

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

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

APLICAÇÃO DO MODELO "ETAR 2" AO CONTROLO
DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

João T. de Quinhones Levy

Engenheiro Civil (IST) e Sanitarista (ENSP)
Assistente de Investigação Operacional no
Instituto Superior Técnico

RESUMO

Apresenta-se o modelo matemático "ETAR 2" e exemplifica-se a sua utilização no controlo de uma estação de tratamento de águas residuais domésticas.

Este modelo tem como características fundamentais ser interactivo e dialogante e ter como agente de decisão, o seu utilizador.

As decisões são tomadas ao longo da execução do modelo e são baseadas em informações fornecidas por este.

1 - INTRODUÇÃO

Analisando os níveis de atendimento das populações em infraestruturas de saneamento básico conclui-se que é no domínio do tratamento de águas residuais que a situação é mais desfavorável. Poucas são as estações de tratamento e raras são aquelas que funcionam em condições.

Se a sua inexistência pode ser explicada por terem sido conduzidos os investimentos para outras infraestruturas, já não se encontra justificação para o seu mau funcionamento.

A partir do levantamento das estações efectuado pelo autor, conclui-se que as razões fundamentais para esta situação são: o desajustamento entre as cargas estimadas e as cargas efectivas; a não realização de operações de manutenção e de exploração; a falta de formação dos operadores.

Relativamente às operações de manutenção e à formação dos operadores considera-se que a sua não realização se deve, essencialmente, a questões económicas e também, por não ser clara, ao dono da estação, a utilidade de uma estação a funcionar em condições. Com uma política adequada admite-se, contudo, que estas razões sejam ultrapassadas.

Em contrapartida, o desajustamento entre as cargas estimadas e as cargas efectivas e a definição de um programa de exploração são razões que se prendem mais a questões de ordem técnica.

A sua resolução não é fácil porque tem de passar pelo perfeito conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos do sistema de tratamento em causa.

Atendendo aos inúmeros factores que influenciam este sistema

considerou-se que as técnicas de investigação operacional poderiam constituir um importante auxílio.

Desta forma, desenvolveu-se um modelo matemático (ETAR 2) que tem como objectivo facilitar o dimensionamento e o controlo das unidades de tratamento de águas residuais.

Nesta comunicação apresenta-se este modelo e exemplifica-se a sua utilização no controlo de um sistema de tratamento tipo.

2 - ESTRUTURA DO MODELO

O modelo "ETAR 2" é constituído, fundamentalmente, por três sub-modelos. São eles:

- a) Sub-modelo para dimensionamento e controlo das unidades de tratamento.
- b) Sub-modelo para realização do balanço de caudais e de massas.
- c) Sub-modelo para avaliação da solução.

No sub-modelo de dimensionamento e controlo existem 14 rotinas correspondentes, cada uma delas, a um tipo de unidade de tratamento.

Em cada uma é dimensionada a unidade de tratamento, simulado o seu funcionamento e determinados os valores dos caudais e dos teores correspondentes à primeira iteração do balanço de caudais e de massas.

Estas rotinas são:

DEGRIL - Câmara de grades
DESSAB - Desarenador longitudinal
DESDES - Desrenador-desengordurador
RDEC-1 - Decantador primário
AREJ-1 - Tanque de arejamento
PERCOL - Leito percolador (1^a parte)
L-PERC - Leito percolador (2^a parte)
DECSEC - Decantador secundário num sistema de lammas
activadas (1^a parte)
REGRES - Decantador secundário num sistema de lammas
activadas (2^a parte)
DECPER - Decantador secundário num sistema de leitos
percoladores
ESPESS - Espessador de lammas
DIGANA - Digestor anaeróbio
ESTABI - Digestor aeróbio
LITSEC - Leitos de secagem

O sub-modelo relativo ao balanço de caudais e de massas é constituído pelas equações referentes à determinação das características do efluente de cada unidade. As variáveis de entrada deste modelo são as dimensões das unidades de tratamento, calculadas nas rotinas de dimensionamento e controlo.

O sub-modelo para avaliação da solução é constituído por 4 rotinas. Estas, têm a função de verificar o equilíbrio das dimensões entre as unidades e de calcular o custo da solução mais económica, para compará-lo com o da solução em estudo.

Estas rotinas são as seguintes:

FASE LÍQUIDA

- D1PD2 - Sistema constituído por decantador primário, leito percolador e decantador secundário.
- DIAD2 - Sistema constituído por decantador primário, tanque de arejamento e decantador secundário.

FASE DE LAMAS

- EDANLS - Sistema constituído por espessador, digestor anaeróbio e leitos de secagem.
- EDAELS - Sistema constituído por espessador, digestor aeróbio e leitos de secagem.

Na definição da estrutura do modelo procurou-se que o respectivo programa de computador não necessitasse de mais de 64 K bytes de memória central, de modo a que possa ser utilizado num vulgar microcomputador.

Este limite tornou impossível a realização de um programa em cadeia pelo que se concebeu uma estrutura em árvore, em que a partir de um programa principal, são chamadas as sub-rotinas (Figura 1).

É no programa principal, programa "ETAR 2", que é feita a entrada de dados e é escolhido o esquema de tratamento. É também este programa que comanda a chamada de todos os sub-programas e que faz a saída de resultados.

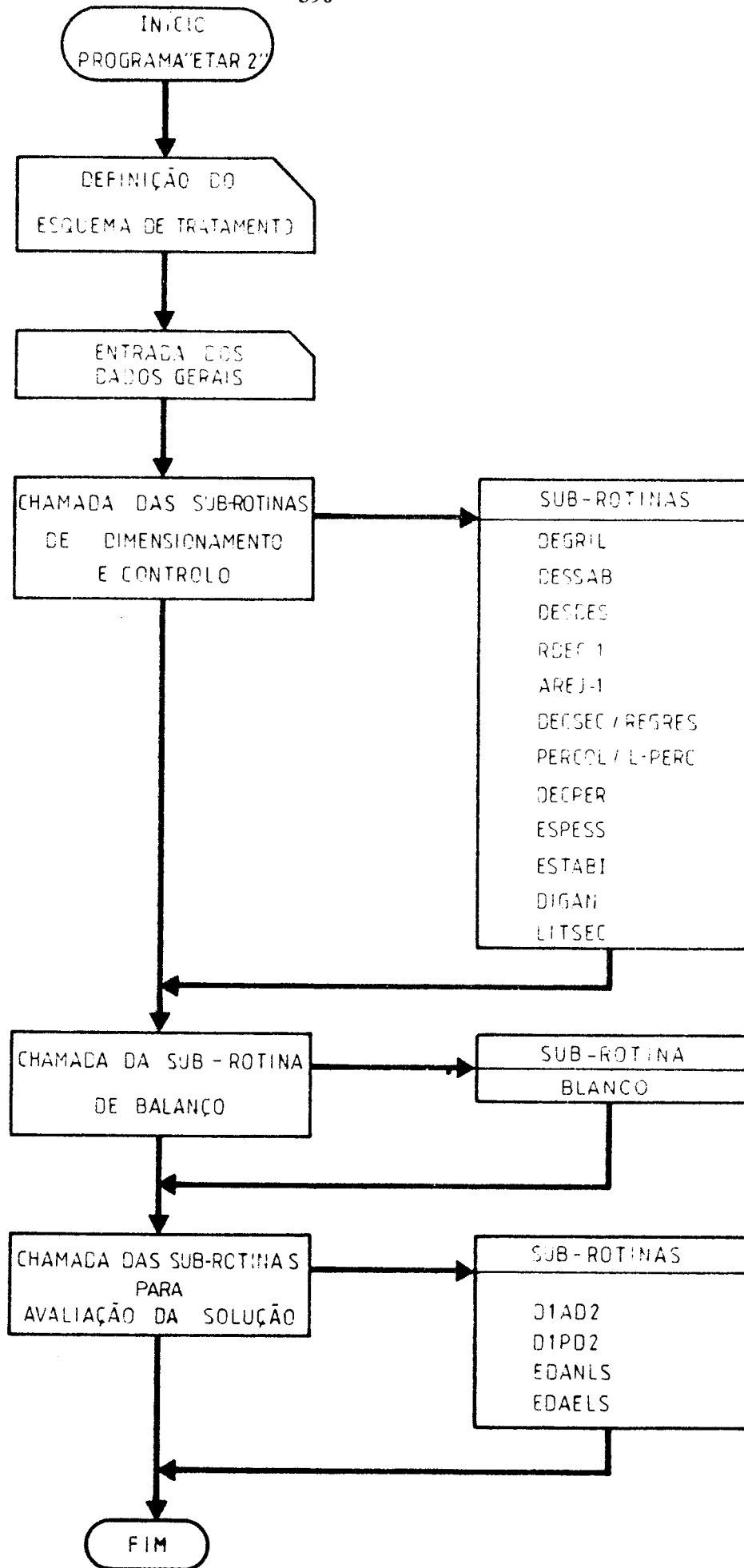


FIGURA 1 - Estrutura do programa "ETAR 2"

3 - FORMAS DE UTILIZAÇÃO DO MODELO

O modelo "ETAR 2" pode ser explorado de três formas diferentes:

a) Dimensionamento de uma estação de tratamento

No dimensionamento de uma estação, a sua utilização será a seguinte:

1) Sub-rotinas de dimensionamento e controlo

Determinam-se as dimensões das unidades e os valores iniciais dos caudais e teores. Guardam-se em memória no programa principal os seus valores.

2) Sub-rotina de balanço de caudais e de massas

Repete-se o ciclo de cálculo tantas vezes quantas as necessárias para atingir a estabilidade do sistema.

Obtidos os valores finais de caudais e de teores ao longo do circuito hidráulico, estes são enviados ao programa principal para ser efectuada a sub-rotina seguinte.

3) Sub-rotina para avaliação da solução

No final do programa principal, após se terem dimensionado as unidades de tratamento e calculado o seu modo de funcionamento, determinam-se quais as dimensões que as unidades deveriam tomar se apenas se considerassem critérios económicos. Comparam-se os custos e as dimensões destas duas soluções.

A forma gráfica que se adoptou para apresentação dos resultados, permite estudar o equilíbrio de dimensões entre as unidades e avaliar o seu custo face ao custo total do sistema.

b) Aferição das dimensões das unidades de tratamento

A utilização do modelo "ETAR 2" como sistema de aferição das dimensões das unidades de tratamento, reveste-se de particular importância em zonas de grande desenvolvimento.

O levantamento das estações existentes, demonstrou que estas se encontram, em regra, sujeitas a cargas diferentes daquelas para que foram dimensionadas, o que obriga ao redimensionamento de algumas das suas unidades.

A forma de abordar estas situações foi já apresentada pelo autor, LEVY (1984), pelo que apenas se esquematiza na Figura 2, o método seguido.

c) Controlo de funcionamento de uma estação de tratamento

A razão do interesse de um modelo de simulação como técnica de controlo de uma estação, deve-se à variação de cargas a que um sistema de tratamento está sujeito, desde o seu início até ao final.

O que significa que, se as cargas efectivas verificadas durante o seu funcionamento não forem as estimadas na fase de projecto, a exploração da estação terá de ser diferente daquela que foi proposta na sua concepção.

Através do modelo "ETAR 2" é possível estabelecer o funcionamento mais adequado por forma a alcançar os objectivos de tratamento. Para tal bastará conhecer as dimensões das unida-

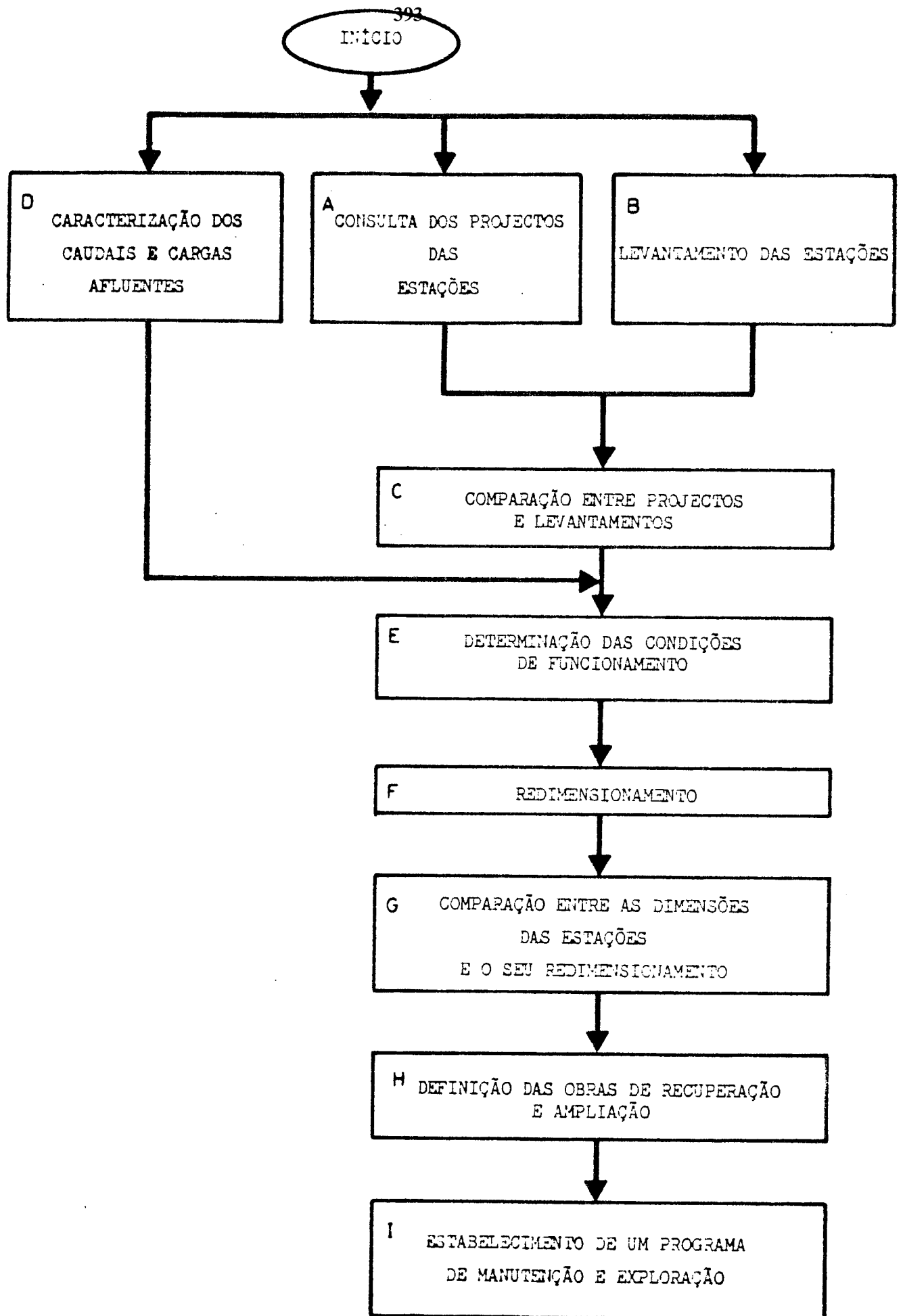


FIGURA 2 - Aferição das dimensões das unidades de tratamento

des e determinar as cargas afluentes. Por meio das rotinas de dimensionamento e controle e de balanço estimam-se as condições de funcionamento das unidades e estabelecem-se as ações de intervenção necessárias.

4 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Apresenta-se de seguida um exemplo de aplicação do modelo "ETAR 2" no controlo de um sistema de tratamento. Como sistema, admitiu-se o representado na Figura 3.

PASSO 1 - Determinação por meio de análises físicas e químicas, dos teores em sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), a carência bioquímica em oxigênio ao 5^o dia. Avaliação do caudal afluente.

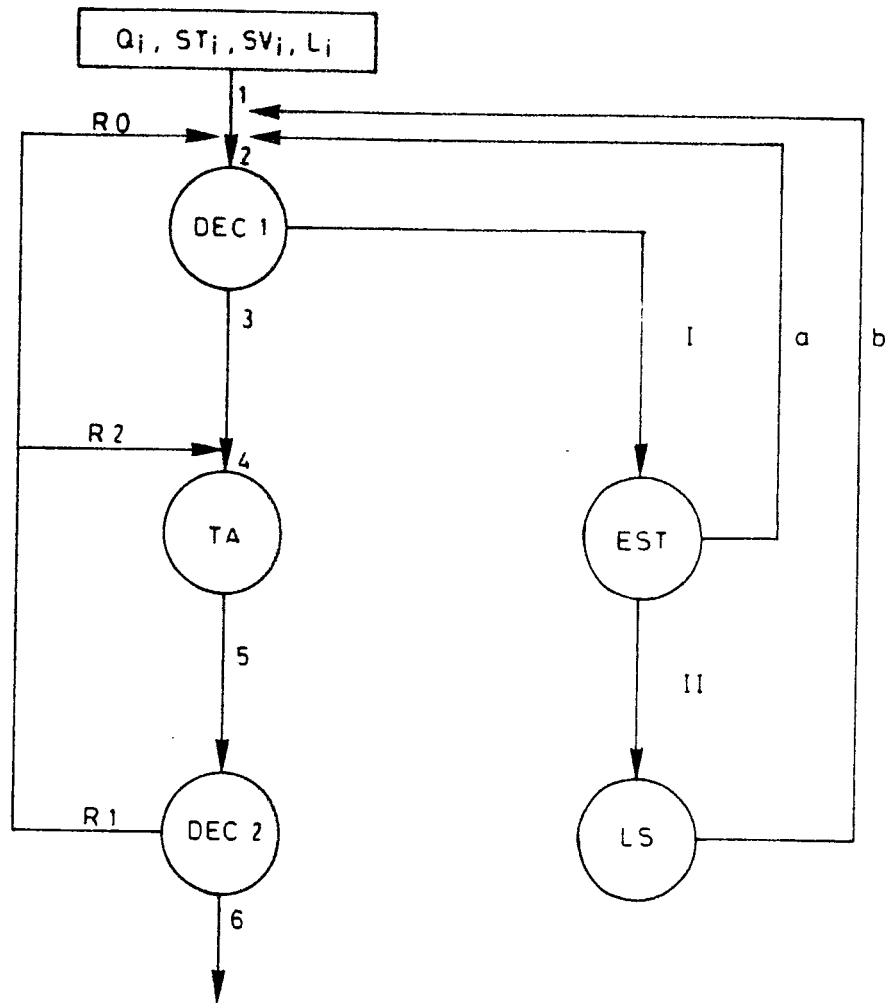
Determinar o caudal por meio da leitura no medidor ou por outro método.

PASSO 2 - Determinação da eficiência do decantador primário em redução de sólidos suspensos e em CBO_5 .

A partir dos modelos de CIRIA (1975), SMITH (1969), TEBBUT e CHRISTOULAS (1975) e VOSHEL e SAK (1968) calculam-se as características dos efluentes.

Os caudais Q_3 e Q_I são também calculados a partir do balanço de caudais e de massas. Este balanço permite conhecer qual o caudal em excesso que deverá ser descarregado, assim como, as cargas afluentes às unidades a jusante.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se os gráficos resultantes da rotina "RDEC1".



LEGENDA

- DEC 1 - Decantador primário
- TA - Tanque de arejamento
- DEC 2 - Decantador secundário
- EST - Tanque de estabilização
- LS - Leitos de secagem
- Q_i - Caudal
- ST_i - Concentração em SST
- SV_i - Concentração em SSV
- L_i - Concentração em CBO_5

FIGURA 3 - Esquema de tratamento

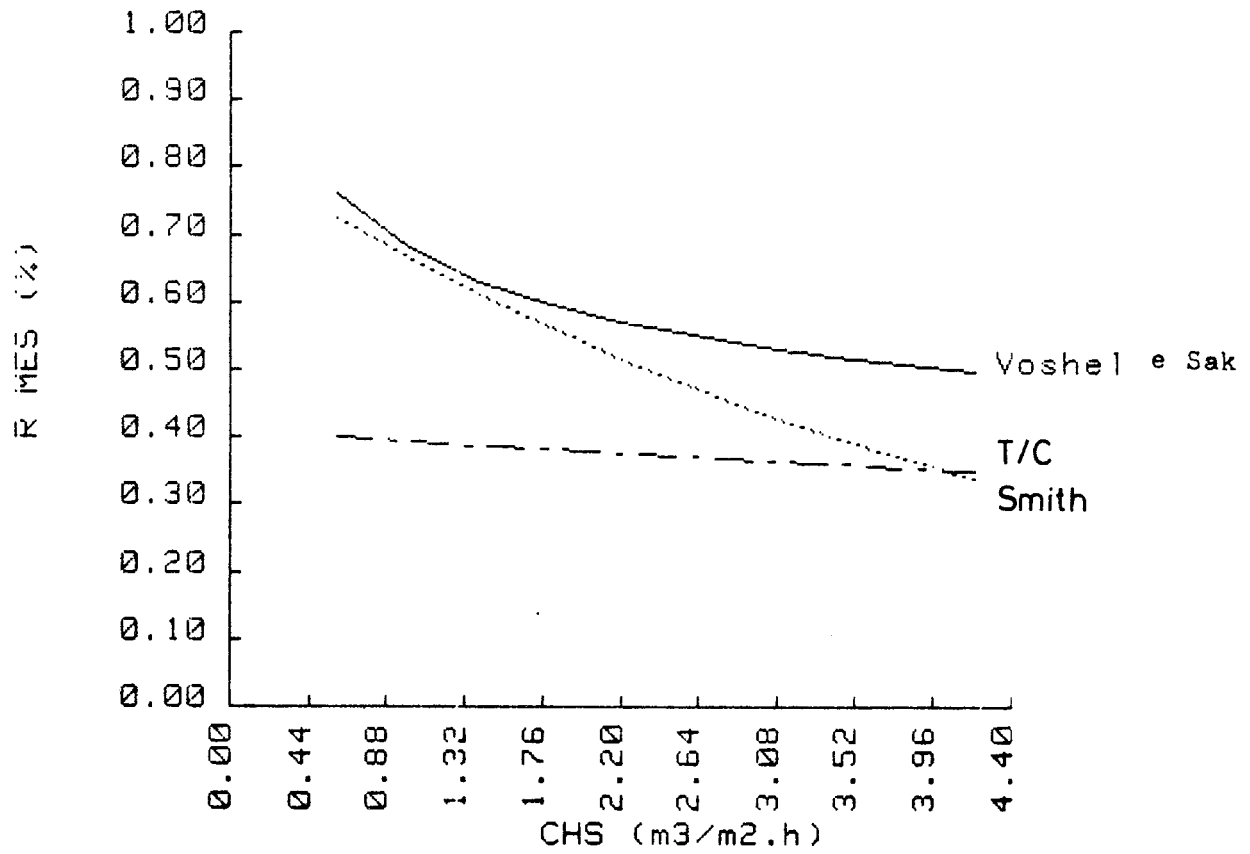
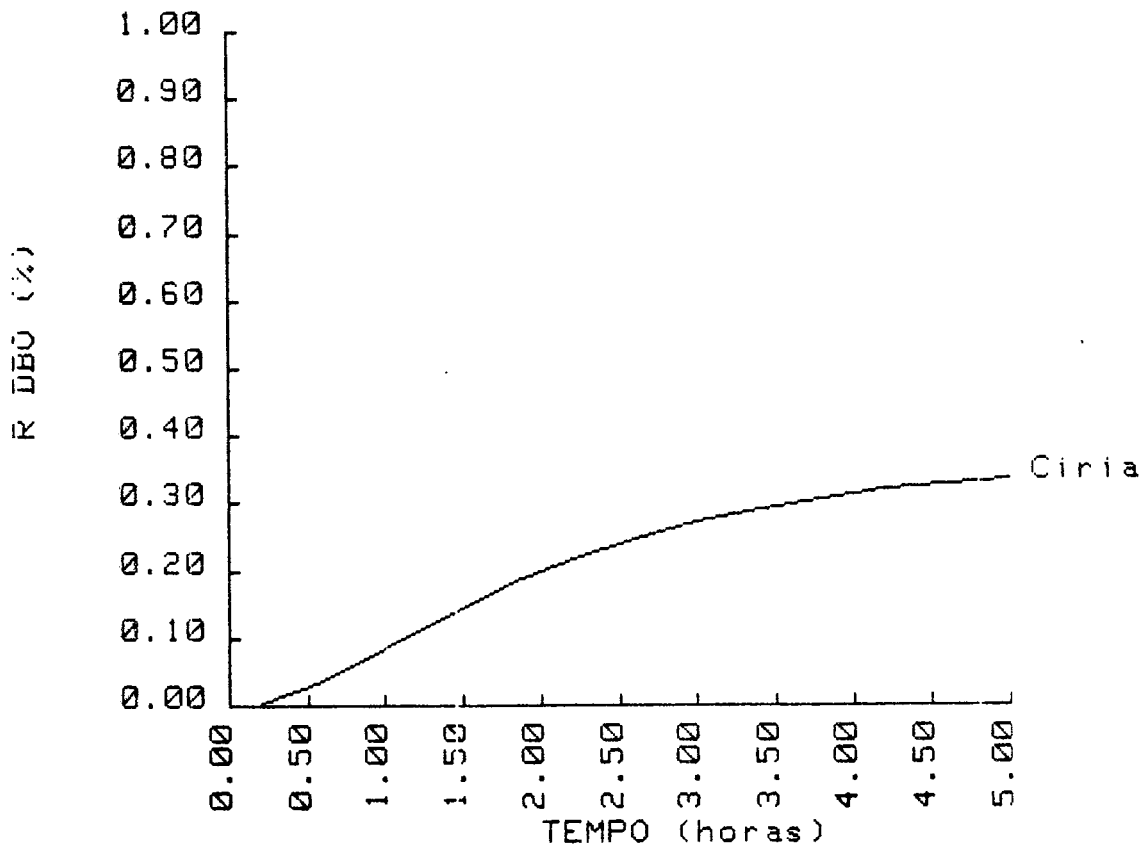


FIGURA 4 - Eficiência em redução de SST

FIGURA 5 - Eficiência em redução da CBO₅

PASSO 3 - Definição do sistema de exploração do tanque de arejamento.

O controlo de funcionamento do tanque de arejamento é uma das operações mais importantes e que exige o maior conhecimento do sistema.

Para garantir um efluente adequado há que ajustar a exploração desta unidade às cargas afluentes, às dimensões do tanque e à potência das turbinas.

Repare-se que não é pelo facto de se ter estabelecido no projecto um valor para a carga mássica que este se vai observar. Para tal, ter-se-á que regular a concentração em sólidos suspensos voláteis no tanque, visto que:

$$C_m = (L_3 Q_3 24) / (V_a SV_5)$$

em que:

C_m - carga mássica (d^{-1})

Q_3 - caudal afluente ($m^3 h^{-1}$)

SV_5 - concentração da mistura no tanque em SSV
($mg SSV l^{-1}$)

L_3 - concentração do afluente em CBO_5
($mg CBO_5 l^{-1}$)

V_a - volume do tanque (m^3)

O controlo de um sistema de lamas activadas por meio da carga mássica não é fácil, por exigir análises laboratoriais demoradas. Propõe-se que se realize, em alternativa, o controlo através da idade das lamas.

O valor a adoptar para esta variável deverá ser no mínimo, o valor necessário para assegurar a concentração em CBO_5 solúvel, estabelecida para o efluente final.

$$I_c \geq (K_s + L_6 (\text{sol})) / (Y K L_6 (\text{sol}) - K_d K_s - K_d L_6 (\text{sol}))$$

em que:

I_c - idade das lammas (d)

K_s - concentração do substrato para 1/2 da taxa máxima de utilização do substrato por unidade de peso de microorganismos (mg l^{-1})

K_d - taxa de decaimento (d^{-1})

K - taxa máxima de utilização do substrato por unidade de peso de microorganismos (d^{-1})

Y - coeficiente de produção ($\text{mg SSV mg}^{-1} \text{CBO}_5$)

$L_6 (\text{sol})$ - CBO_5 solúvel no efluente (mg l^{-1})

Conhecido o valor mínimo da idade das lammas, o valor a adoptar deverá ser escolhido em função das condições de funcionamento pretendidas: concentração em biomassa, concentração em sólidos suspensos totais; produção de lammas.

A regulação da idade das lammas é conseguida através da descarga das lammas em excesso, a qual é, por sua vez, função da concentração das lammas no decantador secundário.

Apresentam-se nas Figuras 6, 7 e 8 os gráficos produzidos pela rotina "AREJ - 1" que permitirão estabelecer as condições de funcionamento do tanque de arejamento.

Relativamente à potência das turbinas, caso se verifique

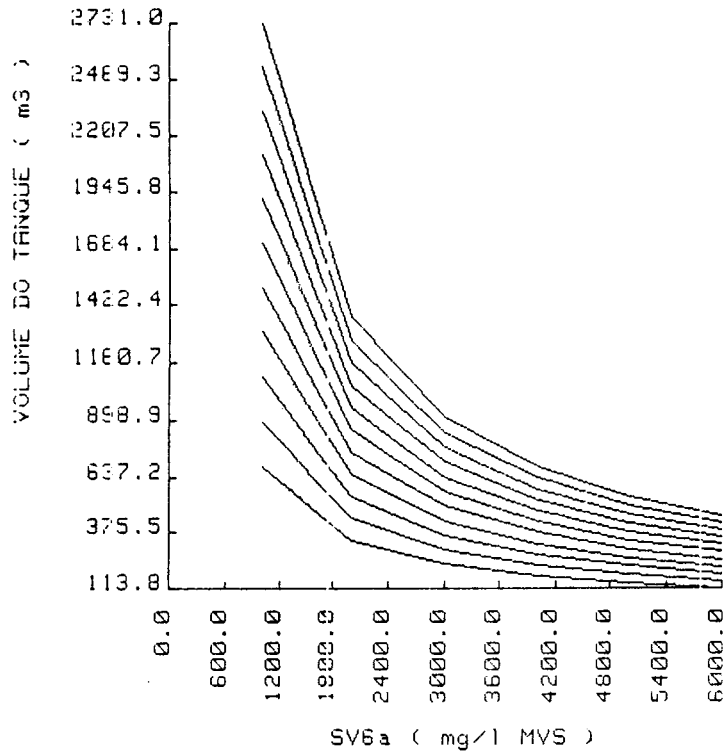


FIGURA 6 - Relação "Concentração em SSV (a) - Volume"

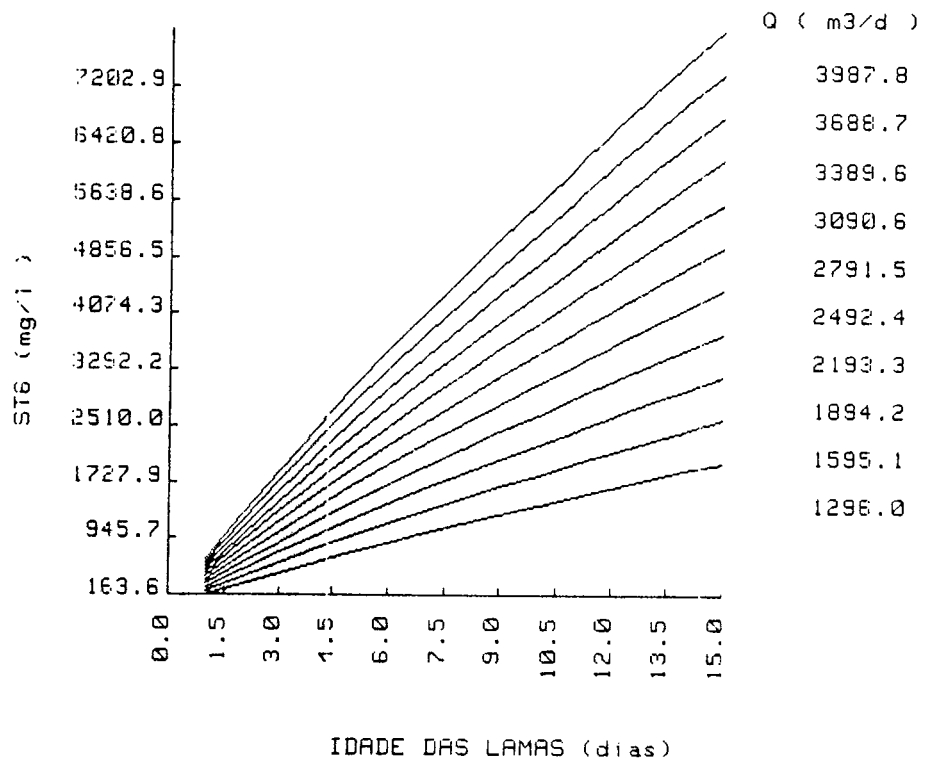


FIGURA 7 - Relação "Idade das lammas - Concentração em SST"

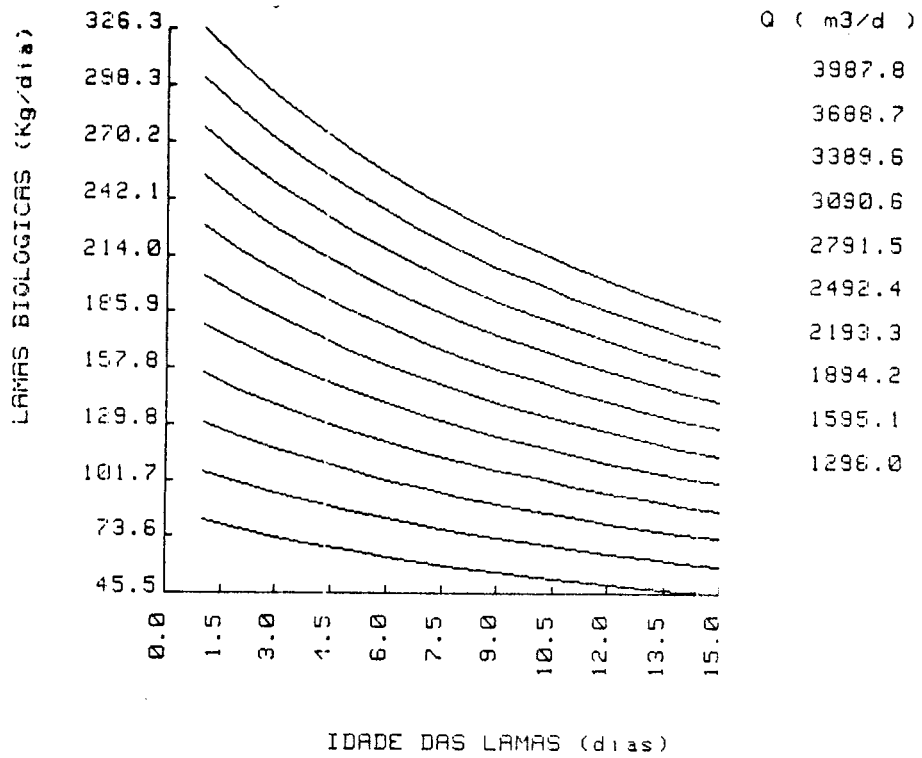


FIGURA 8 - Relação "Idade das lamias - Produção de lamias biológicas"

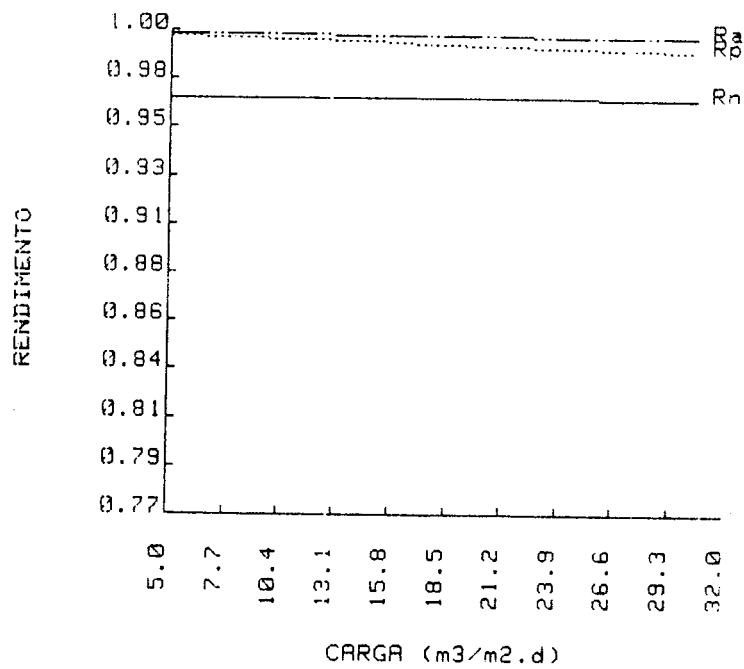


FIGURA 9 - Eficiência do decantador secundário

que a concentração em oxigênio é excessiva, deverão parar-se periodicamente as turbinas. Caso contrário, a única fórmula de garantir uma concentração adequada de oxigênio, sem alterar as turbinas, será a de diminuir a concentração da mistura no tanque. Para tal poderá utilizar-se a seguinte relação proposta por RICH (1980):

$$p = 8.125 \ln ST_6 - 48.75$$

em que:

- p - potência das turbinas em ($W m^{-3}$)
 ST_6 - concentração da mistura em sólidos suspensos totais ($mg SST L^{-1}$)

PASSO 4 - Determinação da eficiência do decantador secundário em redução do SST.

A generalidade dos modelos referentes a esta unidade considera uma eficiência em redução de sólidos suspensos muito elevado, Figura 9.

Esta eficiência só se verifica, no entanto, se não se exceder a concentração superficial de sólidos limite. Assim, há que calcular a área correspondente ao fluxo limite e compará-la com a área do decantador. Se esta fôr inferior, ter-se-á que reduzir a concentração da mistura no tanque de arejamento por meio da alteração da idade das lammas. Para o cálculo da área limite poderá seguir-se a teoria de DICK (1981), pelo que se terá de calcular a velocidade de sedimentação das lammas, Quadro I.

Para o balanço de caudais e de massas em torno do decantador recorre-se ao esquema da Figura 3.

QUADRO I

Determinação da área mínima do decantador secundário

ST6= 3992.54 mg/l

Xr (mg/l)	R	Q/A (m ³ /m ² .d)	A (m ²)
6000.00	1.989	57.89	34.45
7000.00	1.328	60.18	33.13
8000.00	.996	58.44	34.12
9000.00	.797	55.23	36.10
10000.00	.665	51.62	38.63
11000.00	.570	48.04	41.51
12000.00	.499	44.67	44.64
13000.00	.443	41.56	47.97
14000.00	.399	38.74	51.47
15000.00	.363	36.18	55.11

QUADRO II

Exploração do tanque de estabilização de lamas

VOLUME (m³) = 576
 CONCENTRACAO max ST (mg/l) = 30000
 CONCENTRACAO Sub (mg/l) = 4900
 FLUTUACAO DA CONCENTRACAO SS (mg/l) = 5000

J dia	X mg/l	P Kg/d	PT Kg	CV mg/l	D mg/l	DP Kg	CVSV mg/l	PTSV Kg
254	2225	347	17522	30420	5420	3122	5470	9496
260	2221	347	17520	30417	5417	3120	5455	9471
272	2217	346	17519	30414	5414	3119	5442	9449
281	2214	346	17517	30411	5411	3117	5430	9428
290	2210	346	17515	30409	5409	3115	5420	9409
299	2207	346	17514	30406	5406	3114	5410	9392
308	2204	346	17513	30404	5404	3113	5400	9376
317	2201	346	17511	30402	5402	3111	5392	9361
326	2198	346	17510	30400	5400	3110	5384	9347
335	2196	345	17509	30398	5398	3109	5377	9335
344	2193	345	17508	30396	5396	3108	5370	9323
353	2191	345	17507	30394	5394	3107	5364	9312

DESCARGA DIARIA DAS LAMAS (Kg/d) = 351.233
 IDADE DAS LAMAS (dias) = 43.198
 TEMPO RETENCAO HIDRAULICA (dias) = 12.000
 EFICIENCIA (peso) = .390
 DESCARGA DIARIA DE LAMAS SV (Kg/dia) = 105.714
 EFICIENCIA SV-2 = .685

O caudal afluyente é igual a Q_5 , enquanto que o caudal efluente será igual à soma dos caudais de recirculação de lamas (Q_{R2}), de lamas em excesso (Q_{R0}) e do líquido decantado (Q_6).

O caudal de recirculação é igual a:

$$Q_{R2} = r Q_3$$

sendo a taxa de recirculação igual a:

$$r = 1/((ST_{R1}/ST_5) - 1)$$

O valor de Q_{R0} é igual a:

$$Q_{R0} = V_a ST_5 / 1000 I_c$$

em que:

- Q_{R0} - caudal de lamas em excesso ($m^3 d^{-1}$)
- V_a - volume do tanque de arejamento (m^3)
- ST_5 - concentração em SST no tanque de arejamento ($mg L^{-1}$)
- I_c - idade das lamas (d^{-1})

d) Tanque de estabilização de lamas

Tendo sido definido o volume do tanque na fase do projecto, este não poderá ser alterado mesmo que o caudal afluyente seja superior ao previsto. O tempo de retenção hidráulica será, por isso, uma variável exógena não controlável.

As operações de manutenção incidirão, assim, sobre a concentração máxima de sólidos suspensos na mistura e nos caudais descarregados.

Repare-se que com o esquema de tratamento definido na Figura 3, deverá procurar-se aumentar a concentração das lamas, por forma a reduzir a área dos leitos de secagem.

O valor máximo da concentração será limitado pela potência das turbinas.

O valor do caudal descarregado para os leitos de secagem e a sua periodicidade, serão determinados em face da redução da concentração de sólidos suspensos voláteis biodegradáveis desejada, da área dos leitos e do programa de exploração.

A qualidade do efluente final poderá ser estimada mediante o balanço em torno do sistema:

$$SV_{II}/SV_I = \prod_i 1/(1+Kd_i I_c)$$

em que:

Kd_i - taxa de decaimento para a idade de lamas, $I_c = i$

I_c - idade de lamas

Utilizando as técnicas de simulação para um período de i

dias, ao fim do qual se verifica um funcionamento permanente, determina-se o programa de exploração mais vantajoso.

No Quadro II apresenta-se um exemplo dos resultados obtidos por esta rotina.

e) Leitos de secagem

Para os leitos de secagem não se desenvolveu propriamente um modelo de controlo mas sim uma formulação matemática que permite calcular, para a área disponível e para as condições de funcionamento adoptadas, se a área é satisfatória.

Faz-se notar que o sistema de cálculo dos leitos de secagem normalmente seguido, tem conduzido a situações de sub-dimensionamento dos leitos. Em consequência, o número de descargas de lamas indicado no programa de exploração não pode ser cumprido com graves repercussões nas unidades a montante.

5 - CONCLUSÕES

Atendendo á situação degradada em que se encontram a generalidade das estações de tratamento de águas residuais em Portugal, considera-se que devem ser envidados os maiores esforços no desenvolvimento das técnicas de controlo das estações.

Nesse sentido, desenvolveu-se o modelo matemático "ETAR 2" que tem como objectivo constituir um auxiliar dos técnicos responsáveis pela concepção e condução de estações de tratamento.

Este modelo que tem como características fundamentais ser interactivo e dialogante, procura fornecer ao seu utilizador as informações necessárias ao dimensionamento e controlo.

Da sua aplicação é de esperar conseguir economias apreciáveis, assim como uma melhor compreensão dos processos de tratamento.

REFERÊNCIAS

1. Ciria (Construction Industry Research and Information Association), 1975: "Cost - effective sewage treatment - the creation of an optimising model", Report 46, Volume 2: "Performance and cost calculation" (revised), 2nd ed., London.
2. Evenson, D.E., Orlob, G.T. and Monser, J.R., 1969: "Preliminary selection of waste treatment systems", J. Water Pollut. Control Fed. 41, 1845 - 1858.
3. Erickson, L.E. and Fan, L.T., 1968: "Optimization of the hydraulic regime of activated sludge systems", J. Water Pollut. Control Fed. 40, 345 - 362.
4. Galler, W. S. and Gotaas, H.B., 1964: "Analysis of biological filter design", J. Sanit. Eng. Div. A.S.C.E. 92, 163 - 182.
5. Gemmel J.S. and Smith, P.G., 1982: "Interactive computer design for wastewater treatment plants", Public Health Eng. 10, 175 - 177.
6. Hughes, M.M., 1978: "The least cost design of the activated Sludge Process With Geometric Programming", Rept. submitted for the degree of Master of Engineering, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Univ. of North Caroline at Chapel Hill.
7. Lawrence, A.W. and Mc Carty, P.L., 1970: "Unified bases for biological treatment design and operation", J. Sanit. Eng. Div. A.S.C.E. 96, 757 - 778.
8. Levy, J.Q.; Carranca, P.; Morgado, A., 1984: "Controle de estações de tratamento de águas residuais domésticas", comunicação apresentada no 1º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Lisboa.
9. Lynn, W.R., Logan, J.A. and Charnes, A., 1962: "Systems analysis for planning wastewater treatment plants", J. Water Pollut. Control Fed. 34, 565 - 581.
10. Mc Beath B.C. and Eliassen, R., 1966: "Sensitivity analysis of activated sludge economics", J. Sanit. Eng. Div. A.S.C.E. 9, 147 - 167.
11. Middleton, A.C. and Lawrence, A.W., 1976: "Least cost design of activated sludge systems", J. Water Pollut. Control 4, 889 - 905
12. Mishra, P.N., Fan, L.T. and Erickson, L.E., 1973: "Biological wastewater treatment system design. Part I. Optimal synthesis", Canadian J. Chem, Eng. 51, 694 - 701.
13. Shih, C.S. and Krishnann, P., 1969: "Dynamic optimization for industrial waste treatment design", J. Water Pollut. Control Fed. 41, 1 787 - 1 798.

14. Shoemaker, J.E. and Barkley, W.A., 1977: "Interactive computer design of wastewater plants", J. Environmental Eng. Division 103, 919 - 934.
15. Smith, R., 1969: "Preliminary design of wastewater treatment systems", J. Sanit. Eng. Div. A.S.C.E. 95, 117 - 145.
16. Tebbut, T.H.Y. and Christoulas, D.G. 1975: "Performance relationships for primary sedimentation", Water Res. 9, 347 - 356.
17. Tyteca, D. 1979: "Modélisation et optimisation économique des stations d'épuration d'eaux résiduaires", Doctorat thesis, Institut des Sciences Naturelles Appliquées, Université Catholique de Louvain, Louvain - la - Neuve (Belgium).
18. Voshel, D. and Sak, J.G., 1968: "Effect of primary effluent suspended solids and BOD on activated sludge process", J. Water Pollut. Control Fed. 40, R 203 - R 212.