

II JORNADAS TÉCNICAS DA APRH
ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO
EM ZONAS COSTEIRAS TURÍSTICAS

PLANEAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS
DOMÉSTICAS EM ZONAS COSTEIRAS

CONCEITOS E METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DA DISPERSÃO DE EFLUENTES.
SUA INFLUÊNCIA NO PROJECTO DE PEQUENOS EMISSÁRIOS INDUSTRIAIS E URBANOS

A. MELO BAPTISTA

(Engenheiro Civil, M.Sc. in Civil Engrg., Consultor da Hidrosistemas,
Estudos Especiais de Sistemas Hídricos e Ambientais, Lda., Lisboa)

A. SÁ DA COSTA

(Engenheiro Civil, PhD in Civil Engrg., Consultor da Hidrosistemas,
Estudos Especiais de Sistemas Hídricos e Ambientais, Lda., Lisboa)

RESUMO

Defende-se a necessidade e conveniência técnico-económica de introduzir na concepção de sistemas de tratamento e rejeição de efluentes industriais e urbanos informação adequada sobre a dispersão destes no meio receptor.

Revêem-se sucintamente os principais mecanismos de dispersão, a forma como o projectista os pode explorar em seu benefício, e metodologias para análise da dispersão e impacto de efluentes industriais e urbanos, com ênfase em pequenos emissários.

1. INTRODUÇÃO

As águas costeiras constituem um dos mais importantes recursos naturais do País, delas dependendo directa ou indirectamente muitos dos sectores-chave da economia portuguesa.

Não se trata, porém, de um recurso ilimitado, uma vez que algumas das suas utilizações podem, pelo menos localmente, impedir ou tornar pouco atractivas utilizações concorrenciais.

É o caso da rejeição de efluentes industriais e urbanos, que já tem conduzido entre nós a episódios de poluição com repercussões sérias ao nível de actividades económicas, sociais e lúdicas diversas (pesca, turismo, utilização balnear e desportiva das praias, etc.), e da saúde pública (contaminação das praias e da cadeia alimentar, etc.).

Na base destes episódios de poluição estará uma concepção inadequada do sistema de tratamento e rejeição do efluente, em que o objectivo é minimizar os custos de instalação e exploração das obras, sem se ter em consideração nem procurar favorecer a capacidade efectiva de auto-depuração do meio receptor. Assim, por vezes, o tratamento do efluente é eliminado ou sub-dimensionado, e o dispositivo de rejeição é excessivamente simplificado, proporcionando insuficiente diluição inicial.

Esta prática, contraproducente de um ponto de vista de gestão global de recursos, tem sido possível pela falta de legislação adequada (que defina critérios racionais de qualidade das águas costeiras, e crie condições para o seu cumprimento efectivo), e pelo alheamento do problema demonstrado até há bem pouco tempo pela generalidade da população e das forças sociais.

Diversos factores se conjugam, no entanto, para que o problema da rejeição de efluentes venha a ser encarado no nosso País de forma mais apropriada, tendendo-se para a busca de soluções em que a capacidade auto-depuradora do meio seja aproveitada dentro dos limites impostos por utilizações concorrenciais.

Destes factores, um primeiro será o brusco despertar do interesse da população, das forças sociais, e do sector turístico para o problema da poluição das praias, motivado em boa parte por casos recentes de grande impacto (Costa do Estoril e Algarve). Esse interesse cria condições favoráveis à existência de vontade política para resolver o problema da poluição costeira, aos diversos níveis de poder (central, regional e local).

Um segundo factor é o progressivo aumento da autonomia legislativa e financeira das autarquias locais, as quais constituem um dos elementos-chave para resolução do problema da poluição costeira. De facto, as autarquias são simultaneamente responsáveis pelo destino final dos efluentes urbanos e partes interessadas em utilizações concorrenciais das águas costeiras (e.g., turismo, pescas, etc.); estão, assim, em condições óptimas para abordarem a rejeição de efluentes numa perspectiva de gestão global de recursos.

O terceiro factor é a próxima adesão de Portugal à CEE, que favorecerá a adopção dos critérios comunitários de qualidade das águas costeiras (ou outros neles inspirados), e deverá facilitar a viabilização financeira de parte das infraestruturas necessárias à satisfação desses critérios.

Parecendo viável a criação progressiva de vontade política e de condições legislativas e financeiras para resolver o problema da poluição costeira, põe-se aos projectistas portugueses o desafio de contribuir com soluções técnicas adequadas.

Uma das áreas técnicas que estará em foco é a da análise da dispersão dos efluentes no meio receptor, que deverá determinar, em cada caso, o grau de tratamento prévio a impôr ao efluente.

Em alguns casos (e.g., | 1 |), a dimensão e/ou potencial impacto sócio-económico do emissário justificará análises detalhadas, apoiadas em modelos numéricos detalhados (e.g., | 2 |, | 3 |, Fig. 1) e na recolha propositada de elementos sobre topo-hidrografia, oceanografia e meteorologia locais.

Frequentemente, porém, a pequena ou média dimensão e importância do emissário tornará suficiente uma análise expedita da ordem de grandeza da dispersão do efluente, baseada em métodos simplificados (e.g., | 4 |), e em informação já disponível sobre características locais da costa portuguesa.

Independentemente da sofisticação da análise empreendida, são fundamentais o conhecimento profundo dos mecanismos de dispersão e sua importância relativa, e a disponibilidade de um conjunto adequado de métodos de cálculo.

No seguimento desta comunicação referem-se os principais mecanismos de dispersão em águas costeiras, faz-se uma breve análise da influência sobre estes de importantes opções de projecto (ênfase em pequenos e médios emissários), e referem-se alguns dos mais atractivos métodos de cálculo (ênfase em métodos simplificados).

2. MECANISMOS DE DISPERSÃO

Três mecanismos principais determinam a distribuição no espaço e no tempo da concentração de um efluente, após a sua rejeição (Fig. 2):

- a) a diluição associada ao arrastamento turbulento de águas receptoras para o seio do jacto efluente, na proximidade imediata da rejeição;
- b) o transporte (convecção e dispersão) pelas correntes do meio receptor;
- c) processos de degradação ou transferência.

A diluição por arrastamento turbulento aumenta com a quantidade de movimento inicial do jacto efluente e com a extensão da superfície de interface entre o efluente e o meio receptor, e diminui com a flotabilidade inicial do jacto.

O arrastamento turbulento é, tipicamente, o mecanismo dominante na proximidade imediata da rejeição - campo próximo - e depende consideravelmente do método de rejeição, e das características topo-hidrográficas locais.

Assim, rejeições submersas, dotadas de difusores, e não confinadas por fronteiras sólidas, tendem a proporcionar as maiores diluições, enquanto que rejeições superficiais próximas da (e confinadas pela) costa tendem a proporcionar as menores diluições. A razão entre as diluições num caso e noutro pode atingir a ordem $O(10^2)$.

O arrastamento turbulento deixa de ser efectivo quando a quantidade de movimento do efluente se dissipa por atrito, dando origem a uma zona de transição - campo intermédio - em que o comportamento do efluente é determinado tanto pela sua quantidade de movimento residual como pela acção das correntes ambientes. Para pequenos emissários, o campo intermédio é tipicamente desprezável, enquanto que para rejeições envolvendo caudais consideráveis (e.g., provenientes do circuito de refrigeração de centrais termoeléctricas) pode estender-se por um ou mais quilómetros.

O campo afastado é a zona em que o efluente se comporta numa forma passiva, sujeitando-se às condições ambientes sem as alterar. Nesta região, os mecanismos dominantes são o transporte pelas correntes do meio receptor e, eventualmente, os processos de degradação ou transferência do próprio efluente.

3. INFLUÊNCIA DE DIFERENTES OPÇÕES DE PROJECTO SOBRE A DISPERSÃO DO EFLUENTE

No projecto de um emissário, as opções que mais directamente contribuem para o impacto do efluente no meio receptor são:

- . a escolha do "sítio", i.e., da zona da costa onde o emissário será implantado;
- . a definição da estrutura de rejeição;
- . a definição do tratamento prévio.

Muitas vezes (sobretudo no caso de pequenos emissários industriais), a escolha do sítio depende primariamente de factores alheios ao impacto ambiental do efluente, o que condiciona significativamente a acção do projectista. De facto, a dispersão no campo afastado depende essencialmente das correntes do meio receptor, pelo que, em termos práticos, deixa de estar sob controle depois de escolhido o sítio.

Poderá o projectista, no entanto, favorecer a dispersão total do efluente através da definição de uma estrutura de rejeição capaz de promover uma significativa diluição inicial. Idealmente, interessaria optar por uma rejeição submersa, com difusor, afastada da costa o necessário para evitar o confinamento do jacto efluente por fronteiras sólidas (fundo e linha de costa).

Os custos e problemas construtivos associados a este tipo de solução torna-o, contudo, raramente viável para pequenos emissários. Assim, a solução possível é frequentemente um exutor sem difusor (ou com um difusor simples), afastado só algumas dezenas de metros da linha da costa. Como consequência, a diluição no campo próximo é reduzida relativamente à solução "ideal", tornando-se, simultaneamente, a sua análise mais complexa e menos fiável.

Definida a solução de rejeição (incluindo a sua localização detalhada), é possível estimar o grau de dispersão total, e, portanto, o impacto do efluente para diferentes opções de tratamento prévio. Esta informação, associada a uma identificação dos critérios de qualidade a respeitar, permite seleccionar o tipo e grau de tratamento óptimo para a solução de rejeição adoptada.

O custo global da solução (instalação e exploração) pode então ser avaliado, e comparado com o de soluções alternativas também aceitáveis tecnicamente, permitindo uma opção final.

4. METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DA DISPERSÃO DE EFLUENTES

Apontou-se no ponto 3 a necessidade de se analisar a dispersão do efluente no meio receptor, como forma de se otimizar a concepção e projecto do dispositivo de rejeição.

A simulação dessa dispersão exige informação sobre as características do meio receptor (nomeadamente, topo-hidrografia, marés, correntes e meteorologia) e um ou mais "modelos" interpretativos. Tipicamente a complexidade e a variedade de escalas de tempo e espaço associadas aos diferentes mecanismos de dispersão e de degradação e transferência torna recomendável o recurso a um modelo por cada uma das zonas antes referidas: campo próximo, campo afastado, e, eventualmente, (raramente para pequenos emissários) campo intermédio.

As opções, em matéria de modelos, são muito variadas. A nível do campo próximo, as três opções fundamentais são:

- a) modelos semi-empíricos baseados na resolução pseudo-tridimensional de equações simplificadas do movimento e do balanço de massa do efluente, escritas tipicamente em forma integral e recorrendo à hipótese de auto-semelhança de perfis transversais consecutivos;
- b) modelos numéricos tridimensionais, recorrendo a formas elaboradas das equações do movimento e do balanço de massa do efluente, com tratamentos mais ou menos sofisticados da turbulência;
- c) modelos físicos.

Para pequenos emissários, raramente se justifica o recurso a modelos numéricos ou físicos, potencialmente mais rigorosos mas de exploração complexa e cara.

Assim, modelos integrais semi-empíricos (e.g. | 5 |) são frequentemente utilizados, permitindo, senão uma análise detalhada, pelo menos a avaliação de ordens de grandeza do impacto do efluente. Tipicamente, estes modelos são extremamente fiáveis para jactos não confinados por fronteiras sólidas, na presença de correntes ambientes nulas ou fracas, degradando-se rapidamente a qualidade dos resultados quando (como é frequente) prevalecem outras condições; exige-se, assim, ao projectista elevado espírito crítico e sensibilidade na interpretação dos resultados.

A nível do campo intermédio e afastado, as opções disponíveis são ainda mais variadas, incluindo:

- a) modelos de balanço de massa entre "células" grosseiras em que o domínio em estudo é dividido (e.g., | 6 |);
- b) modelos analíticos ou quasi-analíticos, (ver revisão em | 7 |), bi e tridimensionais, resolvendo tipicamente a equação de balanço do efluente, no pressuposto de campos de correntes simplificados, previamente definidos.
- c) modelos numéricos bi e tridimensionais, resolvendo, em conjunto ou separadamente, formas elaboradas das equações do movimento e do balanço de massa do efluente (e.g., | 2 |, | 3 |);
- d) modelos físicos (pouco frequentes, actualmente).

No caso de pequenos emissários, só as opções a) e b) são, tipicamente, viáveis, pelo custo de exploração e pela quantidade de informação requerida para uma correcta utilização dos modelos das opções c) e d).

Conjugar a informação obtida por modelos de campo próximo e de campo intermédio ou afastado constitui tarefa não trivial, para a qual não existe abordagem óptima. Diferentes abordagens são revistas, e.g., em | 8 |.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dispersão de efluentes industriais e urbanos no meio receptor pode contribuir de forma decisiva para minimizar os custos de tratamento e rejeição, constituindo, assim, uma área técnica de extrema importância no combate à poluição costeira.

A complexidade e variedade dos mecanismos de dispersão, degradação e transferência, torna aconselhável a análise destes mecanismos zona a zona (campo próximo, campo afastado, e eventualmente, campo intermédio), com posterior enquadramento global dos resultados.

Para cada zona, existe uma multiplicidade de opções, envolvendo modelos de complexidade muito diferente. No caso de pequenos emissários, a escolha deverá recair tipicamente em

modelos matemáticos relativamente simples, frequentemente de base semi-empírica, que permitem obter ordens de grandeza do impacto do efluente, a custo moderado e com base em informação de campo relativamente escassa (e frequentemente disponível à partida, ou fácil de obter através de campanhas de observação ligeiras).

Sempre que a dimensão do emissário, ou a importância do seu potencial impacto, o justifique, haverá, no entanto, que recorrer a modelos mais complexos, sejam eles numéricos ou físicos (tipicamente, estes últimos só são competitivos no campo próximo).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - HIDROSISTEMAS, 1985 - *Plano de Recursos Hídricos de Macau. Modelação Matemática do Meio Estuarino.*
- 2 - HIDROSISTEMAS, 1984 - *Simulação da Circulação em Zonas Costeiras e Estuários. Programa CEF/HS.*
- 3 - HIDROSISTEMAS, 1984 - *Simulação do Transporte de Massas em Zonas Costeiras e Estuários. Programa DISP/HS.*
- 4 - HIDROSISTEMAS - *Métodos Expeditos de Apoio à Concepção de Emissários.* Em preparação.
- 5 - HIDROSISTEMAS, 1984 - *Manual do Utilizador do Modelo de Análise Simplificada da Rejeição Superficial de um Efluente (RS/HS).*
- 6 - HIDROSISTEMAS, 1984 - *Manual do Utilizador do Modelo Simplificado de Qualidade de Água (CELP/HS).*
- 7 - ADAMS, E.E. e BAPTISTA, A.M., 1986 - *Ocean Dispersion Modeling*, in *Encyclopedia of Fluid Mechanics*, Vol. 6: *Complex Flow Phenomena* (N. Chermisinoff, Ed.), no prelo.
- 8 - ADAMS, E.E. et al, 1981 - *Heat Disposal in the Water Environment.* Lecture Notes, Short Course, LNEC.

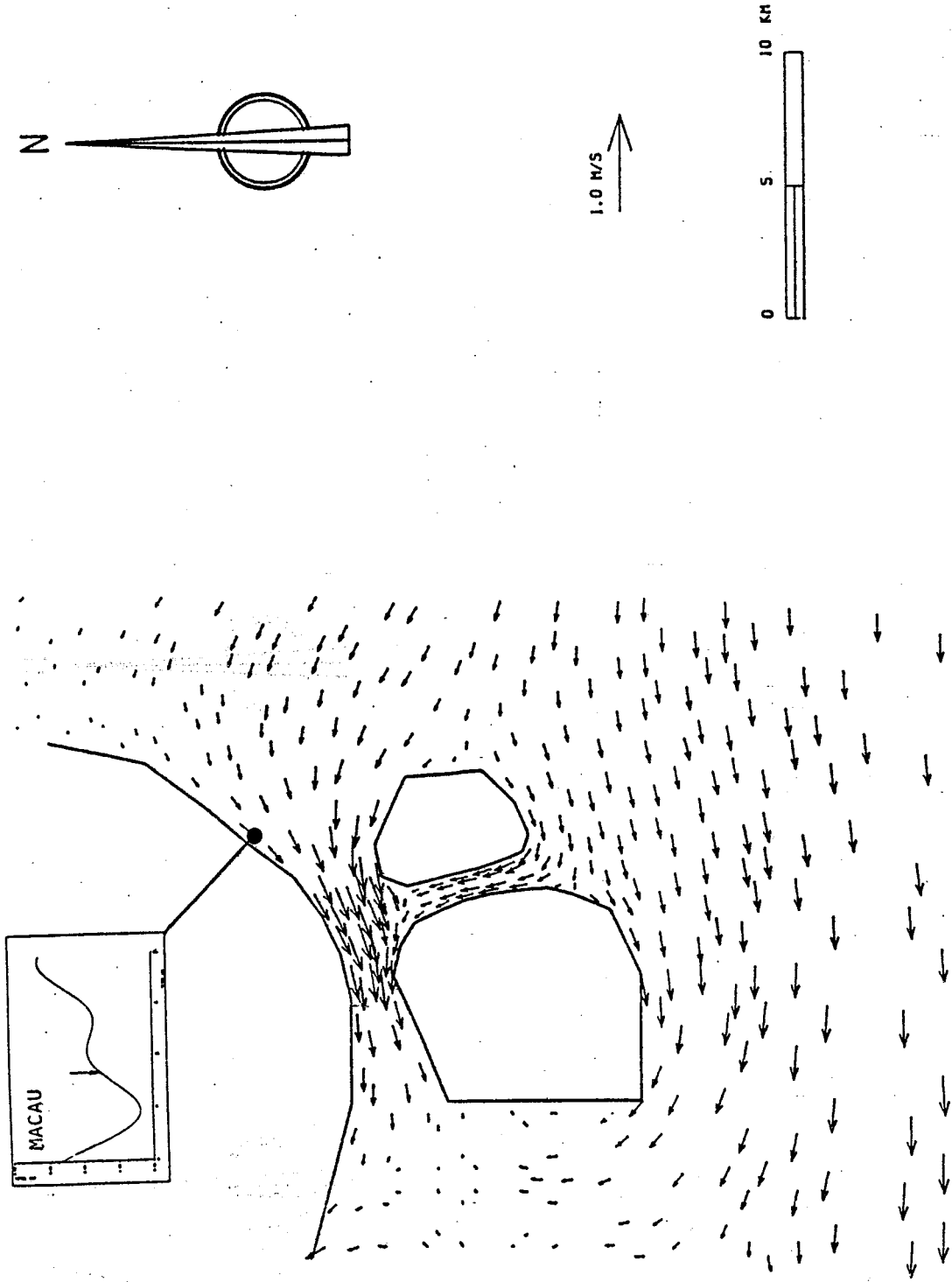


FIG. 1 - Detalhe do campo de correntes no estuário do rio das Pérolas. Trabalho em curso na HIDROSISTEMAS, integrado no Plano de Recursos Hídricos de Macau.

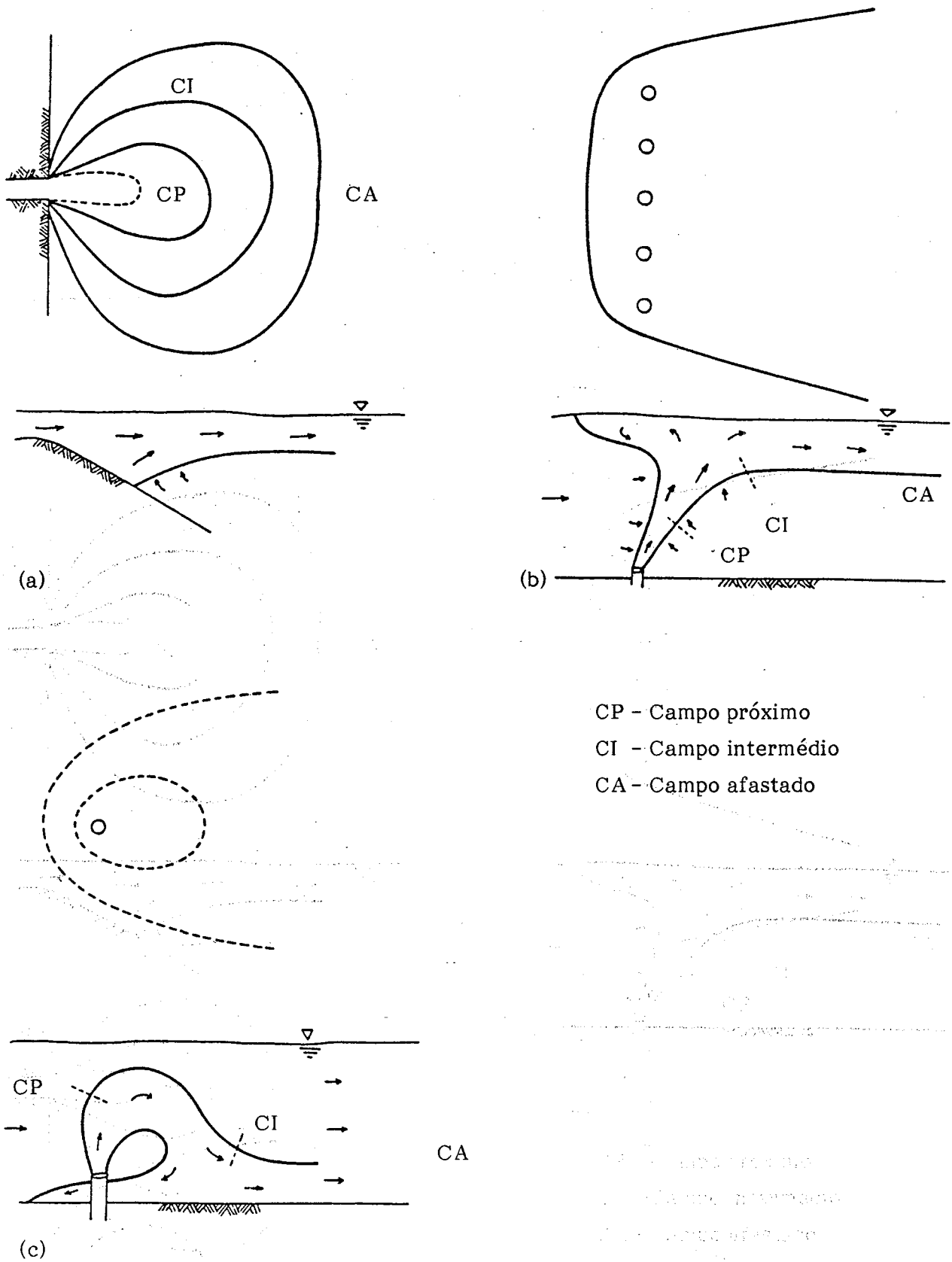


FIG. 2 - Definição das zonas de comportamento do efluente, para diferentes tipos de rejeição. (a) Rejeição superficial; (b) Rejeição submersa (efluente menos denso que o meio receptor); (c) Rejeição submersa (efluente mais denso que o meio receptor);