



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SISTEMAS DE COLECTA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO
FINAL DE ESGOTOS SANITÁRIOS

"O USO DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS DE PLÁSTICO
COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS"

Sergio A.S.Almeida, Professor Adjunto, Pontifícia
Universidade Católica do Rio de Janeiro*
Diretor-Presidente, Multiservice Engenharia Ltda.*

Russell G. Ludwig, Presidente, Encibra S.A.-Estudos
e Projetos de Engenharia *

* Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

O tratamento e a disposição final de esgotos, pelos seus elevados custos, tem sido sério desafio à Engenharia Sanitária. O problema agravou-se nos últimos tempos com a crise de energia, que tornou ainda mais onerosas as soluções convencionais.

O trabalho propõe o uso de emissários submarinos de plástico como alternativa econômica para a disposição dos esgotos, construindo-se sistemas nos quais uma combinação de pré-tratamento mínimo e comprimento de emissário adequado venham a atender às exigências de custo e demanda de energia relativamente baixos e, adicionalmente, fornecer a máxima proteção aos recursos do meio-ambiente marinho.

1. INTRODUÇÃO

Devido aos diversos problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento, os recursos para a implantação de obras de proteção ao meio-ambiente são escassos, não se conseguindo materializar soluções sofisticadas ou mesmo as desejáveis. Adicionalmente, os significativos aumentos nos custos de energia têm enfatizado a necessidade de se obter soluções que não exijam grande demanda de energia. Devemos, portanto, voltar-nos para a natureza e desenvolver sistemas que extensivamente usem a capacidade assimilativa natural do meio-ambiente, incluindo os oceanos.

Deve-se deixar claro neste momento que existe uma enorme diferença entre a descarga indiscriminada de despejos no mar e a disposição feita através de emissários submarinos bem projetados e construídos. A intensa publicidade dada a alguns incidentes grosseiros de poluição (como derramamentos de óleo e o episódio da baía de Minimata, no Japão) tem distorcido a filosofia com relação à disposição adequada de esgotos em águas marinhas.

Os emissários submarinos visando a disposição final de esgotos começaram a ser extensivamente usados na década de 1930. As primeiras experiências relacionadas com a diluição inicial de esgoto quando injetado na água do mar foram conduzidas por Rawn e Palmer no final da década de 1920, enquanto se efetuavam as preparações para a construção do primeiro emissário de Los Angeles, o qual foi terminado em 1936 (Ref. 1). Em 1960, o primeiro trabalho completo sobre o fenômeno da diluição inicial foi publicado por Brooks. Investigações exaustivas processaram-se durante os 20 anos seguintes, particularmente, no fenômeno da diluição e projeto do difusor, bem como os efeitos das descargas de esgotos no ambiente marinho (Ref. 2, 3, 4).

A preocupação sempre crescente acerca dos efeitos das descargas, especialmente com relação à possibilidade da introdução de metais na cadeia alimentar aquática, levou à emissão de normas e regulamentos tão severos que, no início da década de 1970, em alguns países desenvolvidos, não era mais possível tirar-se vantagem dos processos naturais de tratamento do oceano, tais como a diluição, oxidação, sedimentação, redução bacteriológica e outros. Após a crise do petróleo de 1973, mesmo os países desenvolvidos começaram a enfrentar problemas econômicos, levando à modificação e/ou postergamento de alguns objetivos. Adicionalmente, pesquisas sobre novas tecnologias e métodos construtivos têm sido efetuadas, visando desenvolver sistemas mais econômicos, que possam valer-se da capacidade que as águas receptoras têm de receber, até o limite viável, os efluentes municipais e, em alguns casos, também efluentes industriais.

Finalmente, em 1981, a Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente (EPA) dispensou as seis primeiras comunidades de construir estações de tratamento secundárias antes de descarregar seus despejos no Oceano Pacífico, representando um retorno de 180 graus em relação à sua política de terminar a disposição oceânica de efluentes primários e, posteriormente, a obtenção da descarga zero. Embora estas decisões recentes da EPA sejam ainda exploratórias, acredita-se que, após este importante passo inicial, muitas outras licenças serão concedidas.

Durante os últimos anos, algumas descargas submarinas envolvendo esgoto bruto, ou efluentes tratados a nível inferior que o primário

(como o da zona sul do Rio de Janeiro) têm servido como incentivo para prosseguir-se com o desenvolvimento desta tecnologia e obter-se o processo de tratamento ótimo antes da descarga oceânica.

Quando verificamos que diversos países em desenvolvimento têm áreas densamente povoadas localizadas ao longo da costa da América Latina, África e Ásia - melhor compreendemos a importância deste método de disposição.

Um dos fortes argumentos contra a disposição de esgotos no oceano, a toxidez dos metais pesados no mar foi contestada e desmistificada por W.Bascon (Ref.5), num trabalho apresentado em 1981, em Londres, resumindo 12 anos de investigações dos efeitos das descargas dos dejetos humanos nas águas da costa do sul da Califórnia. As conclusões deste trabalho são:

- a) Grandes quantidades de metais têm sido descarregadas em mar aberto na Califórnia, onde 10% deles, que estão ligados a partículas que decantam rapidamente, têm formado substanciais áreas de sedimentos contaminados, com níveis 10 a 100 vezes acima dos valores históricos.
- b) Pequenos invertebrados expostos a altas concentrações algumas vezes apresentam um aumento aparente na concentração de metais, mas os invertebrados de maior porte, expostos aos mesmos sedimentos, não apresentam aumento da concentração de metais nos seus tecidos.
- c) Testes de toxidez efetuados para determinar a toxidez aguda ou crônica fornecem uma extensa faixa de resultados para cada metal. Tais testes não reproduzem adequadamente a exposição aos metais no ambiente real.
- d) Os metais inorgânicos não se movem através da cadeia alimentar marinha.
- e) Os metais inorgânicos presentes nos tecidos dos peixes não aumentam sua concentração acima dos níveis naturais, não importando o nível de exposição, não havendo, portanto, possibilidade de dano às pessoas que deles se alimentam.
- f) A forma tóxica do mercúrio (metolado) se move através da cadeia alimentar, mas sua presença (exceto em raras circunstâncias) é natural e não resultante dos despejos humanos.
- g) As células animais geram uma proteína protetora que, num certo tempo, evita que as concentrações excessivas de metais danifiquem os seus sistemas de enzimas ou materiais genéticos. Quando a quantidade de metais em cada fração do peso molecular é examinada em animais obtidos em áreas altamente contaminadas é evidente que os metais não desejáveis não atingiram as áreas de ação tóxica.

2. O CONCEITO DA DESCARGA EM MAR ABERTO

O conceito da descarga em mar aberto e as vantagens econômicas, técnicas e de segurança envolvidas foram muito bem descritas por E.Pearson num trabalho apresentado em Londres em 1974 (Ref.6), bem como em 1979, numa nova adaptação do seu trabalho (Ref.7).

O problema a resolver quando se usa a alternativa de disposição em mar aberto é a determinação da combinação ótima do grau de tratamento do despejo e do sistema de disposição/dispersão que atenderá às normas realísticas e racionais de qualidade da água do corpo receptor. A figura 1 apresenta um conjunto de alternativas idealizadas para a disposição dos esgotos de uma municipalidade localizada na costa. Quatro sistemas alternativos são comprados, a saber:

- A, tratamento secundário convencional, 90% de redução de poluentes, descarga junto à praia, diluição média de 1:10;
- B, tratamento intermediário, 75% de remoção dos poluentes, descarga a uma distância intermediária, diluição média de 1:70;
- C₁, tratamento primário, 35% de remoção de poluentes, descarga a uma distância maior, com diluição média de 1:150;
- C₂, tratamento preliminar, 10% de remoção de poluentes, ponto de descarga e diluição média iguais às da alternativa C₁.

As concentrações de poluentes na praia são comparadas para cada alternativa, em função das concentrações de poluentes no esgoto bruto, C_0 , e apresentadas no quadro 1. As concentrações residuais de esgoto consideram as remoções devido aos diversos tratamentos, a diluição inicial e o efeito combinado do tratamento, diluição inicial e diluição durante o transporte (diluição horizontal). Evidencia-se que o sistema C₁, com tratamento primário (35% de remoção) e alta diluição inicial produz as concentrações mínimas dos poluentes conservativos, os quais são afetados apenas pelos processos de tratamento e diluição. Deve-se ainda notar que as concentrações de poluentes na praia para a alternativa C₁ é $C_0/550$, que é 5,5 vezes menor que para a alternativa A, $C_0/100$. Do mesmo modo, a alternativa C₂, que incorpora apenas o tratamento preliminar (10% de remoção), produzirá uma concentração de poluentes ($C_0/400$) quatro vezes menor que a alternativa A.

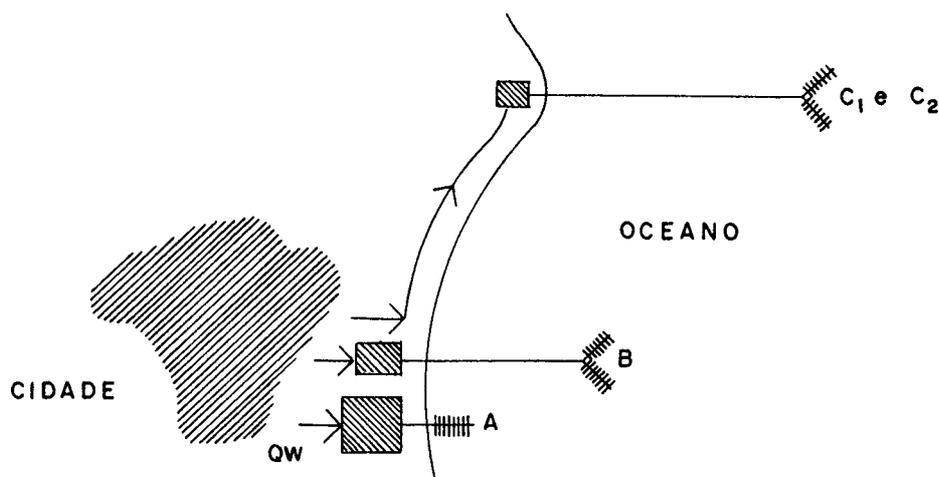


Figura 1 - Alternativas idealizadas para disposição em mar aberto (após Pearson et al, Ref.7).

Quanto aos poluentes não-conservativos (microorganismos) presentes nos esgotos - e estes historicamente têm sido o parâmetro mais importante de todos os sistemas de dispersão submarina até o momento - a preferência para as alternativas C₁ e C₂ sobre as alternativas A e B é ainda mais pronunciada. Compare as concentrações de poluentes na praia para as alternativas C₁ e C₂ - C₀/872000 e C₀/632000, respectivamente, - com os valores correspondentes de C₀/100 e C₀/16800 para as alternativas A e B.

QUADRO 1
CÁLCULOS PARA O EXEMPLO DA FIGURA 1
(Após Pearson et al, ref.7)

Localização da descarga	A	B	C ₁	C ₂
Diluição inicial S ₀ (assumida)	10	70	150	150
Processo de Tratamento	secund.	interm.	primário	prelim.
Percentual de remoção (assumido)	90	75	35	10
Concentração de poluentes antes da descarga; poluentes conservativos	C ₀ /100	C ₀ /200	C ₀ /230	C ₀ /167
Tempo de transporte T, assumido, até a praia, h	0	2	4	4
Diluição horizontal assumida	0	1,5	2,4	2,4
T ₉₀ , h	1,25	1,25	1,25	1,25
Redução dos poluentes não-conservativos durante transporte até a praia	0	40	1 580	1 580
Concentração de poluentes na praia				
- poluentes conservativos	C ₀ /100	C ₀ /420	C ₀ /550	C ₀ /400
- poluentes não-conservativos	C ₀ /100	C ₀ /16800	C ₀ /872000	C ₀ /632000

3. O PROJETO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

É claramente demonstrado pelo quadro 1 que, por larga margem, a melhor combinação de comprimento do emissário/grau de tratamento é aquela empregando o tratamento primário ou um tratamento preliminar que remova apenas o material flutuante.

Este método ótimo de tratamento, unindo custo baixo, simplicidade e eficiência, tem sido pesquisado por diversos investigadores e engenheiros-consultores. Embora esta forma ótima de tratamento não tenha ainda sido encontrada, algumas aproximações desta solução ótima têm sido desenvolvidas. O método mais notável é aquele usando peneiras rotativas, ou milipeneiras, como descrito por Almeida e Ludwig (Ref.8). Basicamente, existem dois tipos de milipeneiras, a de passagem dupla, manufaturada pela Hycor (Illinois, USA) e outros, e a

de passagem simples, manufaturada pela Contra-Shear, da Nova Zelândia.

O uso deste equipamento foi proposto pela primeira vez como sendo o único processo de tratamento antes da descarga oceânica por Ludwig e Almeida (Ref. 9) para o emissário da Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, Brasil. Este projeto incorporou a primeira versão de milipeneira de passagem dupla. Posteriormente, os mesmos engenheiros propuseram o uso deste equipamento no emissário de Ipanema, também no Rio de Janeiro. Em 1979, a cidade de Niterói, RJ, Brasil, começou a operação de uma estação de tratamento de lodos ativados de porte médio, usando milipeneiras no lugar de tanques de decantação primária. Este fato também foi reportado por Almeida e Ludwig (Ref.8), juntamente com os dados a serem empregados para o seu dimensionamento e o seu custo.

Em 1981, Fitzmaurice e Hedgeland, da Nova Zelândia, publicaram um trabalho (Ref. 10) descrevendo os resultados da estação piloto de milipeneiras, tratando uma mistura de esgoto e efluente de um matadouro. Excelentes resultados foram obtidos nos estudos pilotos e o cliente aceitou a recomendação de se construir uma estação em escala plena.

Ao mesmo tempo, em muitos outros países, tais alternativas de tratamento estão sendo estudadas ou estão presentemente em construção.

O trabalho de Fitzmaurice e Hedgeland fornece o melhor conjunto disponível de resultados sobre a eficiência das milipeneiras. Os resultados mais importantes estão no quadro 2.

QUADRO 2

RESULTADOS DA PLANTA-PILOTO DE MILIPENEIRAS NO VALE HUTT, NOVA ZELÂNDIA (Ref.10).

Parâmetro	Esgoto bruto	Efluente da milipeneira		Percentual de remoção	
		0,5 mm	1,0 mm	0,5 mm	1,0 mm
Sólidos decantáveis, ml/l	8,4	3,8	6,9	54,8	17,9
Sólidos em suspensão, mg/l	236	165	196	30,1	17,0
Graxa, mg/l	91	48	61	47,3	33,0
Sólidos flutuantes, mg/l	9,2	0,1	0,4	98,9	95,6

4. PROJETO FUNCIONAL DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO

Não seria viável nem desejável prover uma discussão completa dos métodos de projeto neste trabalho (Ref.11). Entretanto, um resumo dos principais parâmetros é apresentado.

O projeto completo de um sistema de emissário submarino inclui a seleção adequada do ponto de descarga, a determinação do comprimento do emissário e a profundidade da descarga, a seleção do comprimento do difusor e o projeto hidráulico do sistema tubulação/difusor, incluindo número, espaçamento e diâmetro dos orifícios.

Deve ser dada ênfase à importância da diluição. Ao contrário da bastante mencionada expressão de que "diluição não é a solução para a poluição", o fato é que qualquer que seja o grau de tratamento dos despejos, o efluente tem de ser disposto no meio ambiente, e da maneira mais eficiente possível. A máxima diluição dos constituintes dos esgotos prevê a maior proteção ao meio ambiente. Por esta razão, a descarga dos esgotos deve ser feita em mar aberto, onde o movimento natural das águas fornece uma mistura contínua. A descarga em baías, estuários e águas junto à praia deve ser evitada, pois a diluição contínua neste caso é difícil de ser atingida e estas áreas são muito mais ecologicamente sensíveis.

O comprimento do emissário é controlado pela análise de redução bacteriológica, visando à adequada proteção da saúde pública, condições estéticas e/ou proteção dos mariscos. O projetista geralmente faz uma série de análises preliminares para diversos comprimentos de emissário e correspondentes profundidades e, usando diversos comprimentos de difusor, seleciona aquele comprimento que resultará numa solução global ótima.

4.1. Processos do Emissário

Três processos estão envolvidos no projeto funcional de um emissário submarino, a saber: a diluição inicial, a dispersão horizontal e o desaparecimento bacteriológico. Dos três, a diluição inicial é o fator que deve merecer a maior atenção no projeto do emissário.

4.1.1. Diluição Inicial

Com projetos de difusor adequados, diluições iniciais de 1:100 podem rapidamente ser obtidas, e com águas razoavelmente profundas, valores muito maiores podem ser atingidos. Como exemplo, se um efluente com DBO de 200 mg/l for continuamente sujeito à diluição com água do mar numa razão de 1:100, a concentração resultante da mistura será de 2 mg/l, que é equivalente a um tratamento com eficiência de 99%. Não existe nenhum processo de tratamento que possa, consistentemente, atingir esta eficiência. Adicionalmente, e isto é da máxima importância, de todos os fatores que afetam o projeto do emissário, aquele que mais se situa sob o controle do projetista é a diluição inicial. Se dados adequados sobre o regime de correntes e sobre a estrutura de densidade da água do mar forem disponíveis, pode-se projetar e construir um difusor de modo a se obter uma grande diluição inicial e um campo submerso.

4.1.2. Diluição Horizontal

Em contraste com a extrema importância da diluição inicial, a diluição horizontal subsequente, resultante da turbulência à medida que o campo é transportado pelas correntes oceânicas, é estimada como estando nas vizinhanças de 1:2, quando difusores longos são instalados em águas relativamente profundas. O recente trabalho de Roberts (Ref.12) sugere que esta misturação pode ser desprezível dentro dos períodos de tempo normalmente considerados.

4.1.3. Desaparecimento Bacteriológico

A preocupação, do ponto de vista da saúde pública, com relação às exigências bacteriológicas nas águas de banho, é baseada na prevenção do contato entre as pessoas utilizando estas águas para atividades recreativas e os organismos patogênicos, que podem estar presentes nas águas, se estas forem afetadas por significativas quantidades de esgotos. Entretanto, existe pequena ou nenhuma evidência real para suportar uma norma bacteriológica baseada na incidência de doenças, como a febre tifóide, cólera, hepatite, etc. A famosa norma da Califórnia para águas de banho, que foi desenvolvida na década de 1940, foi estabelecida inteiramente baseada em considerações estéticas, já que os investigadores descobriram que quando as contagens de coliformes permaneciam consistentemente (mais que 80% do tempo) abaixo de 100 NMP/100 ml, as praias permaneciam esteticamente satisfatórias, sem evidência visual de poluição. Um significado indireto quanto à saúde pública é evidente nesta norma, ou seja, quando as condições são satisfatórias, os materiais originados nos esgotos foram reduzidos aos níveis adequados.

Deve-se enfatizar aqui que as considerações de saúde pública são de muito maior importância nas águas onde se pescam mariscos. Ao contrário da falta de evidência relacionando a transmissão de doenças em águas de banho, existem evidências conclusivas de que doenças são transmitidas pelos mariscos pescados em águas poluídas por esgotos.

No projeto de emissários, o desaparecimento do organismo indicador coliforme é calculado usando um valor T_{90} que é definido como sendo aquele intervalo de tempo necessário para o desaparecimento de 90% dos organismos remanescentes calculados após as reduções devidas à diluição e dispersão. Para águas tropicais mornas, como as existentes em muitos países em desenvolvimento, valores de T_{90} devem ser determinados "in loco". Estudos de laboratório podem ser usados para avaliar métodos os fatores, contribuindo para o desaparecimento bacteriológico, mas têm pouca ou nenhuma relação com os valores obtidos "in loco". Do mesmo modo, valores de T_{90} obtidos usando-se tubos de diálise ou sacos apresentam pouco ou nenhum significado para projeto (Ref. 13).

Recentemente, manifestaram-se opiniões de que os valores de T_{90} usados em projeto deveriam incluir determinações feitas à noite, pois acredita-se que a luz solar seja um dos muitos fatores afetando as taxas de desaparecimento. Investigações feitas no campo, embora ainda em pequeno número, não confirmaram esta premissa. Entretanto, mesmo se os valores de T_{90} forem maiores à noite, não se deve esquecer que as normas em uso em todo o mundo (todas derivadas da norma original da Califórnia), foram baseadas totalmente em observações feitas durante o dia. Talvez de maior significado para os valores de T_{90} seja o efeito de um campo submerso a grande profundidade.

4.2. Projeto do Difusor

Investigações recentes feitas por Roberts (Ref.4) muito contribuíram para as técnicas de projetos de emissários, anteriormente desenvolvidas por outros pesquisadores. As estimativas quanto à diluição inicial podem agora ser feitas para campos lineares, incluindo

o efeito das correntes através da formação do campo. Roberts determinou que a diluição mínima da linha de centro, S_m' pode ser expressa pela fórmula:

$$S_m = C \frac{UY}{q}, \text{ onde:}$$

C = coeficiência de diluição

U = velocidade da corrente, m/s

Y = profundidade efetiva de descarga, m

q = descarga por unidade de comprimento do difusor, $m^3/s-m$.

Como pode ser notado, o coeficiente C é aplicado diretamente à equação da continuidade e representa a profundidade efetiva da mistura. O valor de C é relacionado com uma espécie de Número de Froude, F_R , e com a orientação do difusor em relação à direção da corrente. A orientação do difusor é muito significativa para correntes fortes, com os valores de diluição sendo cerca de quatro vezes maiores para difusores perpendiculares à direção da corrente, em comparação com difusores paralelos. Para correntes fracas (abaixo de cerca de 0,1 n6), a diluição é independente da orientação do difusor.

A análise da diluição inicial deve ser feita para os diversos regimes de velocidade das correntes oceânicas que podem ocorrer durante as estações do ano. A orientação do difusor é geralmente selecionada para assegurar diluições máximas quando as correntes têm a direção da costa, mas devem ser verificadas para assegurar diluição adequada para os outros regimes.

O projeto do difusor deve considerar a submergência do campo, bem como a diluição inicial. Quando existe uma estrutura de densidade adequada na água do mar, a profundidade de submergência adequada pode ser estimada para descargas a profundidades alternativas e para descargas unitárias alternativas (função do comprimento do difusor). A submergência do campo é muito vantajosa no projeto de um emissário e deve ser obtida, sempre que possível, para eliminar manchas na superfície e para minimizar os efeitos de materiais flutuantes residuais que podem estar presentes no efluente.

Material flutuante persistente, como rolhas, plásticos e palitos de f6sforo, podem ser removidos economicamente por peneiramento. É evidente que, quando a submergência da mancha é obtida, os materiais residuais com densidades ligeiramente menores que da água do mar não atingirão a superfície por um período de tempo considerável e serão, portanto, distribuídos sobre uma vasta área, devido à ação das correntes subsuperficiais. Deve ainda ser notado que experiências de laboratório (Ref.13) indicaram que materiais flutuantes típicos, como fezes, sementes de frutas, etc., não flutuarão se forem descarregados à profundidade de 20 metros ou maiores.

É evidente que a diluição inicial produzida num campo submerso será mais reduzida que aquela de um campo que atinge a superfície, pois no primeiro caso, haverá uma menor altura de ascensão. Assim, no projeto de um sistema de difusor, o desejo de se produzir um campo submerso deve ser considerado juntamente com a necessidade de uma diluição inicial mínima, fornecendo um projeto global 6timo.

5. O USO DE TUBOS DE PLÁSTICO PARA EMISSÁRIOS SUBMARINOS

5.1. Histórico

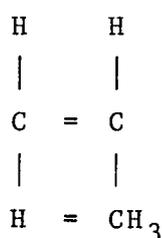
Tradicionalmente, os emissários submarinos têm sido construídos usando tubos de concreto, ferro fundido e aço. Os tubos de plástico, agora fornecem uma nova solução para este problema, e diversas vantagens em relação aos outros materiais podem ser delineadas. Estas vantagens incluem: leveza, flexibilidade, excelentes propriedades hidráulicas, alta resistência à corrosão, atoxidez, impermeabilidade, facilidade de instalação, soldável e necessita de um número muito pequeno de juntas, pois pode ser extrudado na obra, em seções de até 500 m. Estas tubulações podem ser feitas de PAD - polietileno de alta densidade - ou PP - polipropileno, com os custos sendo iguais para os dois materiais. A principal diferença na aplicação é a temperatura do despejo. Os tubos de PAD não podem receber despejos com temperatura acima de 50°C, enquanto que os tubos de PP podem suportar temperaturas de até 80°C.

O PAD é um termoplástico feito de etileno gasoso por meio de um processo de polimerização, usando um catalizador orgânico-metálico. As macromoléculas têm uma estrutura muito linear e, devido a isto, um maior grau de cristalização é obtido (cerca de 60 a 80%), comparado com o polietileno de baixa densidade. Sua fórmula molecular é:



O peso molecular dos tipos mais usados varia de 150.000 a 300.000. Sua densidade é de 0,955 g/cm³.

O PP é também um termoplástico, feito de polipropileno, usando o processo de polimerização. Sua fórmula molecular é:



Apenas o propileno isostático, onde todos os grupos CH₃ estão localizados no mesmo lado da cadeia molecular, tem as propriedades necessárias para a fabricação de tubos. A regularidade das macromoléculas favorece a cristalização, atingindo cerca de 60 a 70%. Sua densidade é de 0,910 g/cm³.

5.2. Projeto e Instalação

Os emissários empregando tubulações plásticas podem ser projetados usando-se um C (de Hazen-Williams) relativamente alto - até 150 - devido à sua superfície interna ser extremamente lisa e não se alterar significativamente com o tempo. O aumento na pressão interna devido aos transientes hidráulicos é calculado da mesma forma que para os outros materiais, tendo o engenheiro que usar os parâmetros de resistência e flexibilidade adequados para PAD ou PP.

Normalmente, a tubulação é ancorada no leito do mar por gravidade, usando-se pesos de concreto.

Os métodos de instalação diferem para instalação na zona de rebentação e após a zona de rebentação, e dependem também do comprimento unitário das seções.

5.2.1. Instalação da Zona de Rebentação

Diversos métodos têm sido desenvolvidos para a instalação de tubos na zona de rebentação, e a maioria deles pode ser usada para emissários de plástico, a saber:

Treliças - Neste método, uma treliça temporária é construída através de toda a extensão da zona de rebentação. Quando o material do solo é areia, usam-se estacas-pranchas metálicas para a abertura da vala. Esta abertura pode ser feita usando-se bombas de dragagem e em seções de até 100 m. Após recobrimento da vala, as estacas-pranchas são removidas e instaladas na seção seguinte. As seções da tubulação são normalmente conectadas por meio de flanges de aço inoxidável. Quando rocha é encontrada, a vala é preparada com o auxílio de explosivos ou corte a frio.

Camisas horizontais - Neste método, uma camisa horizontal é instalada, com o auxílio de macacos hidráulicos, em toda a extensão da zona de rebentação. Em seguida, a tubulação é puxada pelo seu interior. Normalmente a camisa é feita de aço ou concreto armado, e é uma estrutura permanente.

Fluidização do leito - Este é um novo método, o qual não exige uma treliça, e onde o leito do mar é fluidizado com ar e água. A máquina usada para a fluidização é instalada no topo da tubulação. Apenas uma instalação usando este método foi executada com sucesso, ou seja, em Camps Bay, perto da cidade do Cabo, África do Sul (Ref. 14).

5.2.2. Instalação Após a Zona de Rebentação

A instalação a partir da zona de rebentação depende do comprimento unitário das seções a serem instaladas. Para seções curtas, até 20 m, as seções são instaladas, uma a uma, e conectadas com flanges, instalando-se os pesos de concreto simultaneamente. Entretanto, este processo de instalação não leva em consideração as principais vantagens deste material.

O método de instalação mais comumente utilizado em emissários plásticos consiste na pré-montagem da tubulação num corpo d'água relativamente quiescente, perto do local onde será instalado o emissário. As tubulações de PAD e PP podem ser fabricadas usando-se extrusoras móveis, em comprimentos unitários de até 500 m. Estas seções de 500 m podem também ser obtidas soldando-se seções com comprimentos menores.

A tubulação, com as extremidades tamponadas e cheia de ar, já equipada com os pesos de ancoragem, flutua e é rebocada para o local de instalação. Em seguida, é afundada na posição definitiva, com o controle sendo feito pelo processo de air venting.

Pode-se, teoricamente, demonstrar que as forças de empuxo que atuam sobre um tubo em repouso no fundo do mar são muito maiores que sobre um tubo que é colocado a uma pequena distância acima do fundo do mar, através do uso de pesos de ancoragem adequados. À medida

que a erosão e o acomodamento ocorrem, a tubulação pode afundar gradualmente, até que fique em repouso. Quando a máxima força de projeto oriunda das correntes ou das ondas é excedida, o tubo é apenas ligeiramente alçado e move-se para o lado. Sendo flexíveis, as tubulações de plástico são capazes de suportar tais movimentos, enquanto que uma tubulação rígida sofreria o colapso.

Após a instalação, os furos do difusor são feitos debaixo d'água, por meio de mergulhadores que usam gabaritos.

6. CUSTOS

Os custos para sistemas alternativos de tratamento e para tubulações de emissários submarinos foram estimados e são apresentados nos quadros 3 e 4. Os custos foram determinados para três ordens de grandeza de vazão, ou seja, 0,12 m³/s; 1,2 m³/s e 3,0 m³/s.

Quando o custo do tratamento por milipeneiras é somado ao custo do emissário e comparado com o custo de um sistema de tratamento secundário, verificamos que a alternativa com emissário é muito mais econômica. Adicionalmente, uma série de combinações de tratamento por milipeneiramento e emissários terrestre e submarino resultam num custo igual ou menor que o custo de um sistema de tratamento secundário sozinho. Como exemplo, podemos determinar que para a vazão de 1,2 m³/s, o incremento de custo entre o tratamento por milipeneiras e o tratamento secundário equivale ao custo de instalação de 6.580 m de emissário de plástico, o que é consideravelmente mais do que o necessário para a maior parte dos casos.

QUADRO 3

CUSTOS ESTIMATIVOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO

Sistema de Tratamento	Vazão de Projeto		
	0,12 m ³ /s	1,2 m ³ /s	3,0 m ³ /s
Tratamento por milipeneiras			
US\$ milhões	0,40	0,90	2,20
Tratamento secundário			
US\$ milhões	3,25	17,25	32,50

Além dos custos de implantação, deve-se ainda adicionar os custos de operação e manutenção, quando compararmos as alternativas. Para o sistema incorporando milipeneiras e emissário longo, estes custos são consideravelmente menores quando comparados com o tratamento secundário.

QUADRO 4

CUSTOS UNITÁRIOS ESTIMATIVOS PARA EMISSÁRIOS SUBMARINOS BASEADOS NO USO DE TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE E COMPRIMENTO ASSUMIDO DE 3000 m

OS CUSTOS INCLUEM A TORRE DE EQUILÍBRIO

Vazão de Projeto m ³ /s	Diâmetro do tubo, mm		Custo instalado US\$
	Externo	Interno	
0,12	300	272	1.165
1,20	1.000	923	2.500
3,00	1.400	1.313	3.500

7. CONCLUSÕES

1. A escassez de recursos monetários combinada com a recessão econômica atual e os altos custos de energia têm, mais do que nunca, enfatizado a necessidade de soluções para o tratamento e disposição final dos esgotos que utilizem completamente a capacidade natural de assimilação do meio-ambiente, particularmente para países em desenvolvimento.
2. Muitos dos centros urbanos mundiais estão localizados nas costas oceânicas e sistemas podem ser construídos nos quais uma combinação de pré-tratamento mínimo e emissários submarinos longos atendem às exigências de custo e demanda de energia relativamente baixos e, adicionalmente, fornecem a máxima proteção aos recursos e meio ambiente marinho.
3. Tais sistemas adequadamente projetados não devem ser confundidos com os problemas óbvios de poluição causados pela descarga indiscriminada de despejos tóxicos nas águas marítimas.
4. Pesquisas de campo recentes indicam que as milipeneiras podem prover um ótimo pré-tratamento dos despejos anteriormente à dispersão oceânica, enquanto que o tratamento fica limitado à remoção daqueles constituintes que causam problemas estéticos (flutuantes, incluindo graxas). Tais sistemas são geralmente efetivos e econômicos, requerem mínimo espaço e resultam em baixos custos de operação e manutenção.
5. Novos desenvolvimentos nas técnicas de produção e métodos de construção para tubulações de plástico, seja PAD - polietileno de alta densidade ou PP - polipropileno, têm reduzido significativamente os custos de emissários submarinos.
6. A combinação do pré-tratamento usando milipeneiras e emissários de plástico pode prover uma solução para a disposição dos esgotos de cidades costeiras a baixos custos de demanda de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RAWN, AM e PALMER, H.K., Predetermining the Extent of a Sewage Field in Seawater, Proc. ASCE 1929:55.
2. RAWN, AM, BOWERMAN, F.R. e BROOKS, N.H., Diffusers for Disposal of Sewage in Seawater, Journal San.Eng. Div. ASCE, Paper 2424, Março 1960.
3. BROOKS, N.H., Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments, US EPA Report EPA-660/3-73-010, Agosto 1973.
4. ROBERTS, Philip J. W., Dispersion of Buoyant Wastewater Discharged from Outfall Diffusers of Finite Length, CALTECH Report KH-R-33, Março 1977.
5. BASCOM, W., The Non-Toxicity of Metals in the Sea, Revista IAWPR Water Science and Technology, Pergamon Press, 1982.
6. PEARSON, E.A., Conceptual Design of Marine Waste Disposal Systems, International Symposium on Discharging of Sewage from Sea Outfalls, Londres, 1974.
7. PEARSON, E.A., LUDWIG, R.G. e ALMEIDA, S.A.S., Planejamento de Sistemas de Disposição de Esgotos Visando o Mínimo Custo e a Máxima Proteção Ambiental, 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Manus, Brasil, 1979.
8. ALMEIDA, S.A.S. e LUDWIG, R.G., Economic Design of Industrial Wastewater Treatment in Brazil, III Turkish German Environmental Engineering Symposium, Istambul, Turquia, 1979.
9. LUDWIG, R.G. e ALMEIDA, S.A.S., Advance Sewer Planning for Rio de Janeiro Coastline, Water and Sewage Works, Abril 1977.
10. FITZMAURICE, J.R. e HEDGLAND, R.M., Milliscreen Treatment of Municipal Wastewaters, Trans. of the New Zealand Institution of Engineers, Julho 1981.
11. LUDWIG, R.G., Lançamentos Submarinos, Desaparecimento de Coliformes, Revista Saneamento nº 46, Brasil, Jan/Jun 1973.
12. LUDWIG, R.G., The Planning and Design of Marine Outfall Systems, professor convidado, Simpósio da PAHO e Universidade Federico Santa Maria, Valparaíso, Chile, Agosto 1970.
13. Comunicação Pessoal do Engenheiro Fernando Josa, engenheiro-chefe da cidade de Barcelona, Espanha, 1975.
14. LITCHEMBERG, K., The Construction and Burying by Fluidization of an Offshore Sewer Pipe at Camps Bay, near Cape Town.