

# **PLANO DA MISSÃO DE MONITORIZAÇÃO AO EXUTOR SUBMARINO DE S. JACINTO UTILIZANDO O VSA ISURUS**

**Patrícia RAMOS**

*Assistente, ISCAP-IPP, Rua Padre Costa, 4465-111, S. Mamede Infesta, Porto, +351.229050000, patricia@iscap.ipp.pt  
FEUP, ISR, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, +351.22.5081539, patricia@fe.up.pt*

**Mário V. NEVES**

*Professor, FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, +351.22.5081864, mjneves@fe.up.pt*

**Fernando L. PEREIRA**

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

## **RESUMO**

A água é um importante recurso natural e uma componente fundamental do ambiente que, como tal, importa proteger, preservar e melhorar. Na perspectiva da protecção da saúde pública, da gestão integrada dos recursos hídricos e da preservação do ambiente, torna-se necessária uma análise periódica das condições do meio aquático. Especificamente no que diz respeito à descarga das águas residuais no mar, é essencial uma monitorização do funcionamento dos sistemas de descarga.

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 sucesso na avaliação das condições de operação dos exutores submarinos.

Nesta comunicação são apresentados estudos para um plano de monitorização ao Exutor Submarino de S. Jacinto (Aveiro), utilizando o VSA Isurus do Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este plano, especificado através das trajectórias da missão a efectuar pelo veículo, baseia-se num estudo de previsão do comportamento da pluma. O estudo foi elaborado com recurso aos modelos de simulação RSB (Roberts, Snyder, Baumgartner), UM3 (Updated Merge three dimensional) e Brooks, utilizando dados ambientais efectivamente medidos durante várias épocas do ano.

A missão de monitorização planeada permitirá o mapeamento da pluma e, nomeadamente, quantificar a sua altura máxima e espessura, bem como determinar a diluição obtida.

É importante referir que até ao momento nunca foi utilizada uma tecnologia com tão elevada capacidade de resolução na recolha de dados relevantes para a identificação de plumas, esperando-se que possa motivar um avanço no conhecimento dos processos de mistura, proporcionando melhores ferramentas para o projecto de exutores submarinos.

## **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.

A possibilidade de recolha de dados com elevada resolução e grande rapidez constitui uma das muitas vantagens em relação aos métodos de medição *in-situ* tradicionais. A monitorização ambiental de efluentes provenientes de exutores submarinos constitui uma das aplicações em que pode trazer mais valias, quer ao nível do controlo do meio aquático, quer ao nível da avaliação do desempenho do próprio exutor, RAMOS *et al.*, 2000.

Espera-se que os sensores de que dispõe a bordo, nomeadamente um CTD (Conductivity, Temperature, Depth), um Altímetro e um Turbidímetro, permitam, não só fazer um mapeamento físico rigoroso da pluma na zona do campo próximo (também designado por zona de mistura inicial), mas também calcular a diluição proporcionada pelo exutor.

Tal como noutros tipos de medição *in-situ*, a utilização do VSA Isurus para a monitorização ambiental requer uma forma eficiente de recolha de dados. No caso particular da observação de plumas de descarga de águas residuais este facto torna-se essencial, uma vez que o seu comportamento é muito dependente da variabilidade das condições oceanográficas. Nesta perspectiva foi elaborado um estudo prévio do comportamento da pluma da descarga do exutor submarino de S. Jacinto, no qual se baseia um plano de missão de monitorização do VSA Isurus que permitirá, não só fazer um mapeamento a 3 dimensões da pluma, mas também o cálculo da diluição proporcionada pelo sistema.

Depois de identificados os dados *in-situ* obtidos na vizinhança do emissário, os quais suportaram e foram utilizados neste estudo, são apresentados os resultados de três modelos de simulação que caracterizam o comportamento da pluma para três épocas do ano: Janeiro, Junho e Setembro. Com base nos resultados obtidos é definido o plano da missão do Isurus, nomeadamente ao nível da profundidade e dimensão das trajectórias que irá desenvolver.

## **2. DADOS AMBIENTAIS UTILIZADOS**

Três factores influenciam o comportamento de plumas de descarga:

- as condições ambientais do corpo receptor da pluma, quer ao nível da estabilidade, quer ao nível da intensidade e direcção das correntes;
- caudal e a composição do efluente;

- as características física do exutor, nomeadamente o comprimento e a profundidade do difusor, bem como o número e dimensão dos orifícios de que dispõe.

Tendo como objectivo a caracterização do comportamento da pluma e análise da sua variabilidade ao longo do ano, foram utilizados os dados ambientais de temperatura, salinidade e corrente disponibilizados pelas campanhas de monitorização ao exutor já realizadas, cuja calendarização foi: 26 de Setembro de 2000, 16 de Janeiro de 2001 e 26 de Junho de 2001. Na Figura 1, podem ver-se as estações oceanográficas relativas a essas campanhas, consideradas neste estudo, referenciadas pela letra A seguida dum algarismo que cresce de 1 a 7, e pelo diminutivo REF relativo a estação de referência.

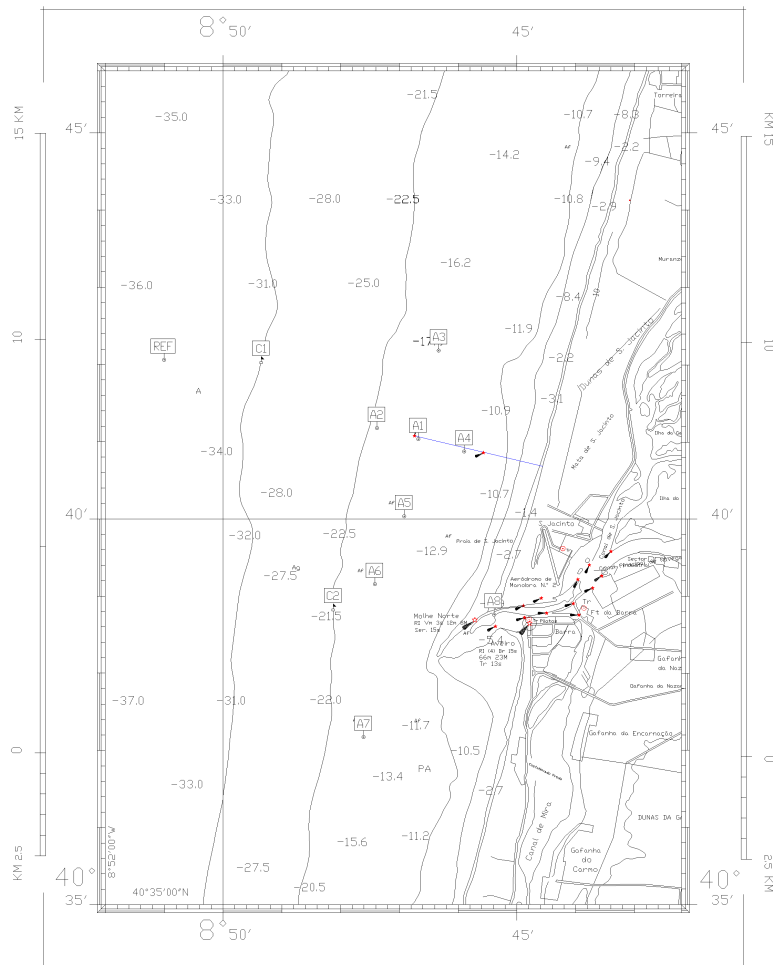


Figura 1 – Estações oceanográficas consideradas no estudo.

Os gráficos da Figura 2 mostram os diagramas T-S e os perfis de turbidez relativos às referidas campanhas. As cores utilizadas para distinguir os perfis dos diagramas T-S das várias estações oceanográficas correspondem às utilizadas nos gráficos de turbidez ao lado. Note-se que em todos os diagramas T-S, o sentido do aumento dos valores de densidade corresponde ao aumento da profundidade, que varia entre a superfície e os 18 m, sendo a resolução das medidas inferior no caso dos dados de Setembro de 2000. A escolha da visualização dos dados através de diagrama T-S deveu-se ao facto de que através dos mesmos é facilitada a visualização da influência dos parâmetros de temperatura e salinidade no perfil de densidade da coluna de água.

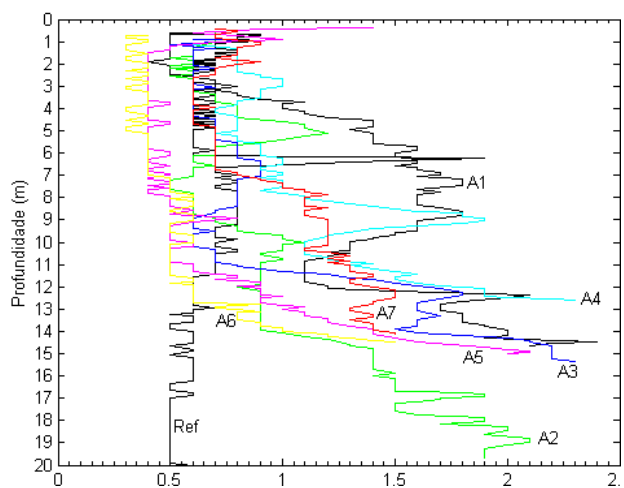
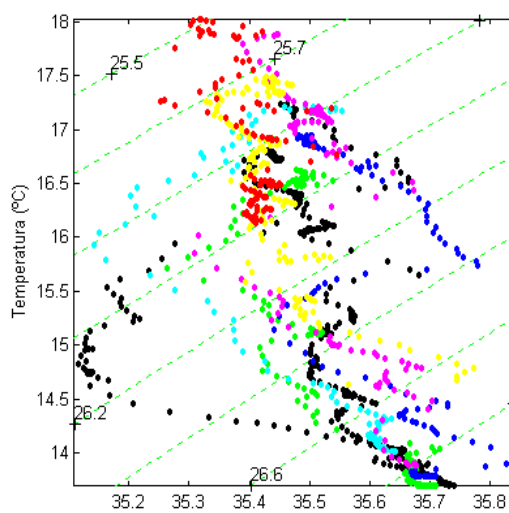
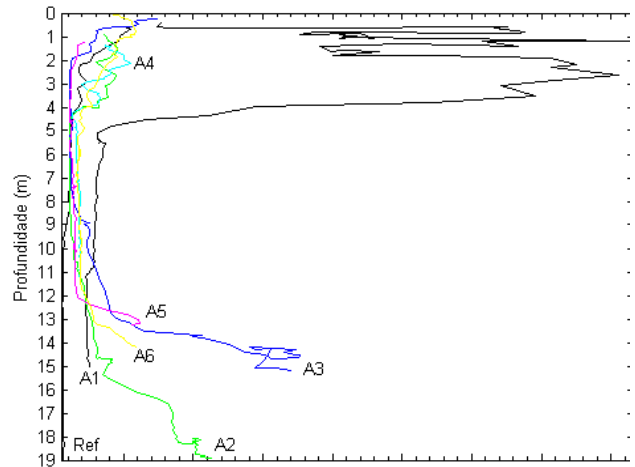
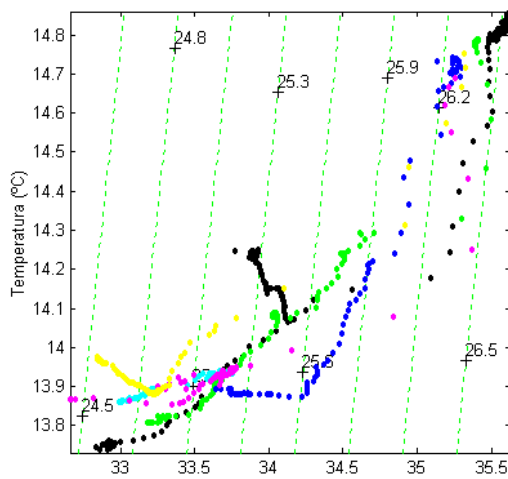
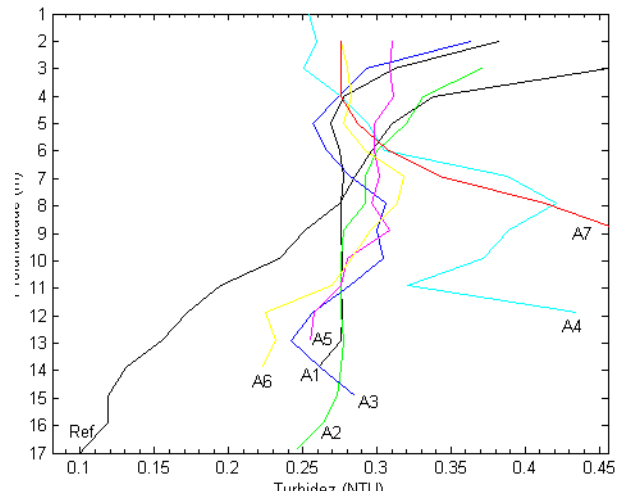
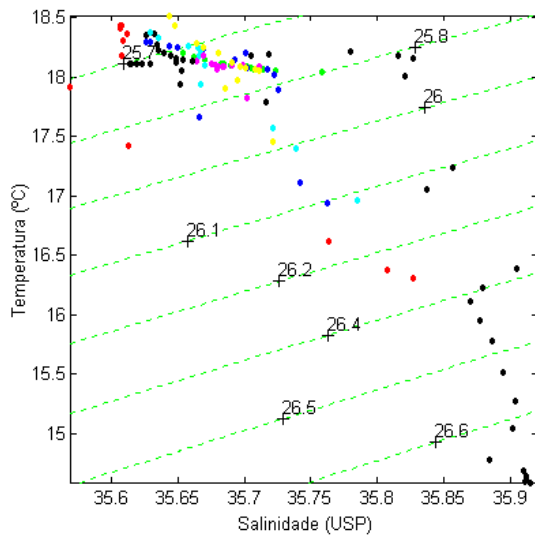


Figura 2 – Diagramas T-S e perfis de turbidez relativos, respectivamente às campanhas de monitorização de Setembro de 2000 e Janeiro e Junho de 2001.

Para a caracterização da estabilidade do ambiente receptor foram utilizados os perfis de densidade das estações A3 e A5, uma vez que são as mais próximas do difusor na sua linha batimétrica respectivamente para Norte e para Sul (a direcção das correntes predominantes como se vai observar mais à frente). Apesar da estação A1 satisfazer os requisitos acima referidos, não foi considerada para este estudo uma vez que se encontra posicionada mesmo em cima do difusor e por conseguinte sob influência directa da pluma, como se pode observar especialmente através dos dados de salinidade e turbidez das várias campanhas relativas a esta estação. Estes dados oceanográficos permitem detectar, com alguma aproximação, a posição da pluma no momento da realização da campanha. Em 26 de Setembro de 2000 essa posição não é clara, parecendo que a pluma se encontra próxima ou à superfície, mas em 16 de Janeiro de 2001 aparenta posicionar-se entre os 2-5 m de profundidade, e em 26 de Junho de 2001 entre os 4 e 10.5 m. Convém no entanto referir que os dados da estação A1 não são por si só suficientes para a definição da posição da pluma, uma vez que, para além de não haver conhecimento da posição da medição relativamente à mancha de dispersão, mesmo que esta se encontre na zona estabilizada, não é garantido que se situe no centro da pluma.

Analisando as densidades relativas às restantes estações observamos que a coluna de água apresenta uma forte estratificação em Janeiro, aproximadamente  $2 \sigma_t$ , a qual diminui em Junho para  $1.2 \sigma_t$  e atinge o valor mínimo em Setembro, aproximadamente  $0.5 \sigma_t$ . Refira-se que, aparentemente, esta corresponde à situação contrária à encontrada em perfis de profundidade superior, que apresentam habitualmente fortes estratificações no Verão e fracas no Inverno, mas provavelmente a forte estratificação encontrada em Janeiro deve-se aos baixos valores de salinidade encontrados nesta profundidade, e as menores estratificações relativamente às esperadas para Junho e Setembro devem-se ao facto de se observarem os valores de densidade a uma profundidade reduzida.

Os dados de correntes utilizados neste estudo foram os de um correntómetro, referenciado por C2 na Figura 1, fundeado na linha batimétrica dos 17 m, a posição mais próxima da profundidade do difusor, no período disponível entre 17 de Janeiro e 5 de Abril de 2001. Os gráficos destes dados encontram-se na Figura 3, divididos pelos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Abril.

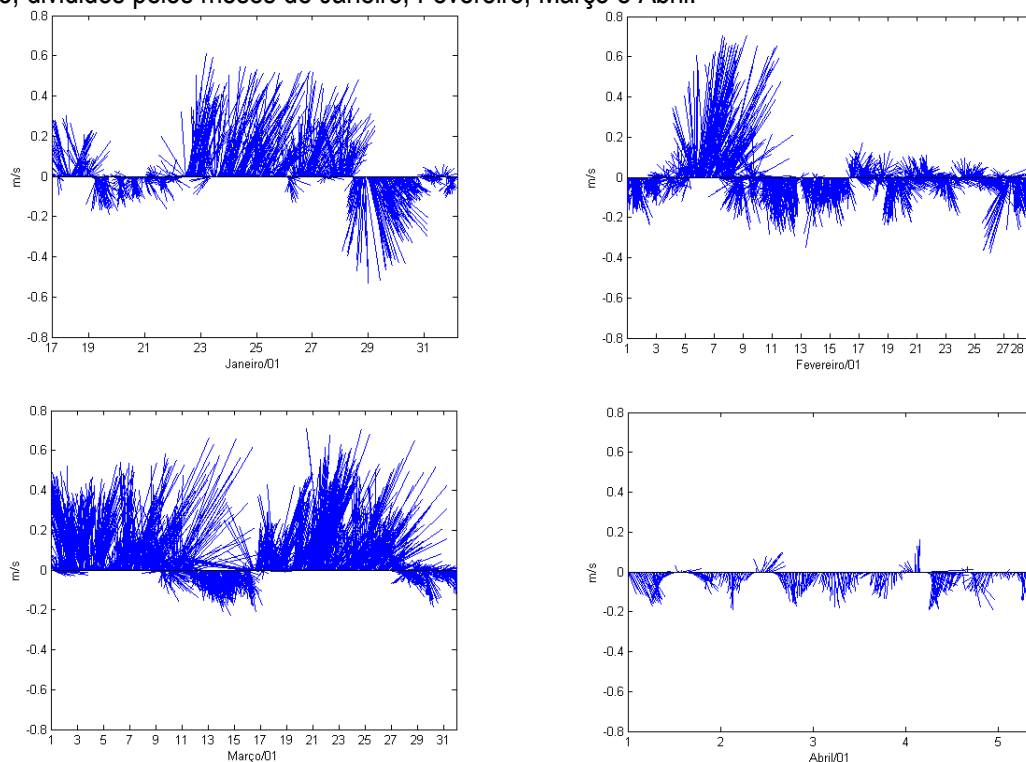


Figura 3 – Dados de corrente aos 17 m relativos ao período de 17 de Janeiro a 5 de Abril de 2001.

Nos mesmos pode-se observar, para cada medida da corrente, cuja frequência são 20 minutos, também a sua direcção e intensidade. As direcções mais frequentes são as paralelas às linhas batimétricas, ou seja, segundo as direcções N-NE e SSE-SSW, com intensidade abaixo dos 0.2 m/s.

Para efeitos de comparação foi considerado neste estudo o caudal do efluente do mesmo período dos dados da corrente, ou seja entre 17 de Janeiro e 5 de Abril de 2001, com uma frequência de 8 horas.

Os valores das determinações físico-químicas e bacteriológicas das amostras de efluente indicam temperaturas de 36-37 °C, salinidade próxima de 0 USP e um valor de coliformes fecais de  $2 \times 10^3$  (UFC/100ml), tendo sido estes os parâmetros integrados nas simulações efectuadas para este estudo. Note-se que o baixo valor de coliformes é devido ao facto de cerca de 90% do efluente ser de origem industrial.

Relativamente à caracterização física do exutor, foram consideradas as especificações actuais do difusor, que mantém 20 orifícios abertos e colocados alternadamente a 30° e a 150° (ângulo com o eixo horizontal) numa tubagem de 98.16 m de comprimento (97.66 m – Troço III e 0.5 m – Troço II), instalado a uma profundidade, que varia naturalmente com a maré, aproximadamente entre os 14 e os 16 m.

### 3. RESULTADOS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Para o estudo do comportamento da pluma no limite do campo próximo, zona junto ao exutor onde esta já estabilizou na coluna de água e inicia o processo de difusão com a corrente oceânica, foram utilizados os modelos de simulação RSB (Roberts, Snyder, Baumgartner), ROBERTS *et al.*, 1989 e UM3 (Updated Merge 3D), FRICK *et al.*, 2000, ambos apoiados pela EPA – Environmental Protection Agency dos EUA.

Para efeitos de comparação dos resultados dos dois modelos foram utilizados, em ambos, os mesmos dados de entrada, já referidos na secção anterior, e indicados no esquema da Figura 4. Os resultados destes modelos, também indicados no esquema, consistem na caracterização da pluma no limite do campo próximo e incluem: a sua altura máxima de ascensão, altura até ao nível de diluição mínima e respectivo valor dessa diluição, espessura e largura, bem como comprimento da zona de mistura inicial.

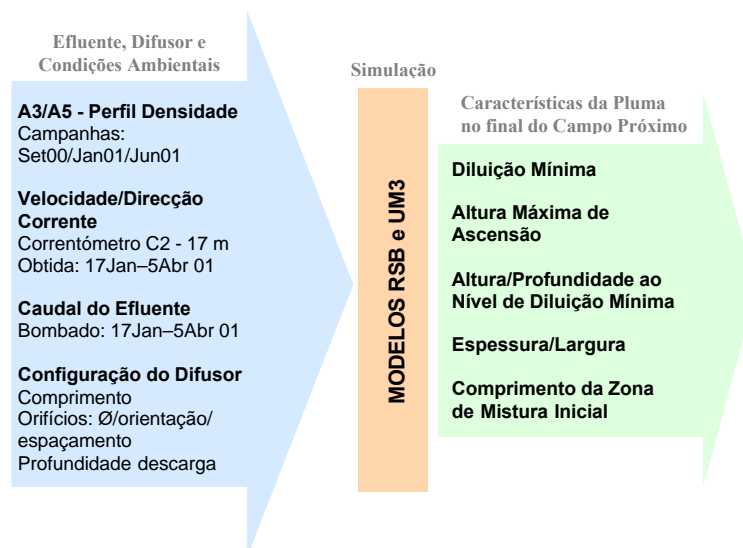


Figura 4 - Esquema de simulação utilizado nos modelos de simulação RSB e UM3.

Cada resultado de uma mesma simulação do modelo RSB ou UM3 foi obtido integrando um perfil de densidades (o da estação A3 ou A5 das campanhas de monitorização de Janeiro, Junho ou Setembro), uma leitura da série temporal da intensidade e direcção da corrente do correntómetro C2, e um valor da série temporal do caudal bombado do efluente, ambas as séries correspondentes ao período de 17 de Janeiro a 5 de Abril de 2001, como já foi referido. Uma vez que a frequência de leitura dos dados de corrente é de 20 minutos e a do caudal bombado é de 8 horas, este último foi assumido constante durante esse período, ou seja, durante 24 simulações consecutivas. Naturalmente, para todas as simulações foi considerada a mesma configuração do difusor, já mencionada. Sendo assim, foram efectuadas no total 6 simulações por cada modelo, duas por cada época do ano correspondentes à utilização do perfil de densidades das estações A3 e A5 relativo aos meses de Janeiro, Junho e Setembro.

Repare-se que em todas as simulações de ambos os modelos foram utilizados os mesmos dados de corrente e caudal, sendo apenas variável o perfil de densidades (assumido constante numa mesma simulação). Considerando esta conjugação dos dados é possível analisar, entre as várias simulações, a variabilidade do comportamento da pluma face à variação do perfil de densidade característico de uma determinada época do ano. Analisando uma determinada simulação, que considera o perfil constante, é também possível observar a oscilação do comportamento da pluma face à variação simultânea da corrente oceânica e do caudal do efluente.

Os gráficos das figuras que se seguem apresentam alguns dos resultados obtidos para o mês de Junho, correspondentes à utilização da estação A3. Relativamente ao modelo RSB mostram-se estimativas da diluição mínima e respectiva altura, das alturas máxima e mínima de ascensão da pluma, bem como o desenvolvimento do campo próximo.

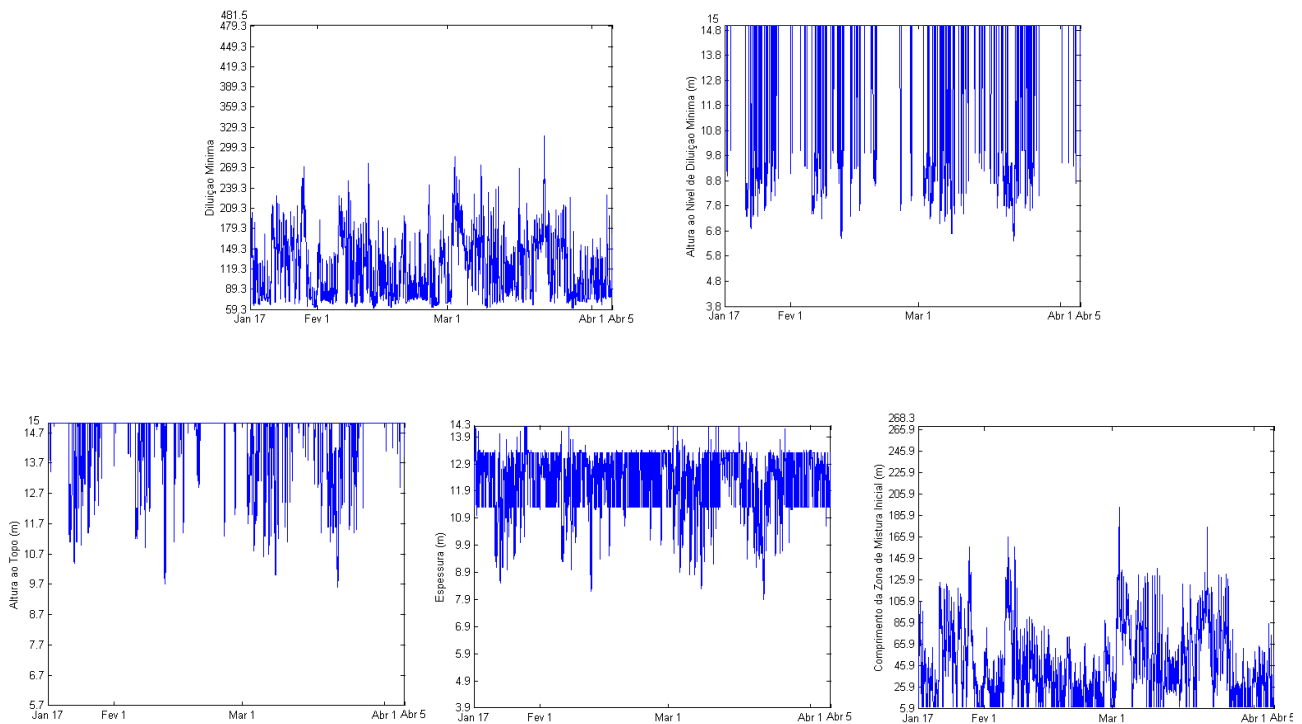


Figura 5 - Estimativas das características da pluma dadas pelo modelo RSB para Junho, relativas à utilização dos dados da estação A3.

Relativamente ao modelo UM3 mostram-se estimativas da diluição mínima e respectiva profundidade, bem como o teor máximo de coliformes fecais/100ml.

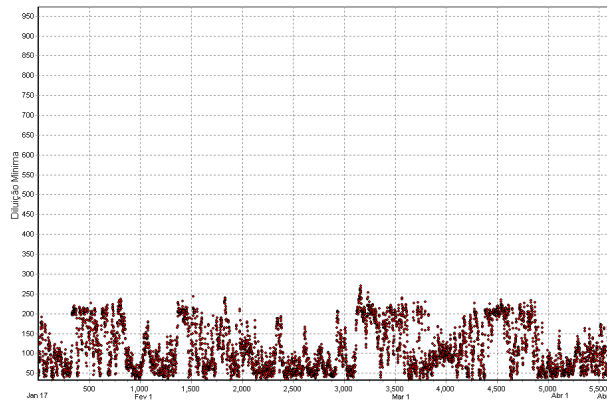


Figura 6 – Estimativa da diluição mínima da pluma dada pelo modelo UM3 para Junho.

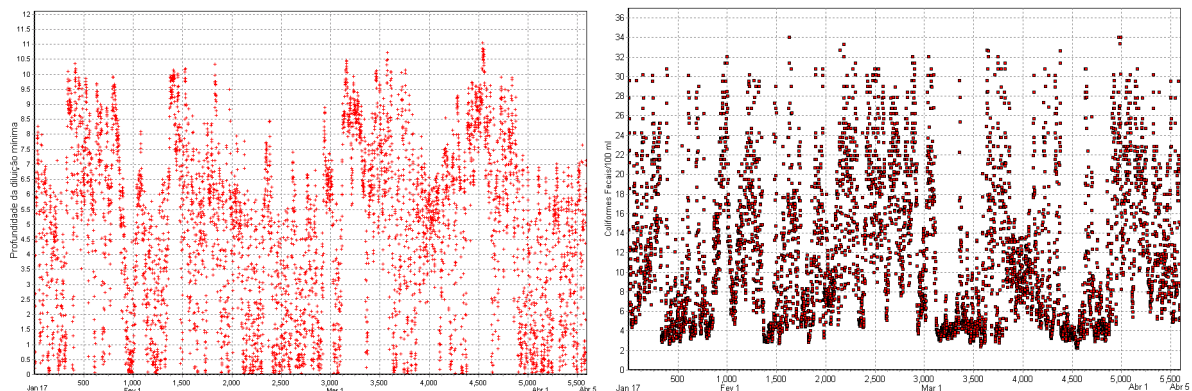


Figura 7 - Estimativas da profundidade para a diluição mínima, bem como teor máximo de coliformes fecais/100ml dadas pelo modelo UM3 para Junho, relativas à utilização dos dados da estação A3.

Para a simulação do comportamento da pluma no campo remoto foi utilizado o modelo de difusão de Brooks (BROOKS, 1960) tendo sido calculados os parâmetros de controlo ambiental para a distância, ao longo da corrente, de 5000 m a partir do final do campo próximo. Estes parâmetros constituem previsões da diluição mínima, da largura da pluma, bem como o teor máximo de coliformes, tal como indica o esquema da Figura 8.

Note-se que a distância para a qual a simulação foi efectuada é aproximadamente igual à distância entre o difusor e a entrada da Barra de Aveiro, de forma que se a direcção da corrente for a da Barra as estimativas correspondem aos valores que presumivelmente se encontrarão nesse local.

Cada simulação do modelo de Brooks foi obtida progressivamente e em simultâneo com a do modelo UM3, utilizando algumas das suas saídas como “inputs”. Estes resultados foram integrados em conjunto com dados da corrente oceânica e valores da taxa de decaimento do poluente considerado. Para a caracterização da corrente foi utilizada a mesma série temporal do correntómetro C2 e para a taxa de decaimento do poluente foram utilizados valores de T90 entre 2 e 3 h.



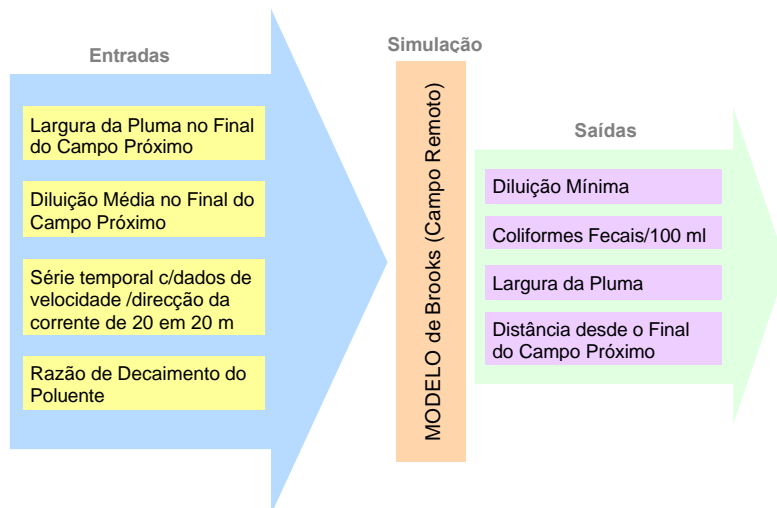


Figura 8 - Esquema de simulação utilizado no modelo de simulação de Brooks.

O gráfico da figura que se segue apresenta os resultados obtidos para o teor máximo de coliformes fecais/100ml presentes na pluma para uma distância de 5000 m a partir do final do campo próximo obtidos para o mês de Junho e relativos à utilização da estação A3, assumindo uma valor para T90 de 2.5 h.

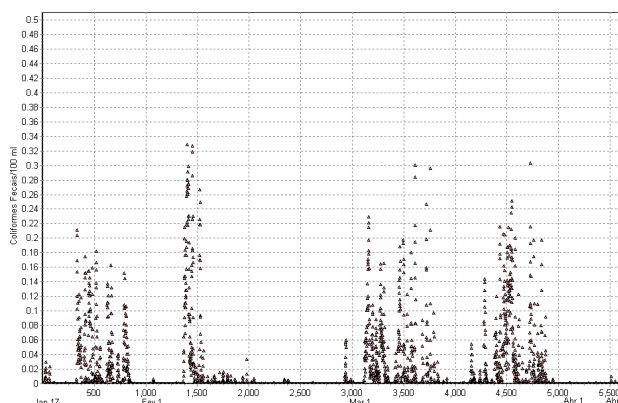


Figura 9 - Estimativa do teor máximo de coliformes fecais/100ml presentes na pluma à distância de 5000 m do final do campo próximo, dada pelo modelo de Brooks para Junho, relativa à utilização dos dados da estação A3.

#### 4. SÍNTESE DE RESULTADOS

No Quadro 1 é apresentada uma síntese dos resultados obtidos, sendo indicados para cada parâmetro o valor máximo e mínimo das estimativas encontradas. É de realçar uma certa concordância nos resultados obtidos pelos dois modelos relativos ao mesmo parâmetro, exceptuando alguns valores máximos. Estes resultados devem ser entendidos como extremos de comportamento para as três épocas do ano consideradas, uma vez que o período de dados de corrente utilizado contém a variabilidade natural deste parâmetro oceanográfico e o caudal considera a oscilação média habitualmente encontrada. Estes dados não podem naturalmente caracterizar o comportamento da pluma para um período de tempo, uma vez que os dados não foram obtidos simultaneamente.

Os resultados obtidos permitem concluir que a pluma atinge o valor mínimo da diluição em Janeiro, sendo que a mesma aumenta em Junho e atinge o máximo em Setembro. Esta conclusão está de acordo com os valores da altura máxima de ascensão da pluma nas três épocas consideradas. Em Janeiro a

pluma encontra-se mais frequentemente submersa, em Junho essa frequência diminui e em Setembro encontra-se sob qualquer circunstância à superfície. Referia-se que estes resultados são concordantes, uma vez que quanto maior for a espessura da pluma, e ela aumenta com a altura de ascensão, maior será a sua área de dispersão e portanto, maior a diluição. Logo, apesar de se esperar que nos meses de Verão a pluma esteja mais frequentemente à superfície, a sua diluição será muito provavelmente superior à dos meses de Inverno. Presentemente, a natureza do efluente e o seu baixo teor de coliformes conduz a estimativas deste parâmetro, quer no final do campo próximo, quer presumivelmente na Barra de Aveiro, que não infundem preocupação. Os valores apresentados no quadro 1 correspondem aos resultados obtidos assumindo T90 igual a 2.5 h, no entanto foram obtidos valores idênticos para T90 entre 2 e 3 horas. De qualquer forma podem-se esperar, contrariamente ao comportamento da diluição mínima, valores mais elevados em Janeiro, que diminuem em Junho e atingem mínimos em Setembro. Deve-se também notar que os resultados obtidos considerando os perfis das estações A3 e A5 são semelhantes, embora a ligeira diferença seja para este estudo importante, uma vez que o objectivo é encontrar extremos no padrão do comportamento da pluma, para estes poderem definir a zona e a estratégia da missão de monitorização do VSA Isurus. Assim, para efeitos de definição da missão considerar-se-ão, para cada época do ano, os valores de comprimento e largura da pluma mais elevados, dados através da utilização dos perfis A3 ou A5.

Quadro 1 - Estimativa dos parâmetros de controlo ambiental

Parâmetro		Janeiro		Junho		Setembro	
		A3	A5	A3	A5	A3	A5
Coliformes Fecais/dl	Campo Próximo ( <i>UM3</i> )	3-35	4-37	2-34	3-35	2-34	1-33
	Barra Aveiro ( <i>Brooks</i> )	0-0.36	0-0.51	0-0.33	0-0.37	0-0.24	0-0.19
Diluição Mínima	Modelo <i>RSB</i>	60-264	59-212	61-317	61-256	60-482	60-483
	Modelo <i>UM3</i>	32-226	33-133	34-270	33-218	33-412	32-972
Profundidade/Altura da Diluição Mínima (m)	Modelo <i>RSB</i>	5.1-15	3.8-10	6.4-15	5.2-15	9.3-15	15
	Modelo <i>UM3</i>	0-11.5	0-12.1	0-11.2	0-11.4	0-10.2	0-7.3
Zona de Mistura Inicial (m) (Modelo <i>RSB</i> )		7-177	6-144	8-193	7-172	8-268	8-271
Altura Máxima de Ascensão (m) (Modelo <i>RSB</i> )		7.6-15	5.7-14.9	9.6-15	7.8-15	13.9-15	15
Altura Mínima de Ascensão (m) (Modelo <i>RSB</i> )		0.7-3.8	0.5-3.7	0.7-3.8	0.6-3.8	0.8-3.8	0.8-3.8
Espessura (m) (Modelo <i>RSB</i> )		6.3-14.3	4.7-13.2	7.9-14.3	6.4-13.4	11.2-14.3	11.2-14.3
Largura (Modelo <i>UM3</i> )		40-110		40-110		40-110	

## 5. PLANO DA MISSÃO DO VSA ISURUS

Para efeitos de detecção e mapeamento da pluma do exutor submarino de S. Jacinto utilizando o VSA *Isurus* pode-se concluir a partir deste estudo que, no limite do campo próximo, as dimensões da mesma serão da seguinte ordem de grandeza: comprimento da zona de mistura inicial inferior a 300 m, espessura inferior a 14.3 m, largura inferior a 110 m e altura até à diluição mínima acima dos 7.6 m. Estas condições não oferecem problema aos requisitos de monitorização para o VSA *Isurus*. Com uma extensão máxima de missão de 7200 m percorridos à velocidade de 1m/s este conseguirá efectuar trajectórias horizontais a diferentes profundidades (espaçadas de 2 m) nos primeiros 300 m da pluma no sentido da corrente (Figura 10). Estas trajectórias horizontais serão de 300 m de comprimento e 110 m de largura, espaçadas de 20 m. A Figura 10 ilustra estas trajectórias na zona do Exutor. Trajectórias em forma de yo-yo poderão ser utilizadas a partir do final do campo próximo para monitorização do campo remoto.

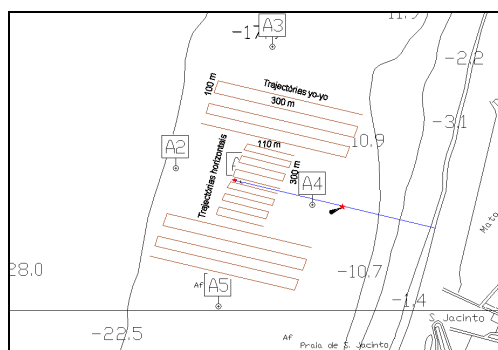


Figura 10 - Plano da Missão de Monitorização ao Exetor Submarino de S. Jacinto, a efectuar pelo VSA Isurus.

## 6. CONCLUSÕES

Como qualquer outro tipo de medição in-situ, a utilização do VSA Isurus para a detecção e mapeamento de plumas de descarga requer uma forma eficiente de recolha de dados. Neste sentido foi elaborado o presente estudo, que além de possibilitar uma previsão do comportamento da pluma proveniente do Exetor Submarino de S. Jacinto para três épocas do ano, permite também a definição dum plano de monitorização para o VSA Isurus. Este plano permitirá, não só um mapeamento a três dimensões da pluma, mas também o cálculo da diluição proporcionada pelo exetor.

O estudo deve ser entendido com as reservas já referidas, não esquecendo que os valores aqui apresentados para os parâmetros de controlo ambiental são apenas estimativas dadas por modelos de previsão que incorporam, naturalmente, um certo grau de incerteza. Espera-se, no entanto, que a monitorização a efectuar pelo VSA Isurus diminua essa incerteza e contribua para um melhor conhecimento do comportamento do exetor ao longo de todo o ano.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do "Programa de monitorização ambiental do emissário submarino de S. Jacinto", da responsabilidade da SIMRIA - Saneamento Integrado dos Municípios da Ria, no qual estão também envolvidas as seguintes entidades: Universidade de Aveiro, Instituto Superior Técnico, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Instituto Hidrográfico e Instituto de Investigação das Pescas e do Mar, às quais manifestamos o nosso agradecimento. Em particular agradece-se ao IH o acesso aos dados recolhidos sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado. Agradece-se ainda o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

## BIBLIOGRAFIA

- BROOKS, N. H. – "Diffusion of sewage effluent in an ocean current". Proceedings of the First Conference on Water Disposal in the Marine Environment, Ed. E. A. Pearson. Pergamon Press, New York, 1960, pp. 246-267.
- FRICK W. E.; P. ROBERTS J. W.; DAVIS L. R.; KEYES J.; BAUMGARTNER D. J.; GEORGE K. P. - "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th edition (Visual Plumes)", U. S. E.P.A., E. R. D., NERL, S. A. S. D., Office of Science and Technology, Athens, Georgia, November 2000.

- 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*, 2000, Genova, Italy.
- ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls I: Submerged Wastefield Formation". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 115, No. 1, 1989, pp. 1-70.