

Produção de alimentos, aproveitamento energético e reciclagem de nutrientes em um sistema ecológico de tratamento de resíduos orgânicos (*)

Samuel Murgel Branco (1)
Ricardo Silveira Bernardes (2)
Carlos Eduardo Matheus (4)

ABSTRACT

The idea that has guided this paper which has been developed in the C. R. H. E. A. — Water Resources and Applied Ecology Centre of São Paulo University in São Carlos, São Paulo, Brazil, has arisen in order to integrate some of the many forms of biological treatment of organic wastes in a single and wider system provided with elastic connections among their parts, i.e., the elaboration of a system in which there could be various alternatives for treating several types of organic wastes and the reclamation of the products derived from the stabilization of these wastes to produce, economically, useful vegetables, animal protein a fish, pork and other kinds of meat from domestic animals and energy which could be used to operate some parts of such a system.

Thus, all the parts of the system would be interconnected and would work according to the needs of the moment, i.e., alternatively, concomitantly, in series, in parallel and so on.

The operation of the system starts by introducing raw wastes from a pigsty into a primary settling tank. After some period of sedimentation this material is divided into two parts:

— the supernatant that can be transferred to a stabilization pond or to any other treatment process;

— the coarse material that settles which can be anaerobically treated in a biodigester.

The effluent from the stabilization pond can be used in various ways such as land disposal (irrigation), hydroponic cultures (taro, yam, etc.) or even in secondary and tertiary maturation ponds for nutrients remo-

val by making use of fish, aquatic macrophytes etc.

Thus, the excreta from man, pig, and other domestic animals after being properly biologically treated are transformed into living biomas (algae, crustaceans, fish, aquatic macrophytes, and other economically useful animals) which can be reclaimed as food for the very organisms involved, closing the circle.

The waste stabilized in the anaerobic biodigester can among other things be made viable as gas production which would be useful on providing the system with another source of alternative energy.

Also, we could think of using aquatic macrophytes which have been developed in the maturation ponds as another alternative for supplying raw material to the biodigesters.

These are some possibilities our of many others that such a system can offer.

We could not help emphasizing that the scheme that has been suggested works as a complete ecological system in which there is a series of links on the food chain from producers (algae and higher vegetables) up to consumers of the 3rd. and 4th. order as men themselves as they profit from products arising from organic matter stabilization processes.

1 Introdução

O presente trabalho constitui uma breve notícia sobre os resultados gerais obtidos no projeto já apresentado em número anterior desta Revista (1) em desenvolvimento no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP-Universidade de São Paulo. Análises mais completas de alguns desses resultados têm sido objeto de outras publicações, como a que relatou os dados obtidos em culturas hidropônicas (2) e teses, como a referente à criação de tilápias em lagoas de estabilização (3) ou a que está nesse momento sendo revisada, para próxima defesa, sobre a disposição dos esgotos em sistemas de irrigação (4). Espera-se que muitas outras contribui-

ções à Ecologia Aplicada continuem sendo produzidas por aquele importante centro de pesquisas da Universidade de São Paulo.

Nos dias de hoje, os efeitos negativos decorrentes do aumento da população já são bem visíveis e sentidos diariamente em vários segmentos de nossa sociedade e em todas as regiões do planeta.

Entre os efeitos perniciosos, destacam-se a demanda crescente de alimentos, cuja produção infelizmente não acompanha o ritmo de nascimento de novos seres humanos. Este aspecto está claro e mais do que evidenciado através de nossos constantes noticiários que não se cansam de mostrar a espantosa marcha da fome que assola cada vez mais a Humanidade.

Outra consequência do aumento populacional é a crescente demanda de energia requerida para atender às mais diversas atividades humanas.

O que agrava o problema é que boa parte dessa energia tem sido conseguida a partir de fontes não renováveis, antevendo-se dessa forma um quadro bem mais pessimista em relação à disponibilidade de energia num futuro próximo.

Também devem ser consideradas como grave consequência da explosão populacional todas as formas de degradação e poluição ambiental decorrentes da atividade da grande massa de seres humanos ávidos para consumir.

Aliada ao problema da escassez de alimentos e necessidade de novas fontes de energia, a poluição ambiental, especificamente a produzida pelos restos de metabolismo das sociedades, na forma de resíduos orgânicos, agrava muito o quadro geral, objeto das nossas preocupações.

Por outro lado, entretanto, deve ser ressaltado que o lixo urbano, o esgoto doméstico, certos resíduos industriais e agrícolas são fontes riquíssimas de matéria orgânica, nutrientes e mesmo energia, de forma que, se estes resíduos forem processados de uma maneira racional, podem em muito contribuir para nova produção de alimentos e melhoria da qualidade ambiental na forma de recuperação de solos e na preservação de recursos hídricos, entre outras atividades.

(*) Projeto desenvolvido no CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC. Trabalho apresentado no Seminário Internacional sobre Ecossistemas, Alimentos e Energia promovido pela Unesco, CNPq, Finep e UnB, de 2 a 6-9-84, em Brasília. O projeto contou com importantes contribuições financeiras da Fapesp.

(1) Professor titular da Escola de Engenharia de São Carlos.

(2) Engenheiro civil - Pós-graduado em Hidráulica e Saneamento (Mestrado).

(4) Biólogo do CRHEA - Pós-graduado em Ecologia e Recursos Naturais (Mestrado).

Por conseguinte, utilizando sistemas de tratamento adequados poderemos recuperar em grande parte a matéria-prima e a energia desperdiçadas nestes restos e também contribuir para minimizar os impactos negativos que estes resíduos promovem no ambiente, principalmente no meio aquático, cujas formas vivas são muito sensíveis a qualquer alteração das suas características físico-químicas.

Portanto, toda ou qualquer tentativa com o propósito de adquirir novos conhecimentos através de pesquisas nesta área se reveste de extrema importância, principalmente em face dos difíceis momentos de crise social e econômica por que estamos passando.

2 Descrição do sistema

2.1 Lagoas de estabilização com peixes

Para este trabalho, o CRHEA contou com modelos de lagoas de estabilização que no nosso caso foram tanques circulares de alvenaria. Existiam três desses tanques, sendo que dois eram perfeitamente iguais, com 3 m de diâmetro por 1 m de profundidade e ambos funcionaram como lagoas facultativas.

Esses tanques recebiam diariamente 200 l de resíduo (estrupe de suínos diluído) com uma carga orgânica similar à de um esgoto doméstico, ou seja, com aproximadamente 200 mg/l DBO. Este material sofria uma decantação prévia em decantadores primários os quais foram construídos com caixas de amianto de 100 l.

O tempo de detenção nas duas lagoas foi, portanto, de aproximadamente 25 dias sendo que a única diferença é que uma delas possuía peixes (Tilápia do Nilo) e a outra não.

Este procedimento visava à obtenção de informações sobre a influência desses organismos sobre o comportamento do sistema ou seja, sobre a eficiência do processo de tratamento refletida pelas diferenças nas condições hidrobiológicas das lagoas (com e sem peixes).

O terceiro tanque citado acima totalizava 5 m de diâmetro e com a mesma profundidade dos outros (1 m) sendo que este estava conectado em série com um dos primeiros.

Dessa forma funcionava como uma lagoa de maturação recebendo um efluente já clarificado.

Nesse reservatório foram mantidas as condições ambientais existentes em lagoas aeróbias nas quais não faltou oxigênio dissolvido nas 24 h em toda a coluna d'água, além de uma elevada concentração de células do fitoplâncton. Também nesse tanque foram estocados exemplares da Tilápia

do Nilo — *Oreochromis niloticus* (sinônimo: *Sarotherodon niloticus*).

O cultivo de peixes planctófagos é uma maneira de exploração das proteínas produzidas pelas algas e, portanto, lagoas de estabilização com peixes funcionam como sistemas armazenadores de energia, transformando a energia difusa da luz solar em energia molecular utilizável pelo homem.

2.2 Cultura hidropônica

Sendo o tratamento terciário convencional um processo muito dispendioso, uma alternativa para a remoção de nutrientes é a instalação de culturas hidropônicas de vegetais superiores.

Essa cultura é feita de forma que as raízes fiquem submersas, podendo absorver os nutrientes, mantendo, no entanto, as partes aéreas acima do nível d'água.

Outra vantagem dessa técnica é a possibilidade de nova opção de produção de alimentos que podem ser aproveitados tanto por animais domésticos como pelo próprio homem.

O sistema é, portanto, simples e barato, e, conseqüentemente, mais compatível com as características sócio-econômicas de países em desenvolvimento como o nosso.

Para a fixação das plantas, foram utilizadas treliças flutuantes de bambu, sendo que os vegetais foram amarrados ou dispostos sobre as mesmas, em função das características de suas partes aéreas.

Até o momento foram testadas mudas de batata-doce (*Ipomea*, sp), inhame (*Alocasia*, sp) e taioba (*Colocasia*, sp), as quais apresentaram crescimento significativo de caules e folhas.

2.3 Disposição de esgotos no solo

A disposição de esgotos no solo é uma alternativa tanto para tratamento desses resíduos como para reciclagem de nutrientes. No que diz respeito ao tratamento, o solo possui uma alta capacidade depuradora, em função da grande atividade microbiana nele existente.

Em relação à reciclagem, o cultivo de vegetais possibilita uma forma eficiente de utilização dos nutrientes oriundos da matéria orgânica mineralizada.

Foram estudadas no CRHEA duas maneiras de disposição no solo. Numa delas, o efluente de uma lagoa facultativa, tratamento secundário, foi utilizado para irrigar uma horta de couve mineira (*Brassica*, sp). A segunda forma de disposição consistiu na utilização do efluente de um decantador primário, o qual irrigou uma cultura de milho (*Zea mays*). A pesquisa pretendeu atingir dois objetivos, quais sejam, chegar a parâmetros para projetos de sistemas deste tipo e conhecer um pouco mais o funcionamento, no tocante à interação microorganismo-resíduo-solo.

As atividades mencionadas estão esquematizadas na fig. 1.

3 Resultados obtidos e discussão

3.1 Comportamento biológico dos peixes nas lagoas de estabilização

Os peixes se desenvolveram normalmente, tanto em crescimento como reprodutivamente, sendo inclusive observadas muitas desovas no período abrangido pela pesquisa. Contudo, o que tornou o evento surpreendente

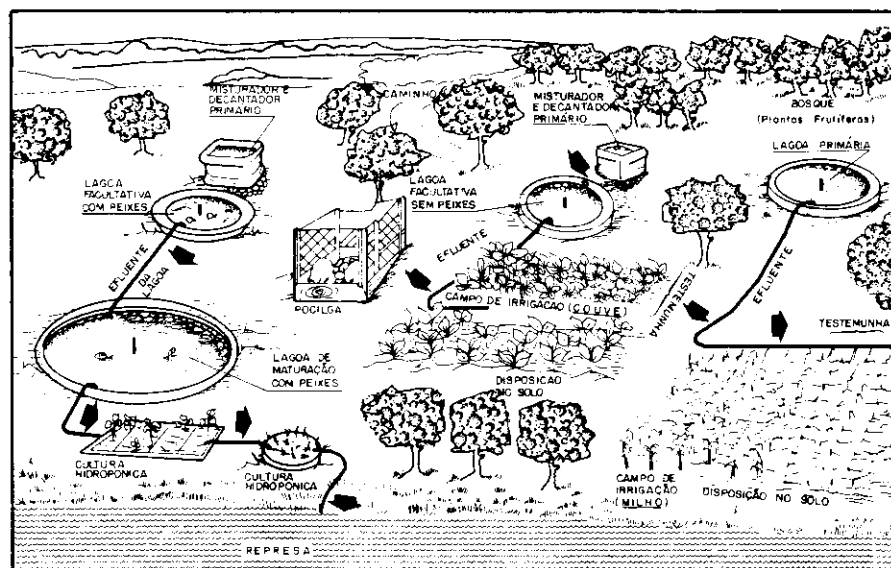


Figura 1 — Esquema geral do sistema

foi a constatação de que o oxigênio dissolvido na lagoa facultativa, durante a noite, decresceu a níveis críticos sendo registrados até 0,0 (zero) mg/l OD nas medidas periódicas de variação de 24 h em toda a coluna d'água (Fig. 2).

Estes fatos demonstram o alto poder de adaptação da espécie utilizada e por isso sua viabilidade em ambientes de lagoas de estabilização para tratamento de resíduos de animais domésticos.

3.2 Influência dos peixes no funcionamento das lagoas de estabilização

No que tange à influência dos peixes no tratamento, certas evidências mostraram que esses organismos funcionam como ótimos condicionadores para lagoas de estabilização, isto é, a sua presença torna o sistema mais equilibrado e, conseqüentemente, mais eficiente.

Ecologicamente, pode-se afirmar que quanto maior a diversidade em espécies há maior aproveitamento dos níveis tróficos, o que conduz a maior estabilidade do ecossistema. Dessa forma, os peixes, ao serem introduzidos em lagoas de estabilização, estão complementando a cadeia ecológica e contribuindo para um ambiente mais equilibrado e homogêneo.

As tabelas 1 e 2 indicam períodos de ocorrência de desequilíbrios na lagoa facultativa sem peixes, comparativamente à lagoa com peixes, a qual apresentou melhores condições de funcionamento, mantendo, inclusive, níveis mais elevados de pH e oxigênio dissolvido, premissas básicas quando se deseja obter efluentes com baixas concentrações de DBO e bactérias.

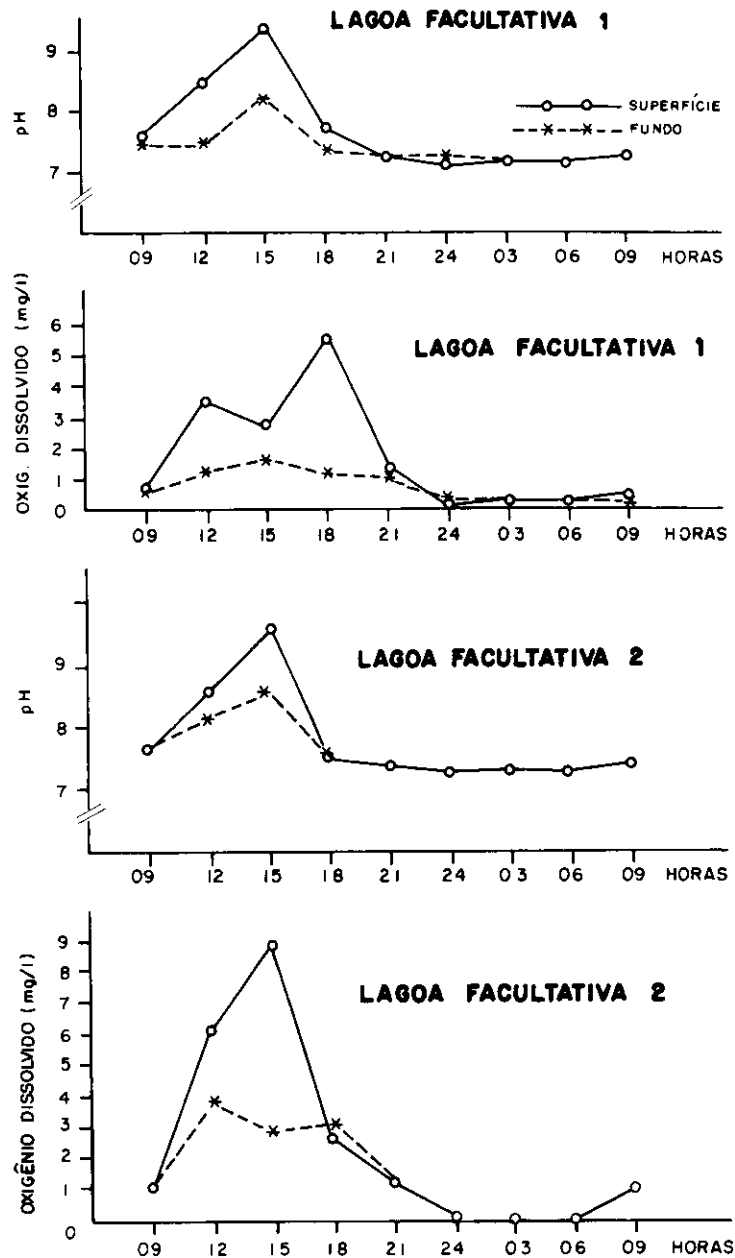


Figura 2 — Variação do pH e oxigênio dissolvido, em um período de 24 horas, nas lagoas facultativas 1 (sem peixes) e 2 (com peixes)

Tabela 1 — Variações do oxigênio dissolvido (mg/l), pH e transparência da água (disco de Secchi) ocorridas nas lagoas facultativa 1 (sem peixes) e facultativa 2 (com peixes) no período de 7-7-82 a 26-7-82.

Data	LAGOA FACULTATIVA 1 (sem peixes)						LAGOA FACULTATIVA 2 (com peixes)									
	Período da Manhã			Período da Tarde			Período da Manhã			Período da Tarde						
	O.D.		Disco de Secchi (cm)	O.D.		pH	O.D.		pH	Disco de Secchi (cm)	O.D.		pH			
	S	F		S	F		S	F			S	F				
07/07/82	1,6	1,0	75	1,8	1,4	6,9	6,9	5,2	2,4	9,4	9,3	25	13,8	4,2	9,9	9,8
09/07/82	0,8	0,8	65	1,8	1,2	6,9	6,9	2,4	1,8	9,5	9,5	25	14,2	2,4	9,8	9,6
12/07/82	0,7	0,6	80	1,6	1,4	6,8	6,8	3,3	3,3	9,9	10,1	25	14,4	2,2	10,0	9,5
15/07/82	0,8	0,8	75	2,4	1,8	7,1	7,1	3,0	3,4	9,4	9,3	25	16,0	6,2	10,2	9,7
16/07/82	1,0	1,0	80	2,0	1,8	7,2	7,1	4,6	4,2	9,8	9,7	25	16,0	6,0	10,3	9,6
19/07/82	1,0	1,2	80	2,6	1,6	7,2	7,1	6,2	5,2	9,7	9,4	25	12,2	1,6	10,3	9,4
21/07/82	1,0	1,0	70	2,4	1,6	7,2	7,1	4,2	1,2	9,4	9,0	25	12,8	2,4	10,3	9,4
23/07/82	0,2	0,4	55	2,2	1,0	7,1	7,1	1,8	1,0	9,2	9,2	25	16,2	2,0	10,1	9,4
26/07/82	3,2	2,8	45	10,8	5,0	8,9	7,7	5,4	2,8	9,2	9,1	25	13,4	4,0	10,3	9,3
MÉDIA DO PERÍODO	1,1	1,0	69	3,0	1,8	7,2	7,1	4,0	2,8	9,5	9,4	25	14,3	3,4	10,1	9,5

S = Superfície (20cm de profundidade)
F = Fundo (60cm de profundidade)

manhã (9h00)
tarde (15h00)

Tabela 2 — Variações do oxigênio dissolvido (mg/l), pH e transparência da água (disco de Secchi) ocorridas nas lagoas facultativas 1 (sem peixes) e facultativa 2 (com peixes) no período de 12-4-83 a 20-5-83.

Data	LAGOA FACULTATIVA 1 (sem peixes)						LAGOA FACULTATIVA 2 (com peixes)											
	Período da Manhã			Período da Tarde			Período da Manhã			Período da Tarde								
	O.D.		pH	disco de Secchi		O.D.		pH		disco de Secchi		O.D.		pH				
	S	F	S	F	(cm)	S	F	S	F	S	F	(cm)	S	F	S	F		
12/04/83	1,4	1,0	8,1	7,6	20	4,4	0,8	7,8	7,5	3,6	2,2	8,8	8,6	15	10,2	1,8	9,2	8,7
19/04/83	2,0	0,6	8,3	8,1	15	1,4	0,6	8,4	8,1	4,4	1,8	9,4	9,4	15	10,0	1,4	9,6	9,2
20/04/83	0,8	0,4	7,8	7,5	20	2,6	0,8	7,9	7,5	5,0	0,8	8,3	8,3	15	6,6	1,2	9,2	8,5
28/04/83	1,0	0,4	7,6	7,4	15	0,0	0,0	7,6	7,3	4,0	1,4	8,6	8,2	15	9,8	1,2	9,4	7,8
03/05/83	0,4	0,4	7,3	7,2	15	4,4	1,4	8,9	7,2	2,0	0,8	8,8	8,5	15	10,2	1,2	9,4	8,6
10/05/83	0,4	0,4	7,3	7,2	15	3,8	1,2	7,6	7,4	3,0	0,8	9,1	9,1	15	9,6	1,2	9,0	8,6
17/05/83	0,4	0,6	7,3	7,4	15	1,8	1,0	7,5	7,3	0,4	0,2	7,9	7,9	15	7,6	1,4	9,2	8,7
20/05/83	0,6	0,4	7,4	7,5	15	2,6	1,6	9,3	8,1	1,0	1,0	7,7	7,7	15	8,8	2,6	9,6	8,6
MÉDIA DO PERÍODO	0,8	0,5	7,6	7,5	18	2,6	0,9	8,1	7,5	2,9	1,1	8,6	8,5	15	9,1	1,5	9,3	8,6

S = Superfície (20cm de profundidade)
F = Fundo (60cm de profundidade)

Manhã (9h00)
Tarde (15h00)

Tabela 3 — Eficiência de remoção () para os processos de tratamento utilizados.

	DBO	DQO	Nitrogênio	Fósforo
Lagoas de estabilização	90	50	60	45
Campo de irrigação	70	70	60	75
Culturas hidropônicas	-	-	70	40

3.3 Eficiência do tratamento biológico

Em linhas gerais, as eficiências apresentadas neste estudo, no que tange à redução de DBO, DQO, nitrogênio e fósforo, estão representadas na tabela 3.

3.4 Produção de alimentos

3.4.1 Subsistema 1: Decantador primário, lagoa facultativa, lagoa de maturação e cultura hidropônica:

- vazão de esgoto bruto: 200 l/dia;
- área da lagoa facultativa: 7 m²;
- área da lagoa de maturação: 20 m²;
- área da cultura hidropônica: 2,5 m²;
- produção de peixes na lagoa facultativa: 8.850 kg/ha/ano;
- produção de peixes na lagoa de maturação: 2.620 kg/ha/ano;
- produção de vegetais na hidropônia: 4.800 kg/ha/semestre.

3.4.2 Subsistema 2: Decantador primário, lagoa facultativa e campo de disposição no solo (irrigação):

- vazão de esgoto bruto: 200 l/dia;
- área da lagoa facultativa: 7 m²;
- área do campo de irrigação: 20 m²;
- produção de vegetais (couve): 5.700 kg/ha.

3.4.3 Subsistema 3: Decantador primário e campo de disposição no solo (irrigação):

- vazão de esgoto bruto: 2 mil l/dia;
- área do campo de disposição: 200 m²;
- produção de grãos (milho): 4.400 kg/ha.

3.5 Perspectivas de utilização

Levando-se em conta as vazões e cargas orgânicas introduzidas no sistema, o mesmo é suficiente para o tratamento dos despejos de uma população humana equivalente a 15 pessoas.

Se fizermos uma extrapolação para uma população de mil habitantes, as áreas necessárias seriam:

- Lagoa facultativa: 933 m²
- Lagoa de maturação: 1.333 m²;
- Cultura hidropônica: 167 m²;
- Disposição no solo: 1.333 m²;

(subsistema 2)
— Disposição no solo: 13.333 m²
(subsistema 3)
Área Líquida Total = 17.099 m²

Como área bruta, o sistema necessitaria de aproximadamente 20 mil m² ou 2 ha, para atender aos despejos de uma população de mil habitantes.

A produção de alimentos estimada para esse sistema seria:

- Peixes:
Lagoa facultativa — 826 kg/ano

Lagoa de maturação — 349 kg/ano
Total — 1.175 kg/ano

— Vegetais:
Cultura hidropônica — 80 kg/semestre.
Disposição no solo — 760 kg/semestre.
(subsistema 2)
Total — 840 kg/semestre ou 1.680 kg/ano.

— Milho:
Disposição no solo — 5.867 kg/três meses.
(subsistema 3) ou 23.468 kg/ano.

3.6 Vantagens do Sistema

As vantagens de um sistema deste tipo são inúmeras, principalmente levando-se em consideração que as despesas com insumos são mínimas.

Com relação à alimentação dos peixes, por exemplo, deve-se ressaltar que em tal sistema não é necessária a suplementação com rações balanceadas, cujos preços, sempre elevados, constituem um dos principais entraves ao pleno desenvolvimento da piscicultura intensiva.

No que tange à produção agrícola, esta pode ser mantida continuamente através de todo o ano, mesmo em épocas desfavoráveis, como em períodos de estiagem ou em regiões naturalmente áridas como o Nordeste, isto porque a água sendo um subproduto não se torna fator limitante em um sistema considerado irrigado.

Além disso, o sistema permite uma incorporação contínua de matéria orgânica e nutrientes no solo, evitando, assim, gastos desnecessários com fertilizantes inorgânicos.

Naturalmente, não se pretende neste trabalho divulgar um remédio que seja a panacéia total, ou seja, uma solução que vá resolver para sempre o problema da carestia e fome no Terceiro Mundo. Acreditamos, isto sim, que este trabalho tem, como um dos principais objetivos, colaborar para o melhor aproveitamento das potencialidades dos resíduos orgânicos (quase sempre desperdiçados) constituindo-se em mais uma alternativa viável e compatível com as condições climáticas e socio-econômicas de nosso país.

4 Perspectivas futuras

Deve ser enfatizado que a idéia exposta não afasta a possibilidade de integrar ao sistema outros processos de tratamento biológico não citados ou atividades relacionadas que visam sobretudo ao controle da qualidade do meio ambiente, especialmente as voltadas para os recursos hídricos.

Por conseguinte, o sistema, não sendo fechado, pode perfeitamente absorver projetos de pesquisa que envolvam filtros biológicos e outras variações dos processos aeróbios, inclusive lagoas aeradas, dependendo da disponibilidade de energia.

No que se refere aos processos anaeróbios, já existe grande interesse na sua viabilização. Até o presente momento o resíduo provém de uma pocilga instalada junto à área dos traba-

lhos experimentais. Entretanto, só é tratada a parte líquida do material; a parte sólida está sendo destinada a outras atividades. Este material "desperdiçado" juntamente com outros resíduos sólidos, como lixo, por exemplo, poderia ser tratado anaerobiamente.

Assim, é de grande interesse a instalação a médio prazo de digestores e aterros energéticos, os quais seriam utilísimos, pois produziriam energia (biogás) com a biodegradação dos resíduos sólidos.

Esta energia poderia, sem dúvida, ser aproveitada pelo sistema de modo a torná-lo menos oneroso e, conseqüentemente, mais econômico. Com essas ampliações o sistema teria um potencial de aproveitamento mais amplo conforme está indicado na figura 3.

No campo das idéias e perspectivas pode-se pensar inclusive na possibilidade do aproveitamento de energia proveniente de fontes naturais, como eólica e solar, tornando o complexo ainda mais auto-suficiente.

Outro grande interesse incorporado ao projeto é a pesquisa de outros organismos que poderiam viver nas condições especiais encontradas nos reatores biológicos.

Melhor dizendo, nas lagoas de estabilização, por exemplo, seria interessante testar outras espécies de peixes, inclusive nativas, que poderiam se adaptar. Nas hidropônicas, existe a possibilidade de se pesquisar maior variedade de vegetais economicamente úteis e, assim por diante, bem como estudar as respostas de outros ti-

pos de culturas agrícolas irrigadas com efluentes enriquecidos, provenientes dos sistemas de tratamento de resíduos orgânicos.

A pesquisa de outros organismos que se adaptem a viver nestas condições especiais promoveria melhor utilização dos subprodutos dos processos de estabilização, através de uma ampla variedade de opções desejáveis.

O resultado final seria o desenvolvimento de novas tecnologias ambientais, inclusive com relação ao conhecimento sobre o comportamento biológico de certas espécies, as quais poderiam ser de extrema importância no futuro como novas fontes de alimentos e contribuir para um efluente de melhor qualidade.

Referências bibliográficas

- 1 — BRANCO, S. M., e outros, 1983, **Medidas de impactos ambientais, atividades de tratamento de resíduos orgânicos, reciclagem de nutrientes e aproveitamento energético. Uma pesquisa de operação integrada**, Revista DAE, n.º 133 (39-46).
- 2 — BRANCO, S. M. e Bernardes, R. S. 1983, **Culturas hidropônicas como forma de remoção e reciclagem de nutrientes minerais dos efluentes de sistemas de tratamento de esgotos**, Revista DAE, n.º 134 (113-115)
- 3 — MATHEUS, C. E., 1984, **Aspectos do Crescimento e Reprodução de Sarotherodon niloticus (Tilápia do Nilo) em Lagoas de Estabilização e sua Influência no Tratamento Biológico**, Tese de Mestrado.
- 4 — BERNARDES R. S., 1985, **Estabilização de Poluentes por Disposição no Solo** (tese em preparação).

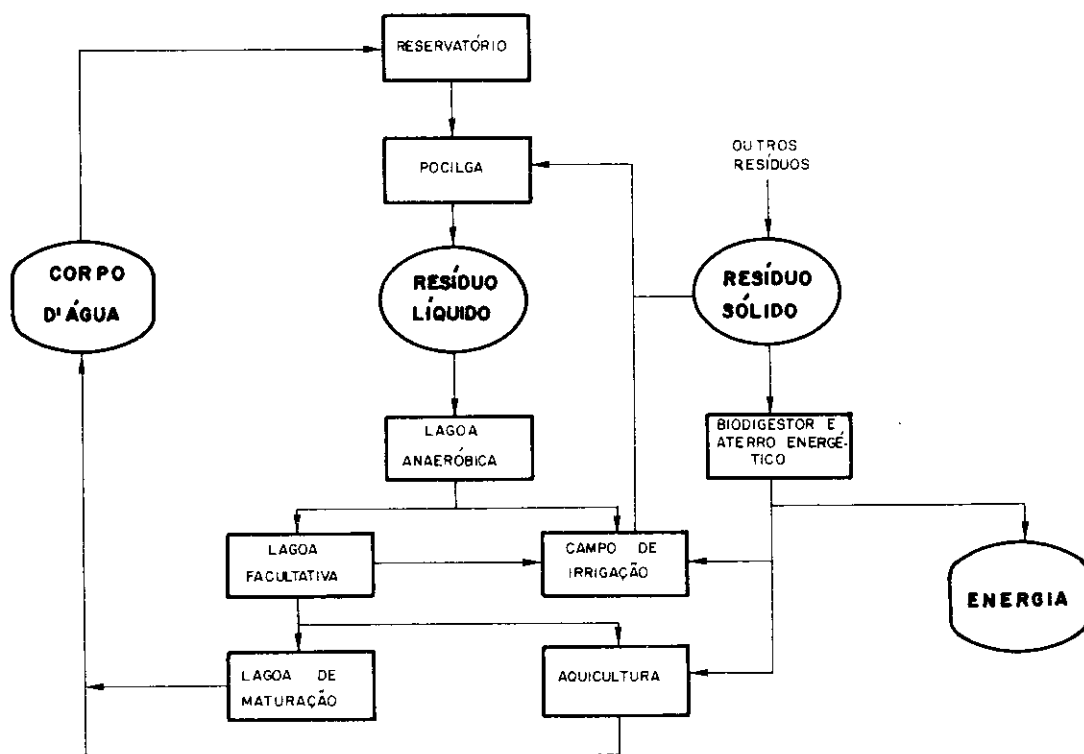


Figura 3 — Fluxograma do sistema projetado