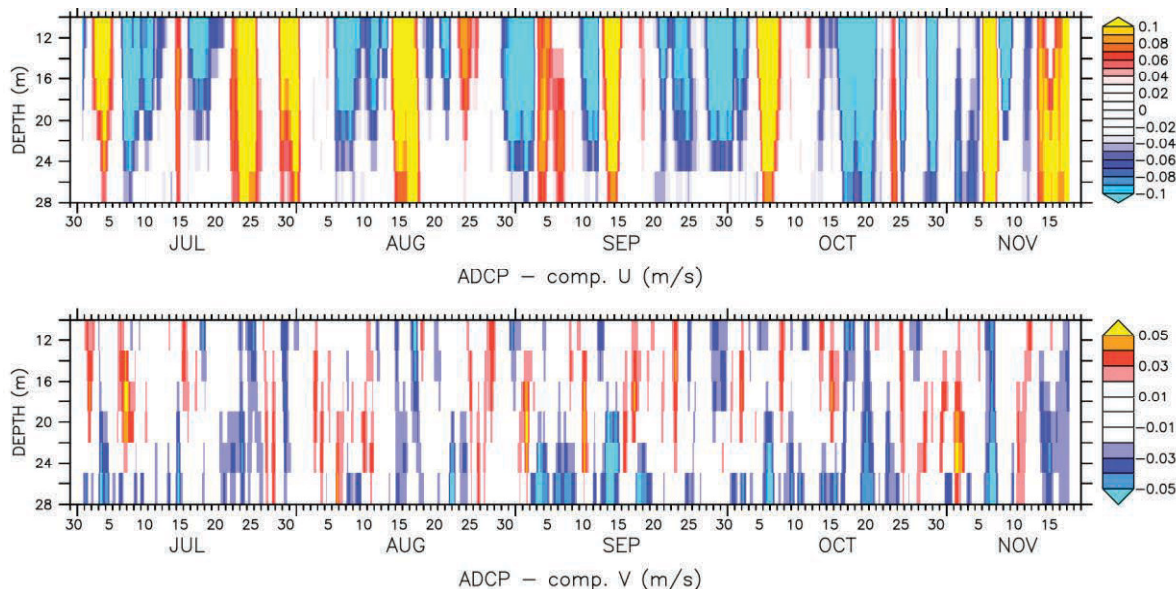


Fig. 2. Série temporal das componentes da corrente sub-inercial observada com o ADCP. Os limites da escala de cor foram seleccionados por forma a evidenciar os eventos de corrente mais elevada e as flutuações no sentido da corrente. As cores quentes representam valores positivos (corrente para leste na componente U e corrente para norte na componente V) e as cores frias representam valores negativos. Note-se que para a componente U (em cima) os limites da escala de cor são o dobro dos limites para a componente V (em baixo).

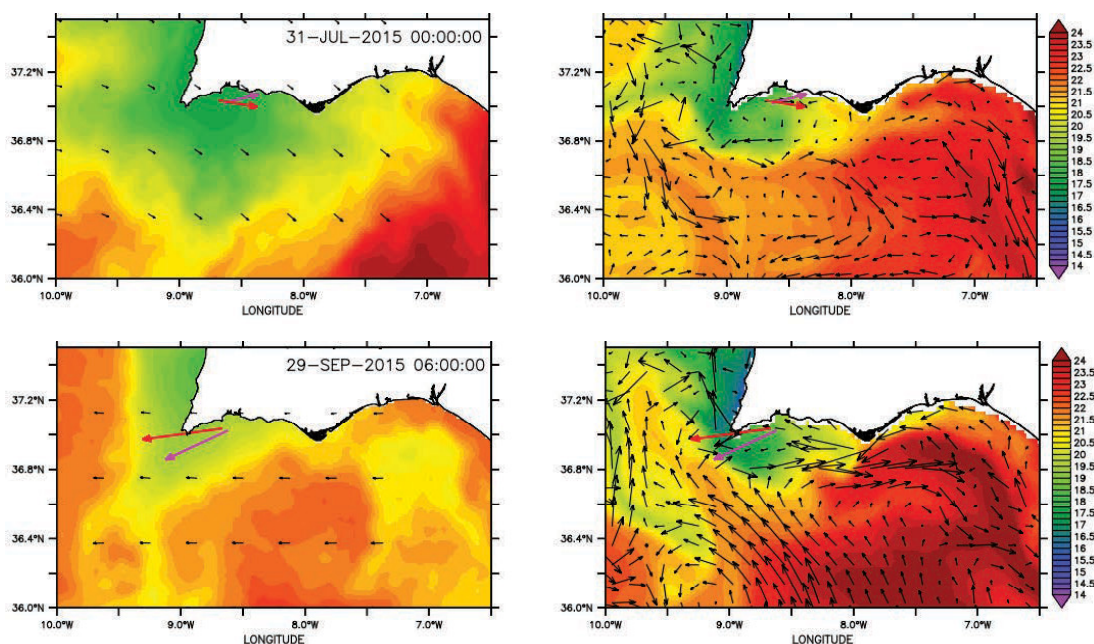


Fig. 3. Mapas da TSM para os dias 31 de Julho (em cima) e 29 de Setembro de 2015 (em baixo), relativos a episódios de corrente intensa para leste e para oeste, respectivamente. À esquerda está representada a distribuição da TSM resultante da análise MUR e os ventos ECMWF/ERA interim, e à direita a temperatura e corrente de superfície do modelo CMEMS/NEMO. Os vectores a cor representam a corrente observada com o ADCP aos 15m (a vermelho) e a solução do modelo CMEMS/NEMO correspondente (a púrpura).