

Estudo de sistema lagoa-mangue para controle da poluição causada por esgotos nos estuários da ilha de São Luís - MA

Lúcio Antonio Alves de Macedo (*)

Aristides Almeida Rocha (**)

1 — CONSIDERAÇÕES GERAIS

Historicamente, sabe-se que o desenvolvimento de áreas urbanas junto às zonas costeiras e das margens de águas interiores tem determinado a utilização dessas áreas como corpos receptores de seus despejos.

A cidade de São Luís do Maranhão, localizada na ilha de São Luís, é banhada pelos estuários dos rios Anil e Bacanga por onde se estende larga faixa de manguezais que recebem a quase totalidade dos esgotos da cidade, lançados "in natura" ao longo dos estuários. Associado ao rápido crescimento populacional e desenvolvimento que se vem operando na cidade nos últimos quatro anos, em função da implantação dos projetos Ferro-Carajás da Companhia Vale do Rio Doce e Alumar da Alcoa Alumínio, os impactos ambientais e poluição resultantes sobre os manguezais comprometem este importante sistema costeiro, não só do ponto de vista ecológico sanitário como turístico.

Ocupando uma superfície de 518 km², a cidade de São Luís possui ainda um revestimento florístico de cerca de 15% de área coberta por mangues. Estes funcionam como produtores de matéria orgânica que sustenta uma comunidade de populações de peixes, crustáceos e mariscos de valor comercial e também servindo de local para desova, e criadouro dos jovens de algumas espécies que se reproduzem em alto-mar. Além da alta produtividade biológica, os manguezais atuam como protetores de formações costeiras. O sistema de fixação da vegetação faz com que esta comunidade florística constitua um dos melhores agentes para a proteção e estabilização de solos poucos compactos.

O atual sistema de esgotos sanitários da cidade de São Luís atende a cerca de 30% da população, que de

acordo com dados de 1983 é da ordem de 600 mil habitantes e a população atendida pela rede coletora de esgotos de 144.444 habitantes.

Incluindo as contribuições de algumas pequenas indústrias e ligações indevidas de águas pluviais à rede de esgotos, estima-se uma descarga média de aproximadamente 850 l/s nos dois principais corpos receptores, rios Anil e Bacanga.

Os esgotos são de natureza predominantemente doméstica, visto que predominam as atividades de produção no setor primário. Por outro lado a localização de áreas para implantação de indústrias (distrito industrial), exigirá sistema independente dos esgotos industriais, não interligado ao sistema atual.

Tendo em vista as considerações acima e diante da problemática da destinação dos esgotos sanitários da cidade, o presente trabalho apresenta

uma caracterização geral da situação ecológico-sanitária existente nos estuários receptores e propõe uma solução alternativa não convencional que contemple não só o tratamento dos esgotos mas ao mesmo tempo a preservação dos manguezais atualmente em degradação.

2 — SITUAÇÃO ECOLÓGICO-SANITÁRIA DOS ESTUÁRIOS

Ao se observar o mapa da ilha de São Luís (figura 1) e analisar os diferentes tipos de ocupação do solo (atuais e planejados), verifica-se que a baía de São Marcos está totalmente comprometida e que num futuro muito breve as áreas de manguezal, se bem que não atingidas diretamente, o estarão sendo indiretamente alteradas.

Nos estuários dos rios Anil e Bacanga, os manguezais estão sofrendo uma série de impactos induzidos pelo ho-

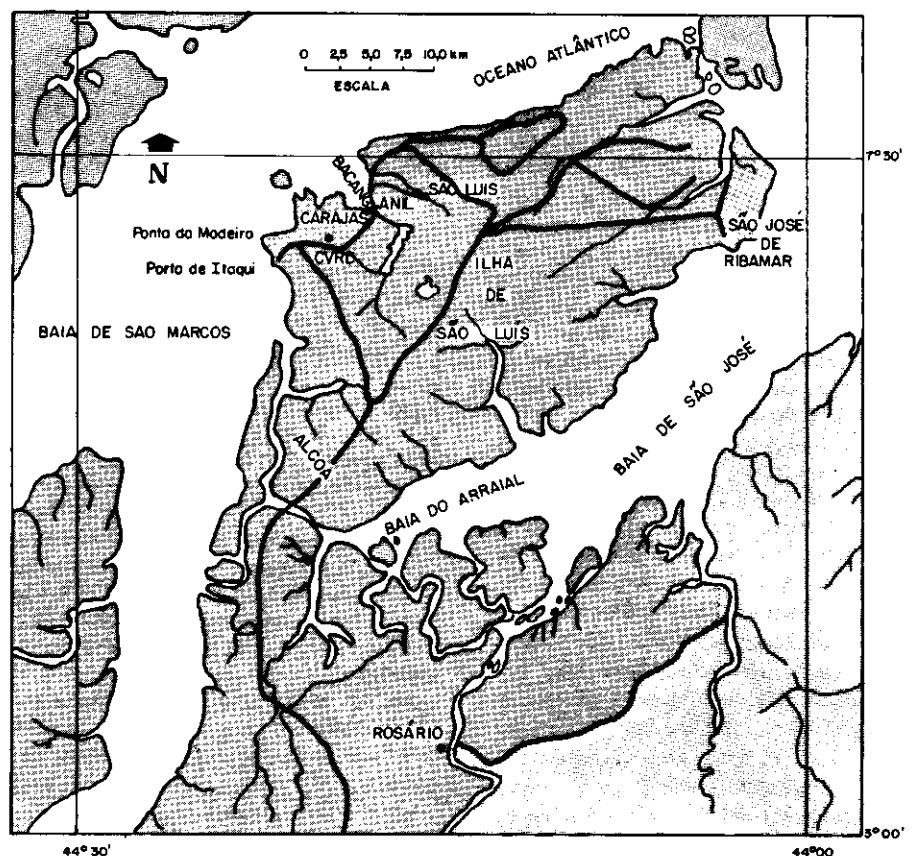


Figura 1 — Ilha de São Luís-MA, com localização dos rios Anil e Bacanga

(*) Engenheiro civil e de Saúde Pública, mestrando em Saúde Pública na USP, professor assistente da Universidade do Estado do Maranhão.

(**) Professor livre docente da Faculdade de Saúde Pública da USP e da Escola de Engenharia Mauá, consultor da OPS/OMS e biólogo da Cetesb.

mem. Extensas áreas foram aterradas para construção de avenidas marginais e conjuntos residenciais, bem como houve a utilização indiscriminada do bosque para lenha, feitura de cercas, extração de tanino e construção civil. Estes impactos associados aos naturais (estiagem, marés, erosão e material sedimentar), vêm de forma acelerada comprometendo estas áreas estuarinas e, particularmente, a fauna aquática se apresenta rarefeita com baixa diversidade. Um desses agentes estressores, os esgotos, produz nos pontos de lançamento respostas visíveis como a eutrofização e recobrimento das raízes e pneumatóforos por sólidos em suspensão. As espécies *Rhizophora mangle* e *Avicennia* têm aspecto "queimado" sofrendo intenso pastoreio por insetos que proliferam nessas áreas.

Em 1982, a Universidade Federal do Maranhão realizou estudos de verificação da poluição química e biológica na bacia dos rios Anil e Bacanga a partir da identificação dos vários pontos de lançamentos de esgotos com base no cadastro das redes coletoras de esgotos da Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (Caema).

O rio Anil tem um curso de cerca de 13 km, vazão da ordem de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ e recebe esgotos de uma bacia com rede coletora de 252.049,26 m de extensão; esta bacia do rio Anil compreende a maioria dos bairros e conjuntos habitacionais da cidade e ainda parte do centro comercial e administrativo. O rio Bacanga que depois de um curso de 9,5 km lança-se no lago do Bacanga, onde é barrado, tem vazão da ordem de $9 \text{ m}^3/\text{s}$ e recebe esgotos contribuintes de uma bacia com rede coletora de 81.608,32 m de extensão; esta bacia compreende parcela dos bairros e conjuntos habitacionais restantes e grande parte do centro da cidade. Este último e alguns dos bairros mais adjacentes contribuem para uma rede coletora de 64.336,50 m de extensão, cujos lançamentos são feitos nos dois rios (figura 2).

Nos estudos efetuados através de cinco pontos de amostragem (figuras 3 e 4), com coletas de material nos dois períodos de marés (preamar e baixa-mar) ao longo de um ano (estação seca e chuvosa), foi possível determinar alguns dos parâmetros de qualidade das águas dos rios Anil e Bacanga, quais sejam: transparência, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e número mais provável de bactérias coliformes. Tomando uma média dos cinco pontos de coleta, tem-se os seguintes resultados inseridos na Tabela 1.

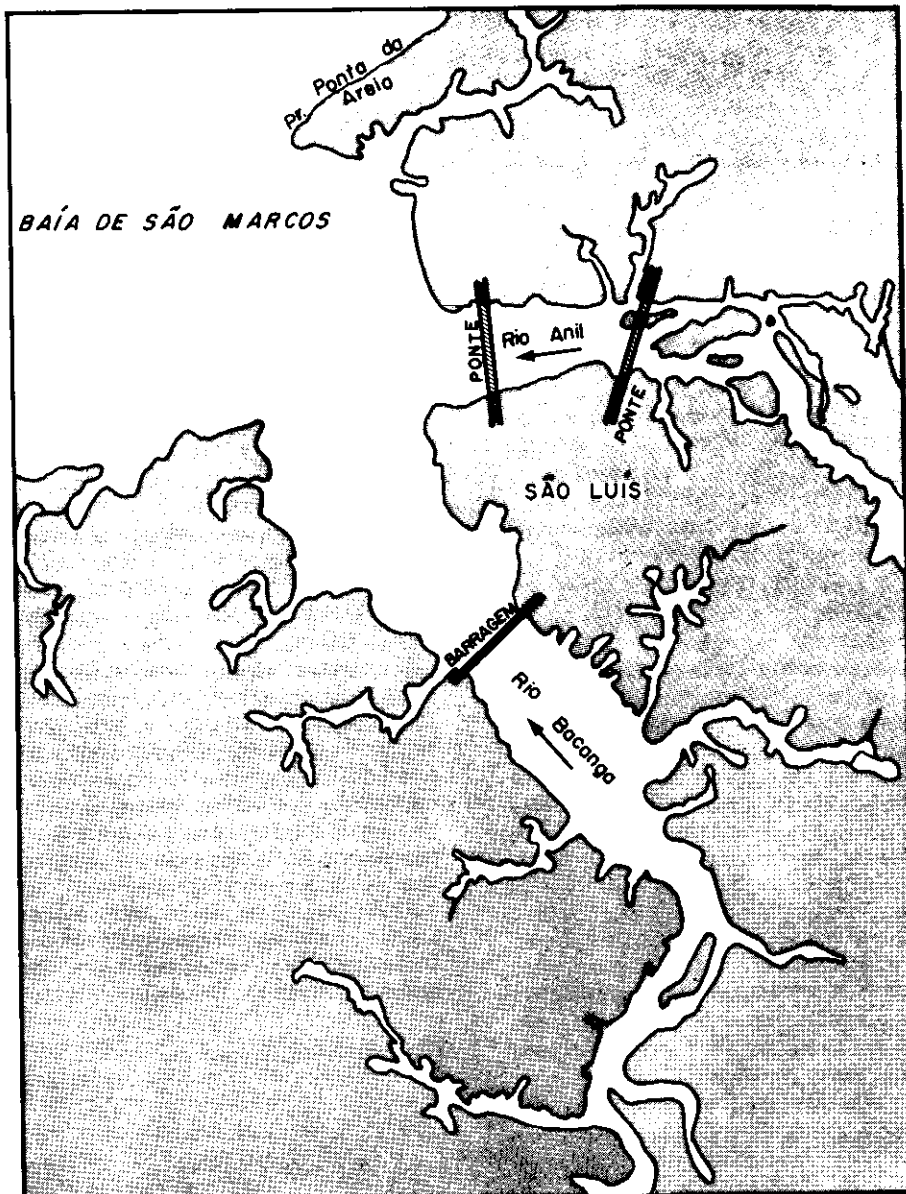


Figura 2 — Mapa demonstrativo das desembocaduras dos rios Anil e Bacanga na baía de São Marcos

Tabela 1 — Dados físico-químicos e biológicos — rios Anil e Bacanga

Rio	Transparência (m)		pH	OD (mg/l)	DBO ₅ , 20°C (mg/l)	NMP coli fecal/100 ml
	Est. Chuv.	Est. Seca				
Anil	0,30	0,40	7,0	3,2	5,80	10 ² a 10 ⁶
Bacanga	0,30	0,40	7,0	3,7	7,14	10 ² a 10 ⁶

O lançamento direto dos esgotos nos rios e manguezais tem contribuído para a degradação ambiental das áreas estuarinas dos rios Anil e Bacanga, tornando-as impróprias ao desenvolvimento de certos organismos, em função do decréscimo da capacidade fotossintetizante dos organismos produtores e estímulo do crescimento de vegetais indesejáveis pelo aumento de nutrientes e matéria orgânica.

Quanto aos manguezais da ilha de São Luís o estudo das consequências

ecológicas em função do contínuo lançamento de esgotos é ainda preliminar tendo-se, no entanto, observado algumas áreas que apresentam visíveis sinais de degradação. A fisionomia da vegetação mostra modificações de tamanho das folhas ou a ausência destas. Observando, por exemplo, os manguezais do bairro do Coroadó, ao lado do rio das Bicas, um afluente do Bacanga, verificam-se intensas modificações ocorridas nos mangues primitivos. Esta área que fora totalmente

aterrada, primeiro para construção de uma estrada, depois para construção de casas e ruas de acesso, teve seus mangues praticamente destruídos restando uma vegetação rasteira quase ressequida, localizada perifericamente. O Coroado, antes um pequeno porto, apresentava igarapés ligando o manguezal do Bacanga às terras firmes do vizinho bairro do João Paulo (o bairro mais populoso da cidade de São Luís). Atualmente estes igarapés foram transformados em canais de escoamento de esgotos que desembocam no rio Bacanga e nas margens dos igarapés, os mangues, pelas modificações do substrato e da salinidade desapareceram.

Nesse ecossistema aquático degradado procurou-se conhecer o déficit de saturação de oxigênio dissolvido. Entretanto, a aplicação das clássicas formulações matemáticas de Streeter e Phelps, para os rios Anil e Bacanga, está sujeita a algumas limitações em função das variáveis e características locais. Interessante seria, além do conhecimento dos coeficientes K_1 (desoxigenação) e K_2 (reaeração), estimar também, o α (oxigênio endógeno), K_3 (DBO do material que sedimenta) e o p (demanda bentônica de oxigênio). Contudo, a exemplo de outras regiões brasileiras, a inexistência de dados impede no momento que se proceda ao cálculo desses coeficientes.

Assim, para os rios Anil e Bacanga, que recebem vários lançamentos ao longo de suas calhas estuarinas, além das contribuições de marés da baía de São Marcos, em uma primeira tentativa foram avaliados apenas os coeficientes K_1 e K_2 .

Na estimativa do déficit de saturação de oxigênio foram consideradas duas situações antagônicas, isto é, com e sem a existência de reaeração.

Convém ressaltar que o máximo valor encontrado no estudo de laboratório (Universidade Federal do Maranhão) para o OD respectivamente nos rios Anil e Bacanga foi de 5,73 mg/l e 5,97 mg/l.

Isso ocorre uma vez que existem outros lançamentos ao longo dos rios. Todavia comparando estes valores aos encontrados no tempo de percurso zero (que corresponde ao ponto de lançamento), percebe-se uma aproximação com os resultados da tabela 2. Portanto o modelo de Streeter e Phelps é válido para este ponto.

* limite sanitário 3,0 mg/l

** solubilidade do oxigênio — valor de saturação a 27°C = 7,86 mg/l (Revista DAE n.º 62 Set/1966)

— Situação A: cálculo do déficit de oxigênio sem considerar a reaeração

● Dados e características dos esgotos:

- População esgotável em 1982 — 170.083 habitantes
 - a) bacia do rio Anil — 118.172 habitantes
 - b) bacia do rio Bacanga — 51.371 habitantes
- Vazão média dos esgotos — 566,94 l/s
 - a) bacia do rio Anil — 395,70 l/s
 - b) bacia do rio Bacanga — 171,24 l/s
- Características do esgoto
 - DBO_{∞} = 200 mg/l — (para os dois rios)
 - OD_{∞} considerado a montante dos lançamentos
 - a) rio Anil — 5,73 mg/l (T = 27°C)
 - b) rio Bacanga — 5,97 mg/l (T = 27°C)
 - Dados dos cursos d'água receptores
 - Vazão mínima média mensal:
 - a) rio Anil — 18,05 m³/s
 - b) rio Bacanga — 10,00 m³/s

1 — Cálculo do déficit de oxigênio nos rios

1.1 — Carga poluidora lançada aos rios

- a) rio Anil : 395,70 l/s x 200 mg/l =
= 79.140 mg/s = 79,14 g/s DBO
- b) rio Bacanga : 171,24 l/s x 200 mg/l =
= 34.248 mg/s = 34,29 g/s DBO

1.2 — Concentração de oxigênio transportada pelos rios

- a) rio Anil : 5,73 mg/l x 18,05 m³/s =
= 103.426,50 mg/s = 103,43 g/s DO
- b) rio Bacanga : 5,97 mg/l x 10,00 m³/s =
= 59.700,00 mg/s = 59,70 g/s OD

1.3 — Cálculo do déficit de O₂ após o lançamento

- a) rio Anil : (103,43 - 79,14) g/s = 24,29 g/s,
24,29 g/s
assim: : $\frac{\quad}{18,05 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,35 \text{ g/m}^3 = 1,35 \text{ mg/l}$
- $D = OD_{\text{saturação (tab.)}} - OD_{\text{calculado}} = 7,86 - 1,35 = 6,51 \text{ mg/l}$
- b) rio Bacanga : (59,70 - 34,29) g/s = 25,4 g/s,
25,41 g/s
assim: : $\frac{\quad}{10,00 \text{ m}^3/\text{s}} = 2,54 \text{ g/m}^3 = 2,54 \text{ mg/l}$

$$D = OD_{\text{saturação (tab.)}} - OD_{\text{calculado}} = 7,86 - 2,54 = 5,32 \text{ mg/l}$$

Assim, a análise dos resultados sem reaeração evidencia:

- \overline{OD} rio Anil-Laboratório = 3,2 > OD calculado = 1,35 mg/l
- \overline{OD} rio Bacanga-Laboratório = 3,7 > OD calculado = 2,54 mg/l

— Situação B: Cálculo do déficit de oxigênio considerando a reaeração, com a aplicação da fórmula de Streeter e Phelps.

● Dados e características dos esgotos:

- Vazões dos esgotos:
 - a) bacia do rio Anil = 395,70 l/s
 - b) bacia do rio Bacanga = 171,24 l/s
- Características:
 - DBO = 200 mg/l
 - DBO do 1.º estágio DBO x 1,76 = 292 mg/l
 - OD = zero

● Dados e características do curso d'água receptor

- Vazão média mensal:
 - rio Anil: 18,05 m³/s
 - rio Bacanga: 10,00 m³/s
- Características das águas a montante do lançamento:
 - DBO padrão = 3,0 mg/l
 - DBO do 1.º estágio = 4,4 mg/l
 - OD Anil = 5,73 mg/l
 - OD Bacanga = 5,97 mg/l
 - OD Saturação = 7,86 mg/l

— Temperatura de estudo: 27°C

— Coeficientes:

- K_1 (desoxigenação) : $[K_1]_{20^\circ} = 0,17/\text{dia}$ (adotado)
- K_2 (reaeração) : $[K_2]_{20^\circ} = 2,15/\text{dia}$ (adotado)

1 — Cálculo do déficit de oxigênio dissolvido a jusante do lançamento

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 \cdot 10^{-K_2 t}$$

$$OD = OD_{in} - D$$

1.1 — Cálculo de K_1 :

$$\begin{aligned} (K_1) &= (K_1)_{20^\circ} \times (1,045)^{T-20} \\ (K_1)_{27^\circ} &= (K_1)_{20^\circ} \times (1,045)^{27-20} \\ (K_1)_{27^\circ} &= 0,17 \times 1,1045^7, \text{ assim } (K_1)_{27^\circ} = 0,23/\text{dia} \end{aligned}$$

1.2 — Cálculo de K_2 :

$$\begin{aligned} (K_2)_{20^\circ} &= (K_2)_{20^\circ} \times (1,024)^{T-20} \\ (K_2)_{27^\circ} &= (K_2)_{20^\circ} \times [(1,024)^{20-27}] \\ (K_2)_{27^\circ} &= 2,15 \times 1,024^7, \text{ assim } (K_2)_{27^\circ} = 2,54/\text{dia} \end{aligned}$$

1.3 — Cálculo de L_0 (DBO inicial do 1.º estágio após a mistura)

$$L_0 = \frac{Q_{\text{esg.}} \text{ DBO}_{1.^\circ \text{ est. esg.}} + Q_{\text{rio}} \times \text{DBO}_{1.^\circ \text{ est. rio}}}{Q_{\text{esg.}} + Q_{\text{rio}}}$$

$$L_0 = \frac{395,70 \times 292 + 18050 \times 4,4}{395,70 + 18050} \text{ assim,}$$

$$L_0 = 10,57 \text{ mg/l}$$

Anil

$$L_0 = \frac{171,24 \times 292 + 10.000 \times 4,4}{171,24 + 10.000} \text{ assim,}$$

$$L_0 = 9,24 \text{ mg/l}$$

Bacanga

1.4 — Cálculo de D_0 (Déficit inicial de OD)

$$D_0 = OD_{in} - \frac{Q_{\text{rio}} \times OD_{\text{rio}} + Q_{\text{esg.}} \times OD_{\text{esg.}}}{Q_{\text{rio}} + Q_{\text{esg.}}}$$

$$D_0 = 7,86 - \frac{18050 \times 5,73 + 395,70 \times 0}{18050 + 395,70} \text{ assim,}$$

$$D_0 = 2,26 \text{ mg/l}$$

Anil

$$D_0 = 7,86 - \frac{10000 \times 5,97 + 171,24 \times 0}{10000 + 171,24} \text{ assim,}$$

$$D_0 = 1,99 \text{ mg/l}$$

Bacanga

1.5 — Cálculo de D (déficit de oxigênio dissolvido)

Para os tempos de percurso, após lançamento dos esgotos de 0; 0,5; 1,0 dia, têm-se os seguintes valores de OD para os rios Anil e Bacanga, que estão inseridos na tabela 2.

Tabela 2 — Valores de oxigênio dissolvido — rios Anil e Bacanga

Tempo de Percurso (dias)	Déficit de Oxigênio (D) (mg/l)		Oxigênio Dissolvido (OD) (mg/l)	
	Anil	Bacanga	Anil	Bacanga
0	2,26	1,99	5,60	5,87
0,5	0,87	1,62	6,99	6,24
1,0	0,07	0,05	7,79	7,81

Assim a análise dos resultados com reeração evidencia

$$- \overline{OD}_{\text{rio Anil Laboratório}} = 3,2 < \overline{OD}_{\text{calculado}} = 6,79 \text{ mg/l}$$

$$- \overline{OD}_{\text{rio Bacanga Laboratório}} = 3,7 < \overline{OD}_{\text{calculado}} = 6,64 \text{ mg/l}$$

3 — PROPOSTA DE SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA A PRESERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS MANGUEZAIS COM O USO DE PROCESSOS NATURAIS DE TRATAMENTO

A par da importância ecológica dos manguezais, dois aspectos antagônicos devem ser ressaltados quanto às possibilidades de seu aproveitamento. De um lado, essas áreas representam um terreno não utilizável ou pelo menos de difícil utilização, ao ser considerada sua ocupação para a construção de indústrias e residências e de outro os mangues apresentam alta produtividade de matéria orgânica, em média, de 16 g/m² . dia (6).

Assim o lançamento de cargas poluidoras pode provocar várias alterações, tendo em vista sobretudo que o ecossistema manguezal é muito frágil, em função das condições especiais, não só da reprodução dos organismos que nele vivem, como também de sua própria capacidade de reprodução e, portanto, qualquer alteração dos seus parâmetros físicos e químicos pode vir a destruí-lo completamente (7).

Por essas razões, a utilização de terras alagadas como sistemas naturais para controle da poluição só teve início a partir de 1978, conforme os registros bibliográficos apresentados a seguir.

A despeito das dificuldades inerentes aos próprios sistemas de gerenciamento e projeto, nessas áreas estas podem ser usadas para tratar águas residuárias após o tratamento ou seja como sistema de polimento para receber os efluentes de sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias, sem prejudicar o ecossistema aquático receptor.

Realmente as águas residuárias contêm nutrientes incorporados que podem aumentar a produtividade de muitos ecossistemas, resultando em melhoria de ambientes não cultivados e enriquecidos no seu valor produtivo e estético.

Normalmente, já pela sua própria posição geográfica, os manguezais recebem carga de esgotos. No caso da cidade de São Luís, ladeada pelos rios Anil e Bacanga que recebem os esgotos da quase totalidade da população servida por rede coletora, estes esgotos vão ter primeiro nos manguezais que margeiam os dois rios. Porém os esgotos descarregados nos manguezais sem nenhum controle, de quantidade e qualidade, são lançados em diversos pontos desordenadamente e sem prévio tratamento, conforme já exposto anteriormente. Tais lançamentos acompanham, simplesmente, a expansão urbana da cidade, não existindo sistema de interceptação de esgotos e nenhum tratamento corretivo antes do lançamento final.

Para Odum e Johannes (5) que em 1975 estudaram a utilização racional dos manguezais como estações naturais de tratamento de esgotos, os solos podem funcionar como receptores eficientes de nutrientes e meios extraordinários para a remoção do nitrogênio que se encontra no esgoto, através da desnitrificação. Certas características das comunidades de mangues sugerem seu uso para tratamento terciário de esgoto:

- as partículas muito finas de argila que compõem o substrato dos manguezais possuem alta capacidade de absorver e adsorver nutrientes;
- o substrato do manguezal possui um micromosaico de condições aeróbias e anaeróbias que favorecem a desnitrificação (a produção de nitrogênio gasoso a partir de nitratos), processo este também facilitado pelas condições alteradas de inundação e ressecamento e pela presença de alta taxa de matéria orgânica;
- os manguezais necessitam de um "input" contínuo de nutrientes para manter sua produtividade; esse "input" pode ser fornecido pelo esgoto, inclusive, o que poderia aumentar sua produtividade para o benefício de todo o estuário.

Ainda sobre a utilização dos manguezais para tratamento de esgotos, segundo Kolehmainen (3), comunidades bem desenvolvidas, aderidas às raízes, são geralmente encontradas dentro ou na borda de extensos manguezais o que indicaria que o alimento disponível para os organismos sésseis seria produzido somente pelo manguezal. Isto não parece ser, entretanto, totalmente correto, pois além de alimento, outros fatores, como, por exemplo, esgotos domésticos, influem no estabelecimento e desenvolvimento das comunidades.

Tabela 3 — Resultados operacionais do National Laboratory, Upton, Nova Iorque, agosto de 1976

Parâmetro (mg/l)	Locais	
	Afluente	"Marsh-Pond"
Demanda bioquímica de oxigênio	170	19
Sólidos em suspensão	353	43
Demanda química de oxigênio	495	58
Sólidos totais	562	206
Nitrogênio total	25,2	9,5
Fósforo total	7,2	2,1
Coliformes fecais (*)	59.606	50

(*) NMP Coli/100 ml
Fonte: Dinges, 1982 (2).

Valiela et al (9), pesquisando a aplicação de efluentes de águas residuárias, concluíram que a aplicação de lodos nos manguezais, embora estes fossem sujeitos ao fluxo de marés, poderiam reter significantes quantidades de nutrientes. Eles sugeriram que o nitrogênio era totalmente responsável pelo crescimento da biomassa nos manguezais, desde que o fósforo já estivesse presente nos sedimentos marinhos dos estuários.

Estudos que têm sido efetuados desde 1973, no Brookhaven National Laboratory, em Upton, Nova Iorque, como relata Dinges (2), indicam a possibilidade do uso de uma combinação "marsh-pond" (brejo-lagoa de estabilização) como sistema de tratamento de águas residuárias. Os resultados dessas pesquisas são relatados por Small (8) e apresentados na tabela 3, acima.

Com efeito, mesmo com referência aos dados pesquisados, esse tipo de utilização para manguezal ainda não está bem pesquisado e ressalta-se que poderá ocorrer uma mortalidade significativa da fauna do manguezal, devido ao decréscimo nos níveis de oxigênio, que já são normalmente baixos nas águas de mangue, causado por um aporte de esgoto.

No caso particular da ilha de São Luís, onde os rios Anil e Bacanga e os respectivos manguezais recebem esgotos "in natura", a utilização de um sistema que, ao mesmo tempo, pudesse tratar os esgotos e dispô-los sob a forma de efluentes já tratados em áreas de manguezais apropriadas ou mesmo em manguezais já degradados, visando a sua recuperação, deverá constar de uma lagoa de estabilização, associada a uma área de mangue, constituindo uma estação natural "lagoa-mangue" para tratamento de esgoto.

A disponibilidade de terras com manguezais, a situação sanitária presente, anteriormente descrita, e o baixo custo de instalação e manuten-

sistema "marsh-pond" no Brookhaven durante o período de agosto de 1975 a

ção/operação deste sistema são fatores justificativos para um estudo apurado, visando, com experimentações, obter dados sobre a validade e emprego desse processo natural para tratamento de esgotos.

O uso de lagoas de estabilização para tratamento de esgotos domésticos tem sido cada vez mais difundido. Quando o valor da terra é alto, o baixo custo da produção e da operação, ao lado da necessidade de técnicos menos especializados para sua operação, faz com que a lagoa de estabilização seja o método escolhido. Paralelamente, tem-se em vista as condições climáticas de São Luís, favoráveis a instalações que visam baixo custo e boa eficiência. Mesmo que se considere terem sido os rios Anil e Bacanga classificados como classe 2, já bastante comprometidos, não se permite o lançamento em suas águas de efluentes que não satisfaçam à portaria 0013, da Sema.

O maior obstáculo à utilização de lagoas de estabilização tem sido a qualidade de seus efluentes, lançados ao corpo do receptor com alta concentração de algas e poluentes em potencial. Com a restrição cada vez maior dos padrões de qualidade para lançamento nos corpos de água receptores dos efluentes de esgotos, especialmente no que diz respeito à DBO e sólidos em suspensão, torna-se mais e mais necessário melhorar o efluente dessas lagoas, separando ou eliminando as algas e removendo ou absorvendo os nutrientes. Nesse caso, a finalidade do sistema lagoa-mangue é a de justamente melhorar a qualidade dos efluentes, funcionando a área de mangue como se fosse uma lagoa de maturação associada à lagoa de estabilização, servindo de polimento para obtenção da qualidade de um efluente dentro dos parâmetros exigidos pela Legislação Federal, que classifica os corpos de água interiores em todo o território nacional.

4 — METODOLOGIA PARA O ESTUDO E EXPERIMENTAÇÕES

Sabe-se que qualquer variação no biótopo (ambiente físico-químico) pode causar modificações, sejam estas aparentes ou não, na estrutura da comunidade (biocenose) existente no local num determinado momento. A tendência após a seletividade do meio é a ocorrência de sucessões até haver o aparecimento de comunidade "clímax", isto é, aquela melhor adaptada às novas condições ambientais reinantes. Acontece, entretanto, que não se pode prever quais espécies prevalecerão após as mudanças ambientais.

Quanto à produtividade, sabe-se que altas taxas de produção, tanto em ecossistemas naturais como em áreas cultivadas, ocorrem quando fatores físicos são favoráveis e especialmente quando há aportes de energia de fora do sistema, que reduzem o custo da manutenção. Tal aporte energético pode ser fornecido pelas marés em um estuário (1). De acordo com Odum (4), a alta produtividade dos estuários é devida principalmente a dois fatores: a) presença de todos os tipos de produtores (árvores, gramíneas, fitoplâncton, zooplâncton e microrganismos) e b) poder de auto-enriquecimento de que o sistema é dotado devido à rápida retenção e reciclagem de nutrientes. Os estuários geram mais energia do que podem usar (a fotossíntese excede a respiração), resultando na exportação de nutrientes e detritos orgânicos para o oceano, o que pode aumentar a produtividade das águas costeiras.

Com base nas considerações anteriores, pode-se estabelecer que um programa cujo objetivo seja estudar a qualidade atual dos manguezais, no que se refere, principalmente, à poluição por esgotos, bem como fazer experimentações a partir de implantação de uma estação piloto, deve considerar os seguintes aspectos e pontos básicos:

- mapeamento dos mangues dos rios Anil e Bacanga;
- inventário da flora e fauna nas áreas estudadas;
- escolha de pontos críticos de amostragem;
- conhecimento das marés e intrusão salina;
- cadastramento dos pontos de lançamentos de esgotos e de fontes de poluição;
- sedimentometria e composição dos sedimentos;
- análises de água nos pontos de amostragem, constando de:

- oxigênio dissolvido (OD),
- demanda bioquímica de oxigênio (DBO),

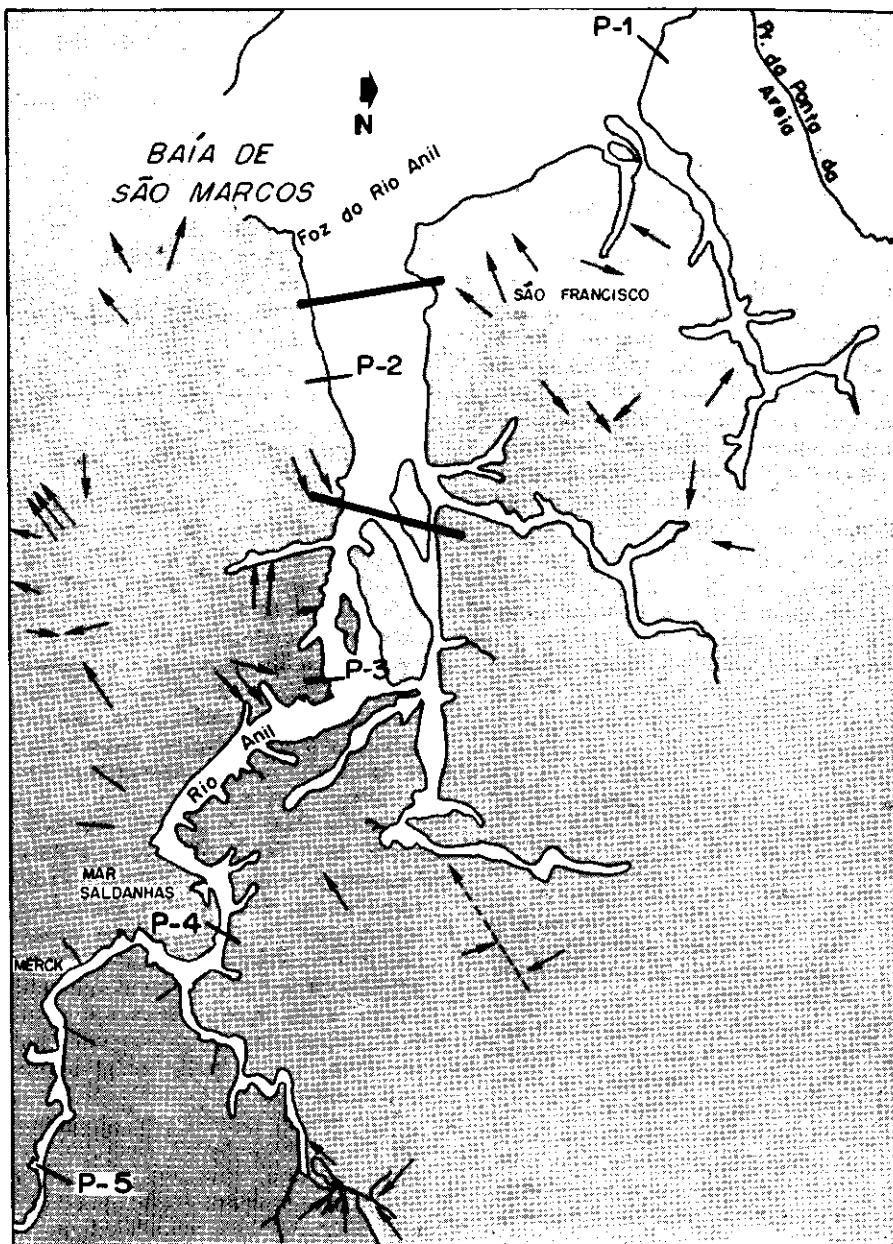


Figura 3 — Mapa demonstrativo dos pontos de amostragem (P-1 a P-5) no rio Anil (as setas indicam os pontos de lançamento)

- nitrogênio total (N total),
- fósforo total (P total);

h) análise de sedimento nos pontos de amostragem, constando de:

- demanda bioquímica de oxigênio (DBO),
- demanda bentônica de oxigênio,
- bentos;

i) determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura nos pontos de amostragem, das amostras de superfície e de fundo;

j) verificações de transparência da água;

k) análises bacteriológicas nos pontos de amostragem, das amostras de superfície e de fundo;

l) análise de algas nos pontos de amostragem, constando de:

- identificação,
- reações às novas condições ambientais;

m) determinações de vazões e velocidades nos pontos de amostragem, tanto relativas aos rios receptores de esgotos, quanto também aos esgotos afluentes;

n) determinações de salinidade;

o) verificações de performance da estação experimental, constituída de uma lagoa facultativa e área de mangue, onde serão feitas medidas de DBO afluente e efluente, OD afluente e efluente e coliformes na entrada e na saída do sistema por um período mínimo de um ano, nos diferentes períodos de sazonalidade do ano e

p) outras medidas e análises que se fizerem necessárias, principalmente para avaliar o comportamento da tra-

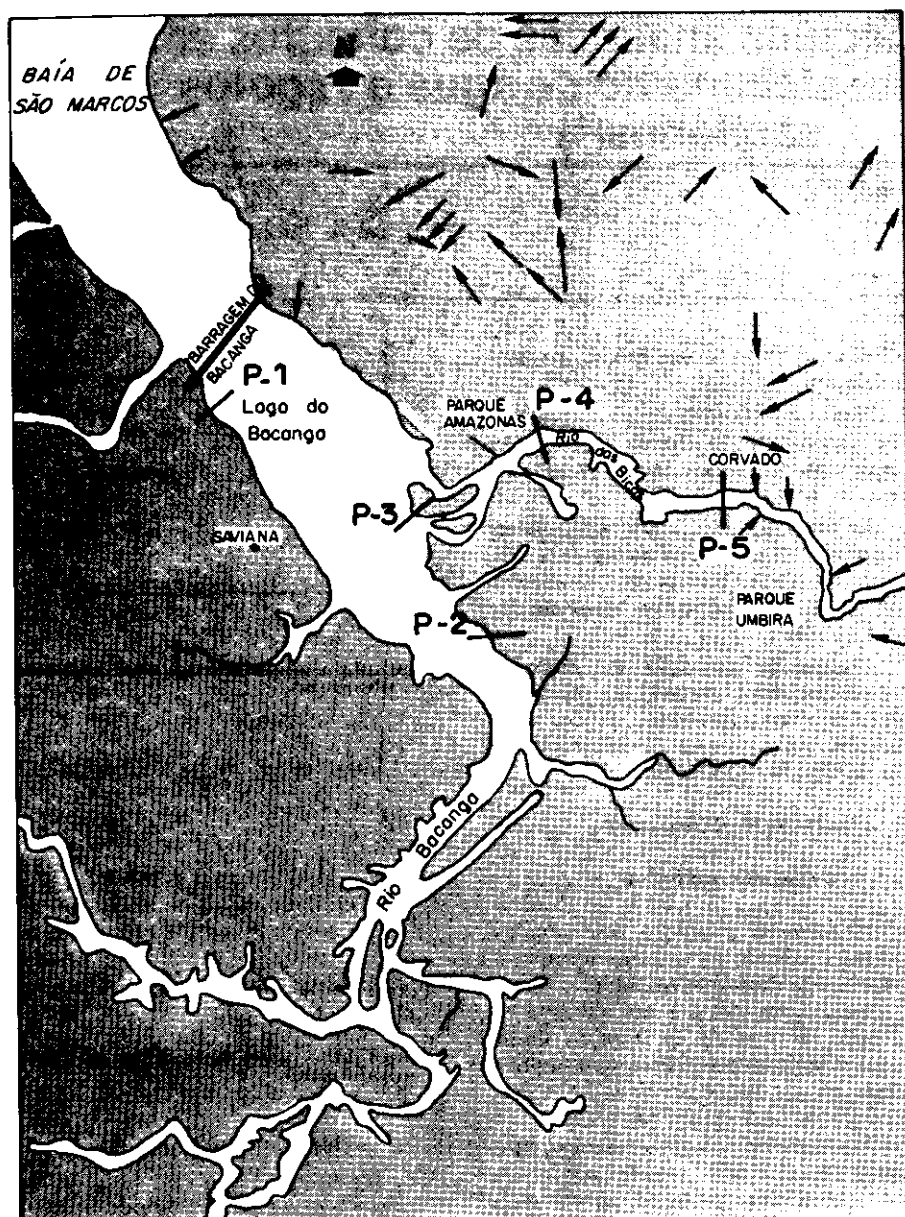


Figura 4 — Mapa demonstrativo dos pontos de amostragens (P-1 a P-5) no rio Bacanga (as setas indicam os pontos de lançamento)

tabilidade do sistema lagoa-mangue.

A partir destas análises e medidas, deverá ser feita uma seleção dos parâmetros que melhor representam o grau de poluição das águas do estuário e a degradação da flora e da fauna dos manguezais. Para um melhor acompanhamento, deverão ser feitas análises em áreas não degradadas, onde não existam lançamentos de esgotos e em áreas críticas, sujeitas a vários lançamentos. Estas áreas serão, em termos de resultados das análises, comparadas com aquela que abrange a estação-piloto.

O número de amostragens deverá abranger um período sazonal completo, variando a hora de uma coleta para outra, entre os períodos de maré alta e maré vazante.

Em termos de etapas dos trabalhos, pode-se dividi-las em duas, a saber:

— conhecimento do ecossistema nos

pontos de amostragens, de acordo com a metodologia comentada e,

— experimentações no sistema lagoa-mangue, conforme a metodologia comentada.

5 — RECOMENDAÇÕES

Com base nos estudos já realizados e considerando a velocidade com que vem se processando a expansão urbana e do parque industrial na área de São Luís, entende-se de maior importância:

— que sejam adotadas providências urgentes no sentido da concepção de um programa de tratamento de esgotos, no sentido de preservar e controlar o ambiente estuarino, além da orla marítima, desde a foz dos rios Anil e Bacanga, na baía de São Marcos, até a faixa das praias;

— que sejam construídos intercep-

tores ao longo dos rios Anil e Bacanga, antes que estes se transformem em verdadeiros canais de esgotos a céu aberto e,

— que se pesquisem soluções alternativas para tratamento de esgotos, que possam ser tecnicamente viáveis e ecológica e sanitariamente aceitáveis, antes de projetar os convencionais sistemas de disposição no mar, através de emissário submarino, cujos custos e prazos de execução, aliados à dificuldades construtivas, certamente transfeririam a programação de tratamento por algum tempo; isto sem levar em conta que a baía de São Marcos está hoje totalmente comprometida com os projetos que estão sendo implantados na cidade.

Dessa forma, fica clara a necessidade de recuperação de áreas onde têm havido extensas perdas de manguezais ao longo dos estuários, além de dano em muitos que ainda não foram totalmente destruídos. Normalmente, a sucessão secundária leva a um repovoamento dos bosques danificados, porém, em casos nos quais o mangue foi destruído ou cortado, a natureza pode falhar nesse restabelecimento. Portanto, a restauração ativa deve ser estimulada, a fim de acelerar a recuperação natural.

6 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — CAMARGO, T. M. 1982. **Comunidades naturais de raízes de mangue vermelho e experimentos com substratos artificiais na região de Cananéia/Brasil**. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, 102 p.
- 2 — DINGES, R. 1982. **Natural systems for water pollution control**, Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, New York.
- 3 — KOLEHMAINEN, S. E. 1973. **Ecology of sessile and free — living organisms on mangrove roots in Jobs Bay**. In: Aguirre Power Project Environmental Studies, 1972. Ann. Rep. PRNC-162:141-173.
- 4 — ODUM, E. P. 1973. **Fundamentals of Ecology**. 3 ed., Philadelphia, Saunders.
- 5 — ODUM, W. E. and JOHANNES, R. E. 1975. **The response of mangrove to man-induced environmental stress**. In: FERGUSON, E. J. and JOHANNES, R. E., eds. **Tropical Marine Pollution**. Amsterdam, Elsevier Sci., p. 56-62.
- 6 — ROCHA, A. A. 1975. **Apreciação e considerações gerais sobre os problemas decorrentes do aterro em mangues**. Aspectos ecológicos-geográficos. Relatório Cetesb.
- 7 — ROCHA, A. A. et alii. **Contribuição ao conhecimento do estado ecológico-sanitário dos manguezais da costa brasileira**. Cetesb. 12.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Santa Catarina, nov. 1983.
- 8 — SMALL, M. M. and WURM, C. 1977. **Data report meadowmarsh pond system**, Brookhaven National Laboratory. Report 50675, april, 1977.
- 9 — VALIELA, I. TEAL, J. M. and SASS, W. **Nutrient retention in salt marsh plots experimentally fertilized with sewage sludge**, *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1: 261 (1973).