

ARQUIVO TECNICO

5308  
H463n  
023426



14530



023426

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA  
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 346 CEP 05489 - PINHEIROS  
SÃO PAULO - BRASIL

V.d. DIGESTÃO AERÓBIA DE LODO

Eng. Max Lothar Hess

- Consultor CETESB/SABESP

Curso Introdutório ao Curso de Projetos de Sistemas de Tratamento de Esgotos.

" Digestão Aeróbia de Lodo "

1. INTRODUÇÃO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

Durante o tratamento biológico de esgotos a matéria biodegradável suspensa ou dissolvida na água é, em sua maior parte, incorporada ao lodo secundário. O efluente, geralmente estabilizado satisfatoriamente, é facilmente descartado. O lodo, entretanto, não o é, permanece na estação e passa a constituir vários problemas adicionais, aos quais hoje se dedica uma atenção muito maior do que há anos atrás. Entre esses problemas está a putrescibilidade do lodo e o espaço ocupado por essa "ovelha negra" durante os meses de permanência dentro da estação para ser convenientemente processada.

Até há poucos anos atrás, a putrescibilidade do lodo era reduzida a condições "higienicamente aceitáveis" quase que exclusivamente por meio de digestão anaeróbia. Esta já era conhecida, embora sem profundidade, desde os fins do século passado, quando foram inventados o tanque séptico de Mouras, o tanque hidrolítico de Travis e o tanque decanto-digestor de Imhoff (1906)

1.1. Histórico

Em 1.914 W. Lockett, na Inglaterra, estava a ponto de inventar a estabilização aeróbia do lodo, ao aerar separadamente esgotos decantados e o lodo sedimentado destas, quando um acidente em seu laboratório conduziu à descoberta do processo de lodos ativados. Perdeu-se, entretanto, a oportunidade de ser inventada a digestão aeróbia.

A invenção do valo de oxidação por A. Pasveer, na Holanda, em 1.951, provocou uma série de estudos relativos aos efeitos da aeração prolongada sobre os flocos biológicos, pois verificou-se que a sua atividade era muito inferior à constatada nos tanques de aeração do processo de lodos ativados convencionais, obrigando à manutenção de elevadas concentrações de lodo no líquido.

O mesmo fenômeno foi observado em Austin, Texas, EUA, onde A.H. Ullrich, inventor do processo de tratamento que denominou de ... "biosorção", constatou que o lodo recirculado, pre-aerado sem contato com os esgotos, perdia parte de sua atividade após doze horas de aeração.

.../...

Estes fenômeno originaram pesquisas em torno da estabilização aeróbia do lodo na década de 1950/60, porém em virtude de pouco conhecimento sobre a atividade biológica, o processo foi considerado por demais oneroso em comparação com a digestão anaeróbia, sendo reputado como viável apenas em pequenas instalações, por simplificar notavelmente a disposição final do lodo.

O melhor conhecimento, embora apenas parcial, dos fenômenos biológicos envolvidos, trouxe novo impulso à digestão aeróbia nos últimos dez anos, constituindo-se em grande atrativo para a pesquisa a extrema simplicidade do processo, quando comparado com o dos digestores anaeróbios.

## 1.2. Aceitação do processo.

No início houve uma resistência generalizada contra a digestão aeróbia pelo fato de ser necessário consumir energia elétrica ao passo que a digestão anaeróbia não só dispensava este gasto, como ainda produzir gás combustível.

Hoje, quando por motivos de economia às vezes já se bombeia água ladeira abaixo, esse conceito está superado. O menor custo das obras frequentemente faz com que o custo de capital somado ao de consumo de energia e mão-de-obra de operação e manutenção seja inferior ao dos digestores anaeróbios (v. item 7).

Pelo menos em pequenas instalações, a digestão aeróbia hoje supera de muito, em quantidade de casos, anaeróbia.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Muitos técnicos confundem digestão aeróbia com aeração prolongada, em virtude de se realizarem no mesmo tanque de aeração, pelo menos nas pequenas instalações, as operações de oxidação biológica da fase líquida e de estabilização aeróbia do lodo mantido em inspeção no tanque.

Nada impede, entretanto, que o excesso de lodo seja conduzido a um tanque de aeração separado. Com esta operação, sob o ponto de vista funcional, nada muda no processo de aeração prolongada. Só que agora o lodo que deve ser estabilizado não está mais misturado com o lodo recirculado no tanque de aeração comum (ver Anexo 1).

### 2.1. O tempo de aeração

O propósito dos longos tempos de aeração é justamente o de aumentar a "idade do lodo", constantemente recirculado para o tanque; ao mesmo tempo diminui-se a oferta de alimento aos microorganismos responsáveis pela atividade biológica, pois os compostos carbonáceos contidos nos esgotos têm que ser distribuídos entre uma população biológica muito maior do que a que se encontra no processo de lodos ativados convencionais.

Com efeito, em qualquer modalidade de lodos ativados (inclusive na aeração prolongada, portanto), modernamente são empregados teores de sólidos em suspensão (dos quais grande parte constituída por bactérias e outros seres vivos) em torno de  $4 \text{ Kg/m}^3$ . Entretanto um tanque de aeração de lodos ativados convencionais tem tempo de detenção próximo de 2,5 horas, enquanto que o da aeração prolongada ascende a 24 horas ou mais. Equivale a dizer que, se houvesse igual quantidade de células vivas por kg de sólidos suspensos no tanque de aeração em todas as modalidades de tratamento biológico, cada bactéria ou outro ser teria que contentar-se no caso da aeração prolongada, com menos de um décimo do alimento recebido por uma congênere no caso dos lodos ativados convencionais.

O prolongamento do tempo de aeração acarreta, portanto, escassez de alimentação ao parque biológico, fazendo com que a grande maioria de células presentes esteja morta por falta de material metabolizável.

## 2.2 Eficiência.

Este fato explica a elevada eficiência dos processos de aeração prolongada em termos de redução da DBO. Com efeito, esta de certa forma reflete a concentração da matéria carbonácea presente, que é disputada pela população biológica até atingir concentrações mínimas. Explica também porque o lodo retirado do sistema está estabilizado (inativo), a ponto de poder ser acumulado e secado sem os inconvenientes dos lodos dos processos convencionais.

Pelos fenômenos relatados, a aeração prolongada era denominada antigamente de "oxidação total", por atingir tanto o efluente quanto o lodo. Entretanto esta denominação é imprópria, pois a oxidação está muito longe de ser total.

## 2.3 Idade do lodo

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

Um parâmetro importante para a estabilização aeróbia do lodo é, portanto, o tempo em que as células vivas são sujeitas a um "regime de fome". A penúria de alimento faz com que numerosas espécies fiquem além do limite de resistência, acabando por morrer, decompor-se, servindo os produtos de decomposição de alimento a outras espécies, mais resistentes. Esse estado de penúria aguça também a atividade de organismos predadores, cuja alimentação não depende da concentração de substâncias nutritivas dispersas no meio, e sim da existência de seres já formados.

Tem-se, assim uma apreciável reciclagem de matéria orgânica no tanque. Da forma citada a atividade biológica se reduz bastante.

É intuitivo que, quando mais longo o período de aeração, mais estabilizados estarão tanto o efluente como o lodo.

Entretanto, com relação ao lodo o tempo de permanência é diferente do tempo de aeração do líquido. Realmente, em lugar de serem descartados ao mesmo tempo o líquido e o lodo, aquele se vai, sob a forma de efluente, mas este permanece, sob a forma de lodo recirculado (ou lodo de retorno). Apenas uma pequena parcela deste lodo é retirada do circuito para manter constante a população do tanque e não fazê-la crescer indefinidamente.

Assim sendo, o lodo permanece, em média, cerca de 30 dias (ou mais) no ciclo, ao passo que a fase líquida via de regra ai, permanece de 1 a 3 dias.

Diz-se, então, que a idade do lodo  $I_1$  é de 30 dias ou mais embora esta afirmativa não seja exata. A idade do lodo é definida como sendo a reação entre o peso total  $T$  de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTA) e o peso diário de sólido retirados do ciclo, sob a forma de lodo excedente ou excesso de lodo E:

$$I_1 = \frac{T}{E} = \frac{V \cdot (SSTA)}{E}$$

sendo V o volume do tanque.

### Exemplo prático

Suponhamos uma estação de tratamento de esgotos com aeração prolongada, com 24 horas de tempo de aeração, teor de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTA) de 4 g/l e excesso de lodo (resíduo seco) de 20/ghab./dia. A contribuição "percapita" é de 150 l de esgotos por dia.

Pergunta-se: Qual a idade do lodo?

Solução:

Seja a população servida P (veremos que não interessa).

Então

$$T_1 = \frac{150 \text{ l/hab.dia} \cdot P \text{ habitantes} \cdot \frac{24 \text{ horas de aeração}}{24 \text{ horas do dia}} \cdot 4 \text{ g SSTA/l}}{P \text{ habitantes} \cdot 20 \text{ g/hab. dia de sólidos excedentes}} =$$

$$= \frac{600 \text{ g/hab}}{20 \text{ g/hab.dia}} = 30 \text{ dias}$$

Vê-se por aí imediatamente que é possível regular a idade do lodo "ad libitum", apenas descartando mais ou menos lodo.

As estações de tratamento de esgotos por lodos ativados convencionais operam com idade do lodo em torno de 4 dias, os valos de oxidação com mais de 40, e os lodos ativados de alta taxa de aplicação (para eficiências de remoção de DBO abaixo de 75%), com menos de 1 dia.

É interessante observar que estações que operam com idade de lodo entre 1 a 4 dias quase sempre funcionam mal: efluente turvo com DBO muito variável, perda de lodo ativado, más condições de sedimentações de sedimentabilidade do lodo, intumescimento do mesmo etc.

O lodo com idade inferior a 7 dias é putrescível.

Com idade superior a 10 dias é bastante estável e com 20 dias é praticamente inerte.

Boas idades para estabilização aeróbia do lodo estão entre 8 e 10 dias.

2.4

#### O papel da aeração.

Na estabilização aeróbia do lodo, analogamente a todos os processos aeróbios, a aeração é destinada ao suprimento de oxigênio necessário às bactérias e outros microrganismos, a fim de poderem metabolizar a matéria carbonácea, obtendo energia à custa da produção de anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>). Ao mesmo tempo os compostos originais não se decompondo em substâncias de energia potencial mais baixa, ou seja, tornam-se mais inertes.

Em geral, nas estações de tratamento biológico com estabilização aeróbia do lodo em tanques separados, o equipamento de aeração é o mesmo em todas as unidades. O lodo não é um líquido viscoso, como se poderia imaginar, e sim uma água residuária com teor de sólidos de 2 a 4% (20 a 40 g/l). Nestas concentrações o lodo flui livremente e a deposição dos sólidos sedimentáveis é evitada com a aplicação, através dos equipamentos de aeração, de um nível de potência de 25 W/m<sup>3</sup> para 4% de sólidos.

Acima desta concentração, já começa a subir muito a viscosidade e os aeradores têm que ser auxiliados por equipamento de mistura e homogeneização.

Quanto maior a idade do lodo, menor oxigênio é consumido pela mesma quantidade de sólidos.

### 3. COMPARAÇÃO ENTRE DIGESTÃO AERÓBIA E ANERÓBIA

A digestão aeróbia tem vantagens e inconvenientes em relação à digestão anaeróbia.

#### 3.1 Vantagens

Entre as principais vantagens cita-se a grande simplicidade, mesmo quando são empregados tanques separados. A operação não apresenta nem sombras da complexidade com que se defronta o operador de digestores anaeróbios. Tudo está à vista, não há aquecimento, nem transferência de lodo de uma unidade para outra, nem purga de sobrenadante, nem medidas de segurança contra explosão, nem queima de gás.

Outra vantagem é a rapidez da estabilização aeróbia, que se realiza a 20°C entre 8 e 10 dias, ao passo que a anaeróbia leva de 20 a 30 dias a 33°C ou de 15 a 20 dias a 37°C. As unidades são, portanto, bem menores em capacidade.

Um terceira vantagem está na grande insensibilidade a variação de pH e de temperatura. Nos digestores anaeróbios aquecidos, a queda de temperatura de 1°C frequentemente acarreta a formação de espuma e o <sup>resíduo</sup> declínio na velocidade de decomposição, revelada pela queda da produção de gás.

Outra vantagem é a composição do líquido intersticial (sobrenadante) que é péssima no caso dos digestores anaeróbios (grande quantidade de sólidos, mau cheiro, elevada DBO, elevada DQO devido a substâncias redutoras) e é semelhante ao afluente da estação no caso da digestão aeróbia.

#### 3.2 Inconvenientes

O maior dos inconvenientes já foi citado: emprego de energia elétrica para a destruição (oxidativa da matéria orgânica, ao passo que no processo anaeróbio ainda se consegue recuperar energia sob a forma de gás combustível, principalmente em virtude da produção de grande quantidade de metano (CH<sub>4</sub>), que não se forma na estabilização aeróbia.

Outra desvantagem reside no volume do lodo, maior do que o da digestão anaeróbia para o mesmo equivalente populacional. O lodo anaerobicamente estabilizado reduz-se a cerca de 25% do volume inicial, ao passo que o resultante da digestão aeróbia dificilmente se reduz para menos de 50%, dependendo da concentração inicial.

Tem sido observada menor redução do número de patógenos no caso da digestão aeróbia.

O lodo estabilizado por digestão aeróbia seca com maior dificuldade do que o da digestão anaeróbia, em virtude da sua má filtrabilidade (leva mais tempo para perder água por drenagem), o que exige maior área de leitos de secagem: cerca de 100 m<sup>2</sup>/1000 habitantes no primeiro caso e 80 m<sup>2</sup>/1000 hab. no caso de digestão anaeróbia.

De resto, atualmente pode-se considerar que a digestão aeróbia está ganhando mais adeptos ano a ano, sendo de se esperar que em futuro não muito remoto passe a ser empregada também em grandes estações de tratamento de esgotos.

### 4. MECANISMO DA DIGESTÃO AERÓBIA

O que há de ruim no lodo de esgotos?

O lodo sedimentado inicialmente é inodoro, mas se for mantido sob água ou exposto ao ar durante várias horas, começa a se decompor, soltando uma água negra e produzindo odor insuportável de gás sulfídrico.

Este fenômeno deve-se à grande quantidade de material biodegradável que contém e que é atacado pelos microrganismos do ar ou pelos próprios nele contidos.

O material biodegradável constitui cerca de metade do total de matéria orgânica, sendo a outra metade constituída de substâncias mais estáveis (inertes), como a celulose (oriunda principalmente de papel higiênico), plásticos, queratina (dos cabelos), sabões insólúveis e outros.

O mau cheiro provém principalmente da decomposição de matéria contendo enxofre e nitrogênio (albumina, por exemplo, amplamente espalhada no reino animal e vegetal).

Diz-se que está havendo desprendimento de cheiro séptico. Além disso proliferam larvas e vermes, muitos deles patogênicos.

O meio mais utilizado atualmente para evitar a decomposição em condições inaceitáveis é a estabilização controlada, por meio de digestão anaeróbia ou aeróbia, como já foi dito.

#### 4.1 Desenvolvimento celular

Quando se encerra em ambiente fechado (um fermentador de laboratório, por exemplo) um número  $N_0$  conhecido de microorganismo dispersos em um meio rico em alimento e com um suprimento suficiente de oxigênio, nota-se uma evolução da população que se desenrola em várias fases (v. Anexo 2).

Inicialmente verifica-se um breve espaço de tempo em que  $N_0$  é praticamente constante, sem desenvolvimento. É uma fase de aclimação ou de adaptação às condições presentes.

Logo em seguida há um início de desenvolvimento que se acelera, atingindo um crescimento geométrico de razão constante. Enquanto houver excesso de alimento disponível, pode-se assimilar este crescimento a uma razão monomolecular expressa por

$$\frac{DN}{dt} = kN_0 \quad \text{ou} \quad N = N_0 \cdot e^{kt}$$

Costuma-se chamar esta fase de "crescimento logarítmico", segundo denominação proposta por R.E. Buchanan 1.928.

Entretanto, à medida que o alimento passa a escassear e os resíduos da metalização paulatinamente vão "poluindo" o meio, o índice de mortalidade vai aumentando e o de reprodução diminuindo, havendo um declínio na razão de crescimento ( $k$  diminui), até à completa estagnação (taxa de reprodução = taxa de mortalidade). É a chamada "fase de equilíbrio",

Desse ponto em diante a mortalidade prevalece sobre a reprodução e  $N$  principio a diminuir ( $k$  torna-se negativo).

.../...

Os microorganismos mortos transforma-se em alimento de outros. Finalmente a redução da população torna uma razão constante. É a "fase de declínio" ou "fase endógena" ou "fase de plasmólise" ou de "lise". Aqui novamente tem-se um fenômeno análogo a uma reação monomolecular.

Par a digestão aeróbia, interessa manter a população microbiana nessa fase endógena.

O fenômeno relatado supõe que no ambiente não houve ingresso nem de microorganismos, nem de alimento (sistema fechado)

#### 4.2 Aplicação prática.

Entretanto, na prática, seria inconveniente ter um grande número de tanques de estabilização para serem operados segundo um processo "enche-esvazia", semelhante ao descrito no item anterior. É preferível num processo contínuo.

Neste caso, para compreender como os microorganismos podem ser mantidos em fase de lise, basta imaginar que, num ponto escolhido da curva descendente da população, é introduzido um número de novos organismos exatamente igual ao dos que morrem. Nessas condições a população se mantém constante, em regime de "penúria" ou de "endógenes".

No estado atual da arte acredita-se que, aerando o lodo em um tanque com capacidade de retenção teórica de 8 a 10 dias, aquela fase endógena é mantida automaticamente.

#### 4.3 Avaliação da eficiência.

A eficiência da digestão aeróbia, a vigor, deveria ser avaliada pela porcentagem de redução de matéria biodegradável. Este ensaio, entretanto, é muito difícil, requerendo técnicos, equipamentos e processos muito especializados.

No momento atual a gente se contenta com um critério prático, embora impreciso, de avaliação da redução percentual da matéria volátil. Como esta compreende tanto substâncias biodegradáveis quando inertes, o teste de eficiência encontra-se viciado.

Um erro, ainda praticado, é estabelecer-se a eficiência em função da redução do resíduo seco, pois este inclui também compostos inorgânicos (minerais).

Considera-se estabilizado o lodo que tenha perdido entre 70 e 90% da matéria biodegradável, o que corresponde a cerca de 35 a 45% do total de substâncias voláteis, se se aceitar como válida a hipótese exposta no item 4, de que metade da matéria orgânica e biodegradável.

Portanto, em termos de eficiência, um lodo pode ser considerado aerobicamente estabilizado se houver um decréscimo de pelo menos 35% da matéria volátil. Há autores que consideram um mínimo de 40% ou mesmo mais. Mas, como já foi dito, é um critério falho.

#### 5. DIMENSIONAMENTO DE DIGESTORES AERÓBIOS.

Ainda não se conhece suficientemente bem a biologia da digestão aeróbia para fixar parâmetros seguros para o dimensionamento das unidades. Até que sejam determinados melhores critérios, o dimensionamento pode ser feito em função dos seguintes parâmetros:

- taxa de aplicação de aplicação de sólidos voláteis por unidade de volume de tanque de aeração:

.../...

2,3 kg/m<sup>3</sup>. dia (lodo ativado excedente) até 5 kg/m<sup>3</sup> . dia (lodo primário).

- Idade do lodo: 10 dias (mínimo)  
A idade do lodo é a soma dos tempos de permanência no tanque de aeração do esgoto e no tanque de digestão aeróbia. Muitas vezes despreza-se o primeiro.
- Oxigênio necessário.  
Pode-se tomar 1,5 kg O<sub>2</sub> por quilograma de redução da matéria volátil.
- Potência necessária  
Mínimo de 25 W/m<sup>3</sup> de tanque para lodo com 4% de sólidos.

É possível que, no futuro, serão empregados outros parâmetros, à luz de novos conhecimentos. Assim aconteceu com os lodos ativados, nos quais acreditava antigamente que o tempo de aeração era um fator importante, quando se sabe hoje que este pode ser considerado particamente irrelevante e inexpressivo.

#### 6. RESULTADOS DA DIGESTÃO AERÓBIA

Da digestão aeróbia efetuada de acordo com as condições expostas no item anterior, pode-se esperar um lodo estabilizado, parcialmente oxidado, com redução de 35% da matéria volátil total.

Este lodo secará sem despreendimento de maus odores.

A filtrabilidade é menor do que a de lodos digeridos anaerobiamente.

O lodo pode ter aplicação agrícola, embora sob o ponto de vista de fertilização do solo seja um material medíocre.

#### 7. CUSTO DA DIGESTÃO AERÓBIA

Estudos feitos por LEVIS; MILLER E VOSBURG na estação de tratamento de Millerville, Pa., EUA em 1.963 mostraram que o custo anual da digestão aeróbia era um pouco inferior ao da digestão anaeróbia (US\$ 48.71- contra US\$ 51.730).

Em geral, os autores consideram o custo equivalente, porém, em casos de ampliação de estações de tratamento, é mais econômico construir digestões aeróbias, ainda que os existentes sejam anaeróbios.

Nos estudos econômicos são considerados: amortização de empréstimos para obras, gastos de energia e despesas com operação e manutenção.

#### 8. APLICAÇÕES DA DIGESTÃO AERÓBIA

A digestão aeróbia deve ser preferida (face à anaeróbia), principalmente nos seguintes casos:

- Nas estações de tratamento para menos de 10.000 habitantes (lodos estabilizados no tanque de aeração comum).
- Nas ampliações de instalações de aeração prolongada de porte médio: são transformadas em lodos ativados convencionais com digestão aeróbia dos lodos em tanques separados.
- Quando não interessa recuperar gás combustível
- Nos primeiros anos de funcionamento de uma estação de tratamento biológico com capacidade de aeração ociosa (concepção da ETE de Campinas).
- Sempre que se queira evitar a operação complicada de digestores anaeróbios.

## 9. BIBLIOGRAFIA

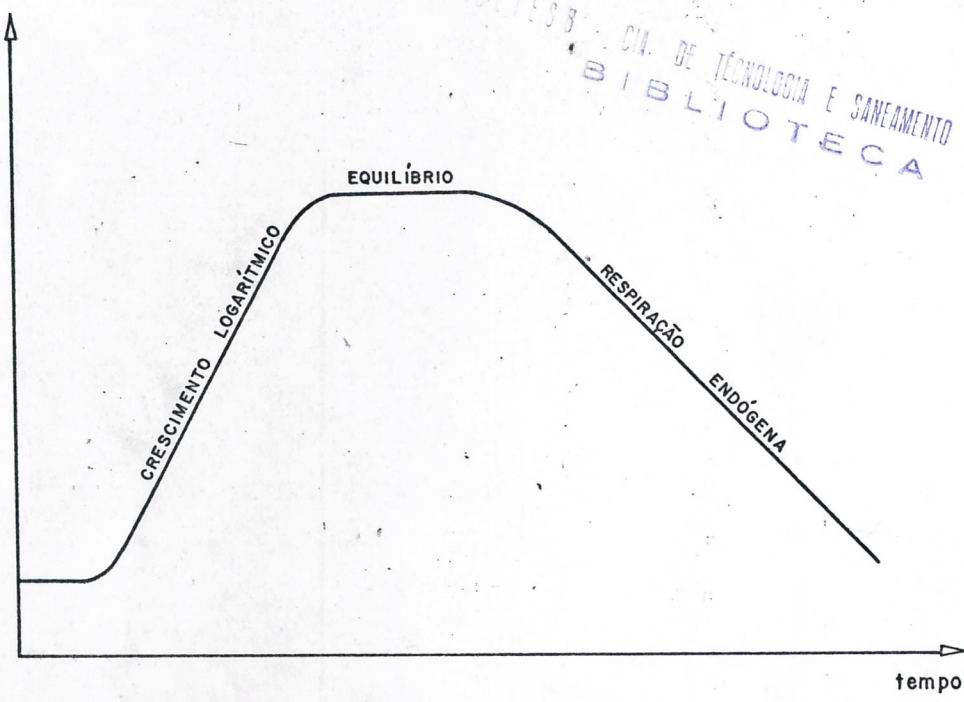
1. AHLBERG, N.R. e BOYKO, B.I., "Evaluation and design of aerobic digesters", JWPCF, 44 n° 4 (abril 1972)
2. BLONDEAU, F., "Aération prolongée et digestion aérobie", Jornadas de informação e aperfeiçoamento da A.F.E.E., Metz, setembro 1969
3. LEVIS, C.E., MILLER, C.R. & VOSBURG, L.E., "Design and operating experiences using turbine dispersion for aerobic sludge digestion", JWPCF, 43, n° 3, março 1.971.
4. PFLANZ, P., "Aeroble Behandlung von biologischem Schlamm", Österreichische Abwasser-Rundschau, Viena, n° 5/1968.
5. POPEL, F. "Der Verlauf der aeroben und anaeroben Umsetzung organischer Stoffe", GWF- Wasser-Abwasser, Munique, 95, n° 18 1954.
6. ROVEL, J.M., "Digestion aérobie", Jornadas de Estudos e de Aperfeiçoamento da A.F.E.E., Paris, 1.968

ANEXO 2

(DIGESTÃO AERÓBIA)

(População)

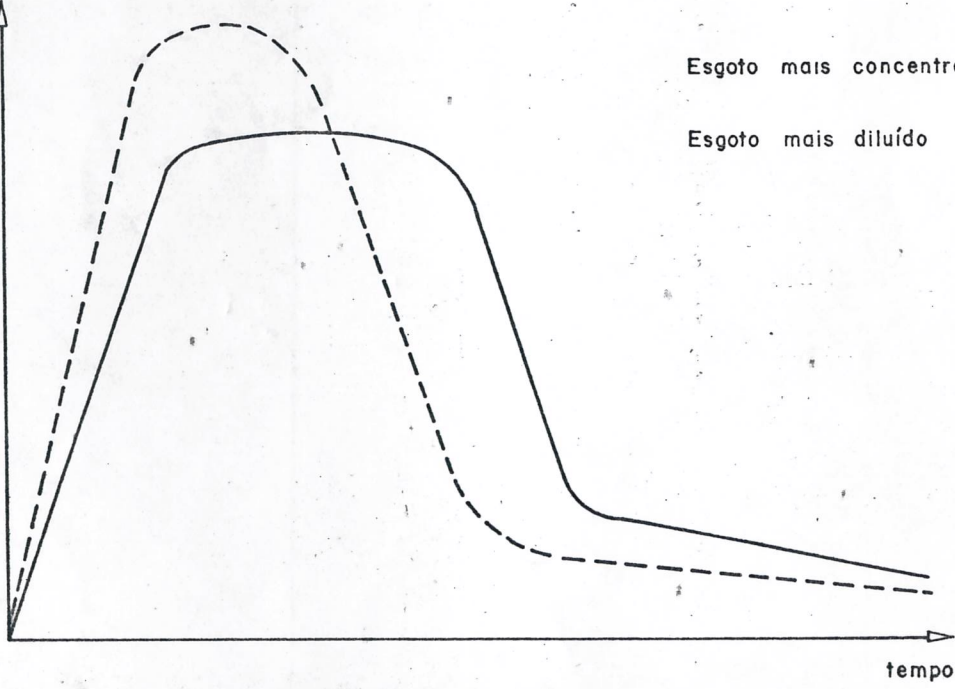
log N



CURVA DE CRESCIMENTO BACTERIANO EM UM SISTEMA FECHADO

Atividade

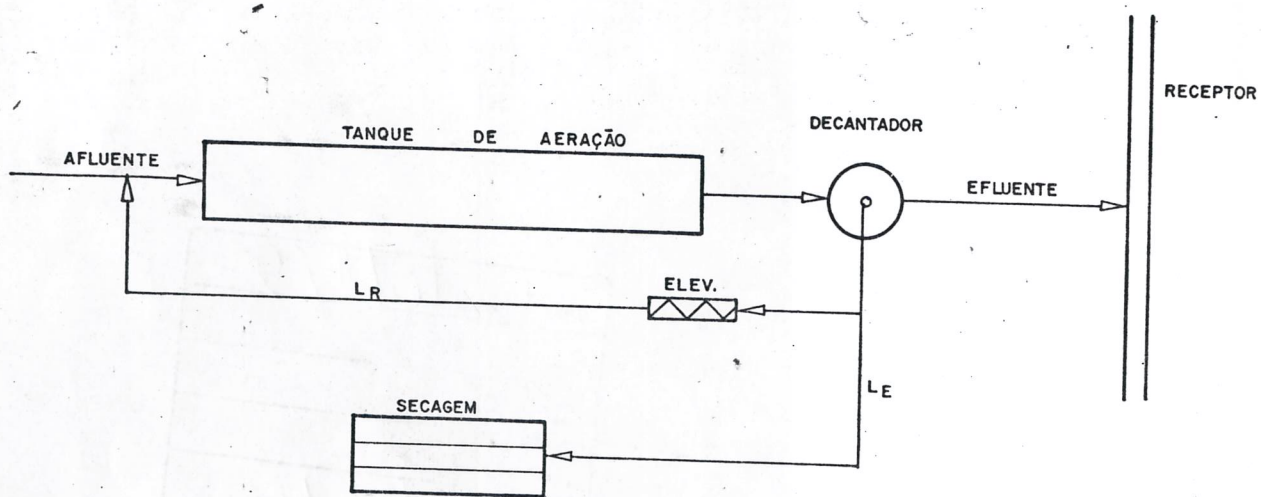
TTC/g NV



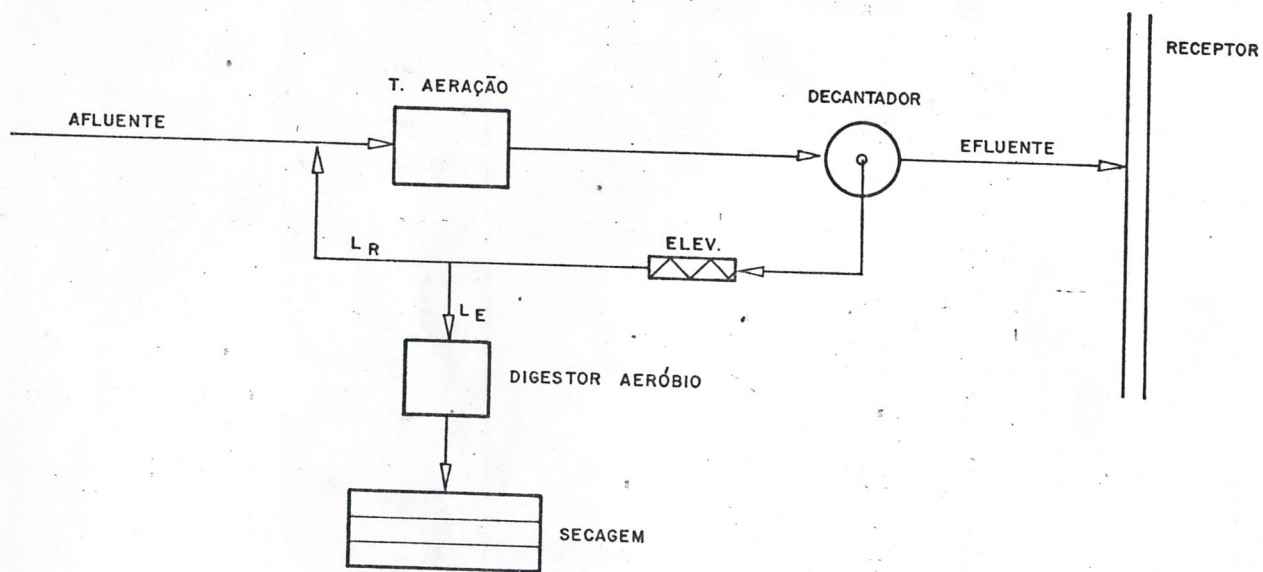
CURVA DE ATIVIDADE BACTERIANA EM UM SISTEMA FECHADO

# ANEXO I

(DIGESTÃO AERÓBIA)



FLUXOGRAMA DE UMA ESTAÇÃO DE AERAÇÃO PROLONGADA



L<sub>R</sub> = lodo recirculado

L<sub>E</sub> = lodo exedente

FLUXOGRAMA DE UMA ESTAÇÃO DE LODOS ATIVADOS COM DIGESTÃO AERÓBIA