

DETECÇÃO E MAPEAMENTO DA DESCARGA DE EFLUENTE PROVENIENTE DUM EMISSÁRIO SUBMARINO UTILIZANDO UM VEÍCULO SUBMARINO AUTÓNOMO

Patrícia RAMOS

Assistente, ISCAP-IPP, Rua Padre Costa, 4465-111, S. Mamede Infesta, Porto, +351.229050000, patricia@iscap.ipp.pt

Investigadora, FEUP, ISR, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, +351.22.5081539, patricia@fe.up.pt

Fernando L. PEREIRA

Professor, FEUP, ISR, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, +351.22.5081976, flp@fe.up.pt

Isabel QUINTANEIRO

Eng^a. Química, SIMRIA, Rua Capitão Sousa Pizarro, nº 60, 3810-076, Aveiro, +351.234.378263, i.quintaneiro@simria.pt

RESUMO

O Veículo Submarino Autónomo (VSA) Isurus constitui uma tecnologia de vanguarda ao nível da monitorização ambiental. A possibilidade de recolha de dados com elevada resolução e grande rapidez constitui uma das muitas vantagens que apresenta em relação aos métodos de medição *in-situ* tradicionais. A monitorização ambiental de efluentes provenientes de emissários submarinos constitui uma das aplicações em que pode trazer mais valias, quer ao nível do controlo do meio ambiente, quer ao nível da avaliação do desempenho do próprio emissário. Nesta publicação descreve-se uma missão de monitorização ambiental a um Emissário Submarino utilizando o VSA Isurus focando-se em especial os resultados obtidos e a estratégia de recolha de dados utilizada, que se baseia na utilização de um modelo de previsão da dispersão.

Palavras Chave: Veículos Submarinos Autónomos, Águas Residuais, Exutores Submarinos, Estratégia de Monitorização.

1 – INTRODUÇÃO

O Veículo Submarino Autónomo (VSA) Isurus constitui uma tecnologia de vanguarda ao nível da monitorização ambiental e aquisição de informação subaquática. A sua dimensão e peso reduzidos tornam-no facilmente operável sem grande apoio logístico adicional, podendo ser utilizado em rios, estuários e zonas costeiras até uma profundidade máxima de 200 m.

Os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs), pela relativa facilidade de operação e capacidade de recolha de grandes quantidades de dados, de natureza muito diversa, a diferentes profundidades e com grande rapidez, constituem uma tecnologia de vanguarda para monitorização ambiental e em particular podem ser utilizados com elevado sucesso na avaliação das condições de funcionamento dos emissários submarinos (RAMOS *et al.*, 2000).

Esta publicação diz respeito a uma missão de monitorização ambiental ao Emissário Submarino de S. Jacinto utilizando o VSA Isurus levada a cabo pela equipa do Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em Julho de 2002, com a colaboração e apoio logístico do Instituto Hidrográfico (IH).

O principal objectivo desta campanha de monitorização consistiu na recolha de dados relevantes para a detecção e o mapeamento da pluma de efluente proveniente do Emissário Submarino. Utilizando os dados de temperatura, condutividade e profundidade, que recolhe continuamente a partir do sensor CTD que mantém a bordo durante a execução da missão, é possível efectuar um mapeamento da pluma. Dada a autonomia que o veículo mantém durante a execução da missão, a caracterização espacial da pluma através de dados hidrológicos só é possível uma vez que em cada instante este consegue determinar a sua posição com elevada precisão.

A caracterização da estrutura da pluma quando estabilizada inclui a determinação da sua altura máxima de ascensão, espessura bem como altura ao nível da diluição mínima. Estes dados permitem ainda o cálculo do valor da diluição inicial proporcionada pelo Emissário e consequente avaliação do nível de eficiência do seu funcionamento. Simulações do comportamento da pluma executando modelos matemáticos de previsão com os dados recolhidos nas várias campanhas já realizadas permitiram, além da sua caracterização geral, delimitar aproximadamente a zona de mistura inicial onde se deveria efectuar a monitorização e definir quer o comprimento das trajectórias a efectuar pelo Isurus quer a resolução necessária para o mapeamento (RAMOS *et al.*, 2001).

Dada a necessidade de algum conhecimento do posicionamento da pluma para a definição exacta da missão, esta só foi perfeitamente determinada pouco antes do seu início. Utilizando os dados de perfis de CTD e ADCP obtidos pouco antes de se dar início à missão, foi executada uma aplicação que definiu exactamente a zona a percorrer, as trajectórias a efectuar e as profundidades a considerar para se proceder ao mapeamento e à determinação da diluição inicial.

Na secção que se segue é apresentada em pormenor esta estratégia de monitorização especialmente concebida para a detecção da pluma utilizando o VSA Isurus. Na terceira secção é feita uma descrição da missão e são nomeadamente descritas as aplicações utilizadas na campanha. Na quarta secção são apresentados os resultados obtidos e de seguida na quinta secção são tecidas algumas conclusões. Terminamos esta publicação agradecendo às entidades de alguma forma envolvidas nesta campanha e sem o apoio das quais o sucesso desta missão estaria à partida comprometido.

2 –ESTRATÉGIA DE MONITORIZAÇÃO

Uma missão eficiente de detecção e mapeamento dum pluma proveniente dum Emissário Submarino através da utilização de um veículo submarino autónomo, requer, tal como qualquer outro sistema de monitorização, uma estratégia de recolha de dados que concentre a área de inspecção à zona de difusão da descarga. A estratégia utilizada para a monitorização do Emissário Submarino de S. Jacinto utilizando o VSA Isurus encontra-se esquematizada na Figura 1.

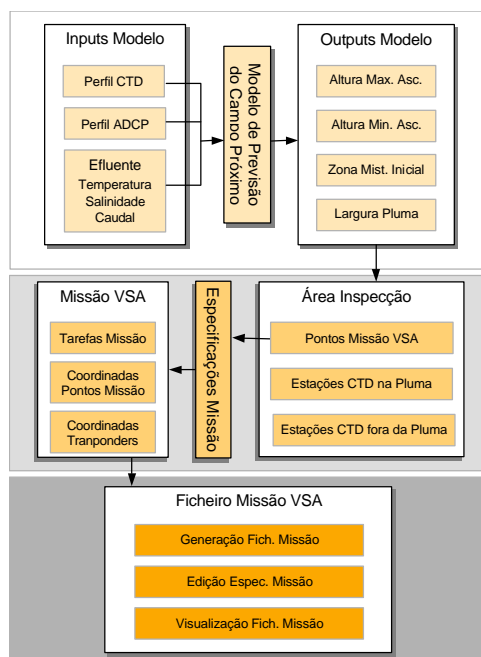


Figura 1 – Estratégia de monitorização.

Tal como se pode observar pela primeira camada deste esquema, por forma a reduzir a incerteza acerca da localização da pluma e concentrar a missão do veículo apenas na zona da dispersão, utilizaram-se os resultados dum modelo de previsão do campo próximo (ROBERTS *et al.*, 1989abc) para especificar as trajectórias da missão. Estes resultados consistiram essencialmente nas grandezas que caracterizam espacialmente a pluma no final do campo próximo e são nomeadamente, as alturas máximas e mínimas de ascensão, a altura ao do nível da diluição mínima bem como a largura e o comprimento da zona de mistura inicial.

Para se proceder á simulação do posicionamento da pluma na coluna de água é necessário ter conhecimento de um perfil de densidade da zona da descarga bem como de um perfil da intensidade e direcção das correntes.

A área de inspecção definida tendo por base os limites da extensão da pluma extraídos dos resultados do modelo de simulação consistiu nos pontos de delimitação da missão do VSA Isurus e nas estações de CTD a efectuar dentro e fora da zona de dispersão da pluma. Os perfis obtidos fora da zona de dispersão da pluma são essenciais para servirem de comparação com os resultados obtidos pelo veículo, de forma a que se possa reconhecer a pluma nesses mesmos resultados. Os perfis obtidos na zona de dispersão são importantes para a calibração dos dois sensores utilizados para uma comparação objectiva dos resultados.

A especificação da missão do VSA Isurus, utilizando os pontos que delimitam a área de monitorização, passa pela determinação das coordenadas destes pontos bem como das tarefas que terá de desempenhar. Esta informação é passada para a terceira camada onde é gerado o ficheiro da missão e onde podem ser visualizadas as especificações da mesma para possível correcção.

A dificuldade de implementação desta estratégia de monitorização face às condições extremamente adversas do meio conduziu ao desenvolvimento de duas aplicações especialmente criadas para o efeito que permitissem a sua execução. Na secção que se segue ver-se-á como estas aplicações foram utilizadas na campanha de monitorização ao Emissário Submarino de S. Jacinto.

3 – DESCRIÇÃO DA MISSÃO

Nesta secção descreve-se todo o procedimento logístico levado a cabo durante a execução da missão de monitorização ao Emissário Submarino de S. Jacinto utilizando o VSA Isurus.

3.1 Execução dos Perfis de CTD e ADCP

Segundo informação do Instituto Hidrográfico, no dia anterior o vento soprava de Noroeste de forma que a estação de ADCP foi especificada na posição 500 m a Norte do ponto médio do difusor na direcção perpendicular ao Emissário, supostamente oposta à direcção média da corrente.

Após a aquisição do perfil de correntes, os ficheiros de intensidade e direcção foram integrados na aplicação de monitorização. Um processo interno leu a informação contida nos ficheiros, seleccionou a informação relevante e determinou a velocidade e direcção médias para utilizar nos processos seguintes, nomeadamente na determinação da posição geodésica da estação de CTD a efectuar de seguida. Estes valores médios depois de calculados podem ser visualizados na aplicação para mera informação. Os valores médios de intensidade e direcção das correntes obtidos foram respectivamente de 13.164 cm/s e 176.1378 °C (ver Figura 2).

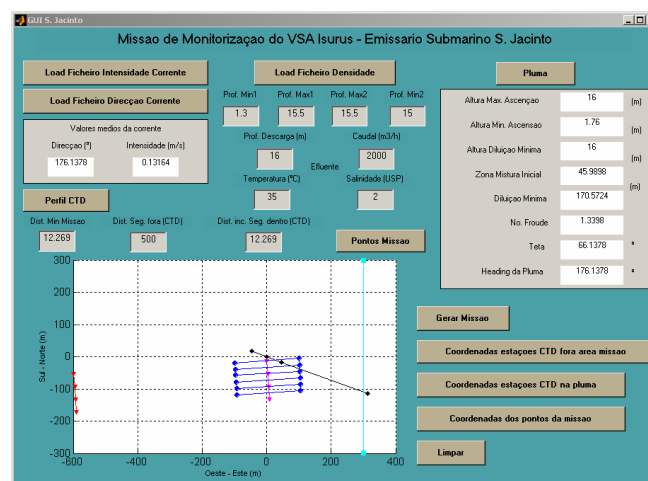


Figura 2 - Definição da área de inspecção.

Após a determinação destes valores médios e clicando no botão de "Perfil CTD" foi possível determinar as coordenadas da posição geodésica onde deveria ser efectuado o perfil de CTD. Esta

posição, internamente calculada pela aplicação, é determinada a uma distância de 500 m do ponto médio do difusor na direcção oposta à direcção da corrente.

Tal como já foi brevemente referido os dados de CTD, bem como os de ADCP, são utilizados para integração no modelo de previsão e servem para a caracterização do meio ambiente. Sendo assim, devem ser obtidos numa posição geográfica que não esteja a ser afectada pela presença da pluma.

Após a aquisição do perfil de CTD, o ficheiro de texto obtido foi integrado na aplicação de monitorização através dum processo semelhante ao do efectuado para o ADCP. Uma análise visual da estabilidade do perfil obtido através do gráfico da profundidade permite a selecção dos limites máximo e mínimo que deverão ser considerados para a determinação do perfil de densidade a ser utilizado no processo de simulação.

3.2 Determinação da Área de Inspecção

Para a determinação da previsão do posicionamento da pluma na coluna de água, além da informação acerca das correntes e da estabilidade do meio ambiente são também necessários alguns dados acerca do efluente, nomeadamente o valor do seu caudal à saída do Emissário bem como o valor da sua densidade. O valor da densidade foi calculado pela aplicação de monitorização através dos valores médios de temperatura e salinidade da amostra de efluente composta obtidos pelo Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) no final do dia anterior. O valor do caudal considerado foi de 2000 m³/h e resultou das várias leituras horárias que foram sendo obtidas durante a manhã da missão na Estação de Tratamento e informadas através de conversa telefónica. Após a inserção desta informação na aplicação (ver Figura 2) foram determinadas as características principais da pluma no final do campo próximo.

Os resultados obtidos determinaram que esta estaria a estabilizar à superfície a uma distância de cerca de 46 m do difusor, medidos ao longo da direcção da dispersão, e que a sua diluição aproximada seria de 170:1. Alguns valores sucessivos de referência da largura da pluma em função da distância ao difusor antes e após o final do campo próximo previstos pelo modelo são visualizados na aplicação e permitem a escolha da distância mínima da primeira secção da missão do VSA Isurus.

Tendo o estudo prévio do comportamento da pluma do Emissário de S. Jacinto (RAMOS *et al.*, 2001) revelado que nesta altura do ano a extensão da pluma em largura e comprimento no final do campo próximo não atingiriam respectivamente os valores máximos de 200 e 100 metros foram previamente escolhidas estas dimensões para a área da missão (ver Figura 3).

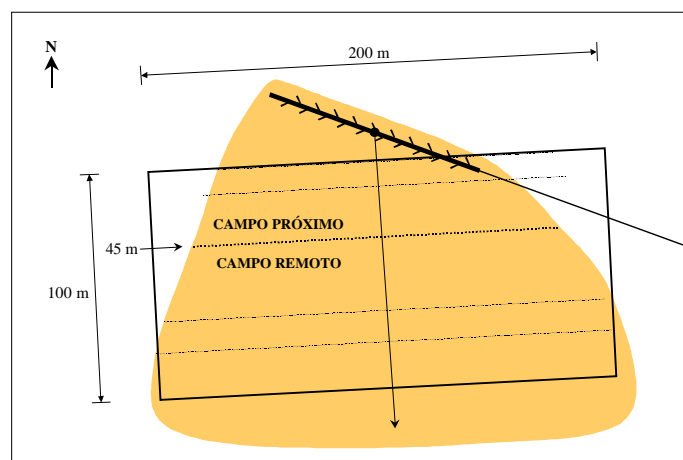


Figura 3 - Posicionamento da pluma na área de inspecção.

No entanto pelas previsões de referência dos sucessivos valores da largura/distância da pluma pôde constatar-se que estas dimensões foram as ideais para a monitorização da pluma no campo próximo.

Tendo em conta as dimensões da área de inspecção e um tempo médio de duração da missão de duas horas foram definidas 6 trajectórias paralelas espaçadas de 20 m e dispostas perpendicularmente em relação à direcção da corrente. Estas 6 trajectórias com um comprimento de 200 m foram efectuadas aos 2, 4, 6, 8, 10 e 12 m de profundidade. Foi considerada uma distância de 12 m medida na direcção da corrente desde o difusor até à trajectória mais próxima do mesmo.

Os pontos extremos que definem as trajectórias a efectuar pelo veículo bem como os pontos inicial, médio e final do difusor são mostrados num gráfico na aplicação para melhor visualização da área da missão (ver Figura 2). Os primeiros estão representados por bolas azuis e os segundos por rectângulos pretos.

Simultaneamente são também definidas as posições das estações de CTD a efectuar fora da área da presença da pluma e na linha central da zona de dispersão. Para a determinação das primeiras é especificada na aplicação a distância a manter entre as mesmas e os pontos extremos das trajectórias mais próximos. Para esta missão foi estipulada uma distância de 500 m. Foram definidas 4 estações de CTD alinhadas na direcção da corrente e espaçadas de 40 m. Estas estações de CTD estão representadas na área de inspecção por triângulos vermelhos.

Seguindo um processo semelhante foram também definidas as estações de CTD da linha central da área de dispersão da pluma. Estas estações foram definidas com o mesmo espaçamento entre si de 40 m e posicionadas na linha central da área da missão, sendo as três primeiras coincidentes com as trajectórias da missão do VSA Isurus. Estas estações de CTD estão representadas na área de inspecção por triângulos rosa.

Dado o elevado número de parâmetros envolvidos na definição do ficheiro da missão do VSA Isurus foi desenvolvida uma outra aplicação, que implementa a última camada da estratégia de monitorização apresentada na Figura 1, tal como já foi brevemente referido, e que permite a geração automática do mesmo.

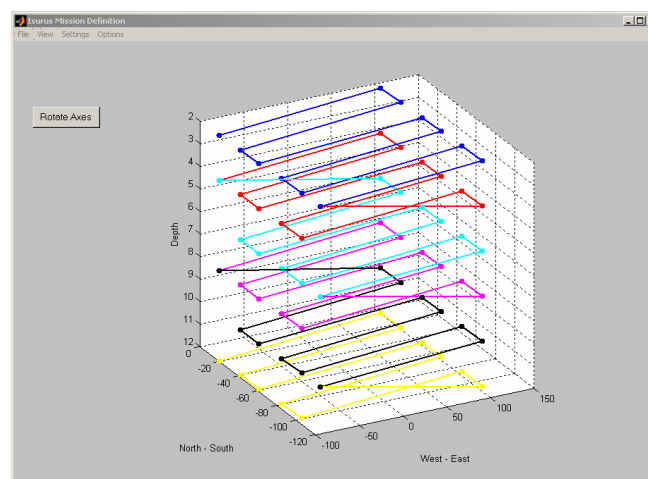


Figura 4 – Especificação da missão.

Esta aplicação (ver Figura 4) recebe, da aplicação de monitorização, os dados e as especificações necessárias para a definição da missão e efectua a geração do ficheiro de acordo com os requisitos de especificação do *software* do veículo. Um gráfico 3D da forma e comprimento das trajectórias a

efectuar pelo veículo, é mostrado na aplicação para melhor visualização da missão. Para diferenciação e melhor visualização, cada uma das trajectórias horizontais executadas à mesma profundidade, é mostrada com uma cor distinta.

Esta aplicação permite também a edição manual dos vários constituintes da missão nomeadamente a localização dos pontos extremos que especificam as trajectórias, a localização dos faróis acústicos e a definição das sucessivas tarefas. Todas estas configurações podem ser guardadas num ficheiro através da aplicação de especificação da missão para poderem mais tarde ser consultadas ou reutilizadas em outras missões.

3.3 Execução da Missão

Após a conclusão deste processo o veículo foi colocado na água para se dar início à missão. Enquanto o veículo procedia à execução da missão foi monitorizada a sua trajectória em tempo real através de um *software* de *tracking*. Não se verificou qualquer anomalia desde o início até ao final da missão que teve tal como se previa uma duração aproximada de duas horas.

Durante a execução da missão do VSA Isurus foram efectuadas as quatro estações de CTD previstas fora da zona de dispersão da pluma. As estações de CTD na zona de dispersão da pluma que estavam previstas executar após a conclusão da missão não foram efectuadas devido ao agravamento das condições atmosféricas.

4 –RESULTADOS

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos na campanha de monitorização ao Emissário Submarino de S. Jacinto.

A Figura 5 mostra um gráfico 3D da trajectória da missão efectuada pelo VSA Isurus. Os dados de localização XYZ apresentados nesta figura resultam do processo interno de estimação da posição que o veículo mantém para a execução da missão segundo a trajectória desejada.

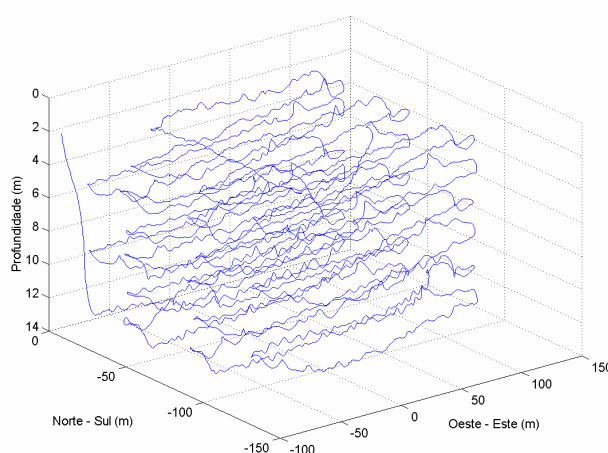


Figura 5 – Trajectória da missão efectuada pelo VSA Isurus.

Tal como previsto, durante a execução da missão foram recolhidas continuamente medidas de temperatura, condutividade e profundidade com o objectivo da detecção e mapeamento da pluma. Utilizando estas três medidas foi possível estimar os valores de salinidade e de seguida usando estas estimativas bem como os dados de temperatura e profundidade foi possível estimar os valores da densidade, em ambos os casos usando FOFONOFF *et al.*, 1983.

Tendo em vista uma melhor visualização e interpretação destas medidas foram consideradas secções horizontais e verticais das mesmas. Os dados em XY das secções horizontais correspondem aos dos percursos efectuados horizontalmente e sequencialmente pelo VSA Isurus às profundidades dos 2, 4, 6, 8, 10 e 12 m, indicadas com cor distinta na Figura 4. Os dados em XZ de cada uma das secções verticais correspondem aos das trajectórias das secções horizontais que estão à mesma distância do difusor (aproximadamente 12, 32, 52, 72, 92 e 112 m), obtidas desde os 2 até aos 12 m de profundidade.

Na Figura 6 e na Figura 7 são apresentados em 2D os resultados de temperatura, salinidade e densidade obtidos a partir da interpolação dos dados de duas das secções horizontais e verticais mencionadas.

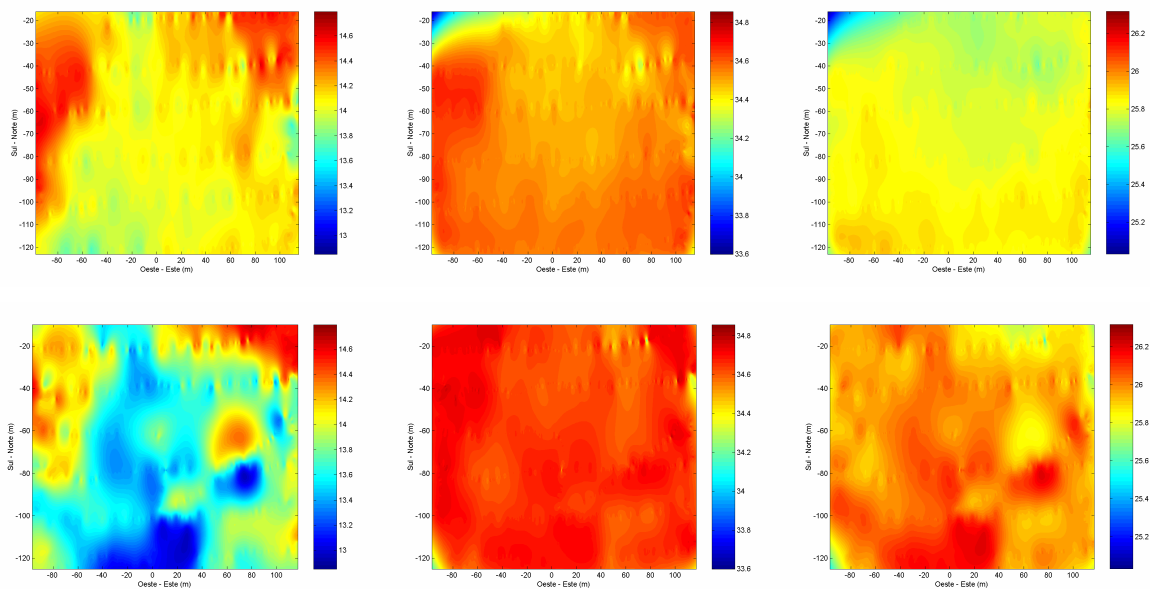


Figura 6 – Temperatura, salinidade e densidade das secções horizontais respectivamente à profundidade dos 2 e 4 m.

Para o caso das secções horizontais foram seleccionadas para apresentação as profundidades dos 2 e 4 m e para o caso das secções verticais foram seleccionadas destas as que se situam à distância de 32 e 112 m do difusor. Em ambos os casos temos em coluna da esquerda para a direita respectivamente os resultados de temperatura, salinidade e densidade. Esta escolha prendeu-se com o facto de serem estas secções que denotam a presença da pluma em situação já estabilizada.

Relativamente às secções horizontais podemos visualizar nestas claramente a presença da pluma pela não homogeneização do perfil e pela clara diminuição de salinidade e densidade no centro do gráfico. Repare-se que estes resultados estão em clara concordância com a previsão dada pelo modelo do posicionamento da pluma na área de inspecção apresentado na Figura 3.

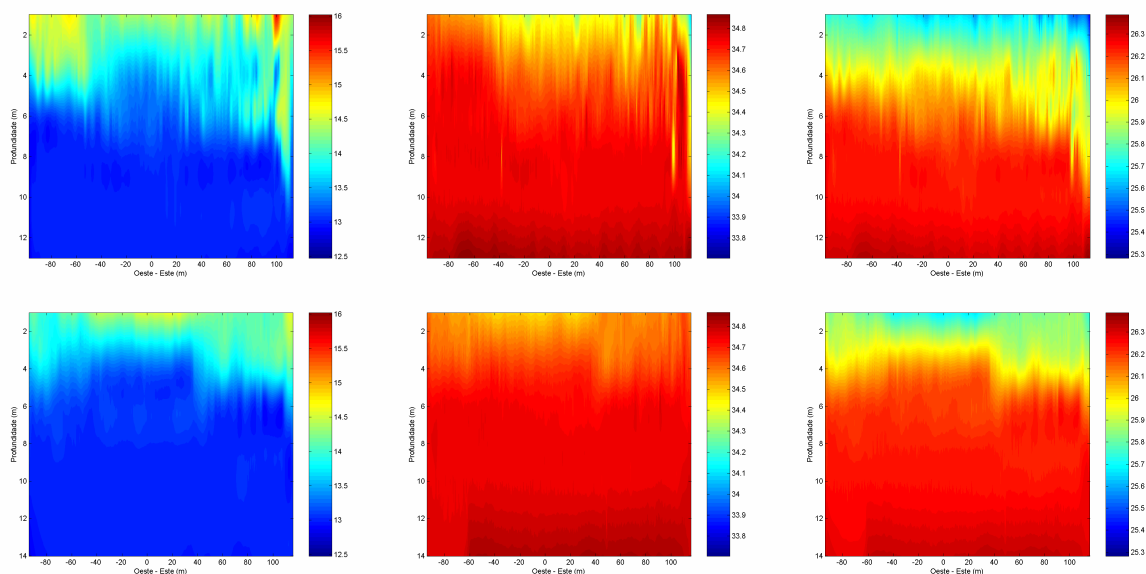


Figura 7 – Temperatura, salinidade e densidade das secções verticais respectivamente à distância de 32 e 112 m do difusor.

Os resultados das secções verticais denotam a pluma estabilizada à superfície, tal como previsto, pela clara diminuição de salinidade e densidade e o aumento de temperatura nesta zona. Este efeito vai sendo diminuindo à medida que a distância ao difusor aumenta, pela natural diminuição da espessura da pluma ao longo do campo remoto.

5 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que os veículos submarinos autónomos constituem uma tecnologia que pode indiscutivelmente ajudar de forma única no acompanhamento e análise de eficiência dos emissários submarinos.

Quer os resultados das secções horizontais quer os das secções verticais comprovam as previsões do modelo utilizado na preparação da missão, indicando que a pluma se encontrava, no dia da campanha, estabilizada próximo da superfície. Segundo estes mesmos resultados o final do campo próximo estaria a uma distância de cerca de 50 m do difusor, sendo esta a distância aproximada a que deve ser avaliada a diluição. Relembre-se que segundo as previsões do modelo este valor seria no dia da campanha de aproximadamente 170:1.

Aguardam-se os dados dos perfis de CTD fora da zona de dispersão bem como os resultados microbiológicos relativos à campanha hidrológica para uma análise definitiva dos resultados obtidos. Pretende-se que esta análise definitiva permita um cálculo aproximado da diluição e uma caracterização mais precisa da pluma.

Nas próximas missões de monitorização que iremos efectuar ao Emissário Submarino de S. Jacinto já serão também obtidos dados de turbidez através de um sensor LSS (*Light Scattering Sensor*) recentemente instalado no veículo. Crê-se que os dados deste possibilitarão ainda uma melhor detecção e mapeamento da pluma.

Este estudo comprovou alguma dificuldade na utilização de traçadores naturais para a detecção e o mapeamento de plumas provenientes de emissários, aliás já demonstrada em estudos similares (WASHBURN *et al.*, 1992, PETRENKO *et al.*, 1998).

Os estudos subsequentes que iremos efectuar ao Emissário comprovarão a necessidade, ou não, de utilização em futuras missões de traçadores artificiais, tais como a *Rhodamine WT*, que apesar da complexidade de operação que implicam têm revelado resultados muito positivos ao nível da detecção e cálculo de diluição das plumas de efluente.

O elevado sucesso dos resultados obtidos ao nível da detecção e mapeamento da pluma de efluente proveniente da descarga do Emissário fazem crer que esta tecnologia poderá conduzir a desenvolvimentos muito significativos no conhecimento dos processos hidrodinâmicos da dispersão.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SIMRIA a oportunidade de realização deste trabalho de Monitorização e toda a colaboração prestada durante a campanha. Um agradecimento muito especial vai para o Instituto Hidrográfico pelo o apoio logístico prestado durante a execução da missão e pela elaboração dos perfis de ADCP e CTD. Finalmente agrade-se-se também ao INETI toda a informação fornecida para caracterização do efluente.

7 - BIBLIOGRAFIA

FOFONOFF N. P.; MILLARD R. C. – "Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater". UNESCO Technical Papers in Marine Science, 1983, No. 44.

PETRENKO A. A.; JONES B. H.; DICKEY T. D. - "Shape and Initial Dilution of Sand Island, Hawaii Sewage Plume". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. **124**, No. 6, 1998, pp. 565-571.

RAMOS P.; NEVES M. V.; CRUZ N.; PEREIRA F. L. - "Outfall Monitoring Using Autonomous Underwater Vehicles". In *Proceedings of MWWD2000 – Marine Waste Water Discharges International Conference*, MWWD 2000, Genova, Italy.

RAMOS P.; CRUZ N.; MATOS A.; NEVES M. V.; PEREIRA F. L. - "Prediction Studies for an AUV Monitoring Mission Plan". In *Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, Medcoast 2001, Hamammet, Tunisia, pp. 1299-1310.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls I: Submerged Wastefield Formation". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. **115**, No. 1, 1989a, pp. 1-25.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. **115**, No. 1, 1989b, pp. 26-48.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls III: Effect of Diffuser Design on Submerged Wastefield". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. **115**, No. 1, 1989c, pp. 49-70.

WASHBURN L.; JONES B. H.; BRATKOVICH A.; DICKEY T. D.; CHEN M.-S. – "Mixing, Dispersion, and Resuspension in Vicinity of Ocean Wastewater Plume". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. **118**, No. 1, 1992, pp. 38-58.