

IV ENCONTRO ANUAL MGI

ASPECTOS DETERMINANTES NA CONCEPÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

João de Quinhones Levy(*)

00/05/18

(*) Engenheiro Civil Sanitarista

Professor no IST

Presidente do Conselho de Gerência da ECOSERVIÇOS

IV ENCONTRO ANUAL MGI

ASPECTOS DETERMINANTES NA CONCEPÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

João de Quinhones Levy(*)

00/05/18

RESUMO

Na presente comunicação, desenvolvem-se os princípios de concepção dos sistemas de tratamento, atendendo aos diversos critérios de decisão, nomeadamente, tecnológicos, económicos e ambientais.

Analisa-se os princípios de concepção actuais e perspectiva-se a sua evolução à medida que forem introduzidos os critérios ambientais.

(*) Engenheiro Civil Sanitarista

Professor no IST

Presidente do Conselho de Gerência da ECOSERVIÇOS

IV ENCONTRO ANUAL MGI

ASPECTOS DETERMINANTES NA CONCEPÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

1 – INTRODUÇÃO

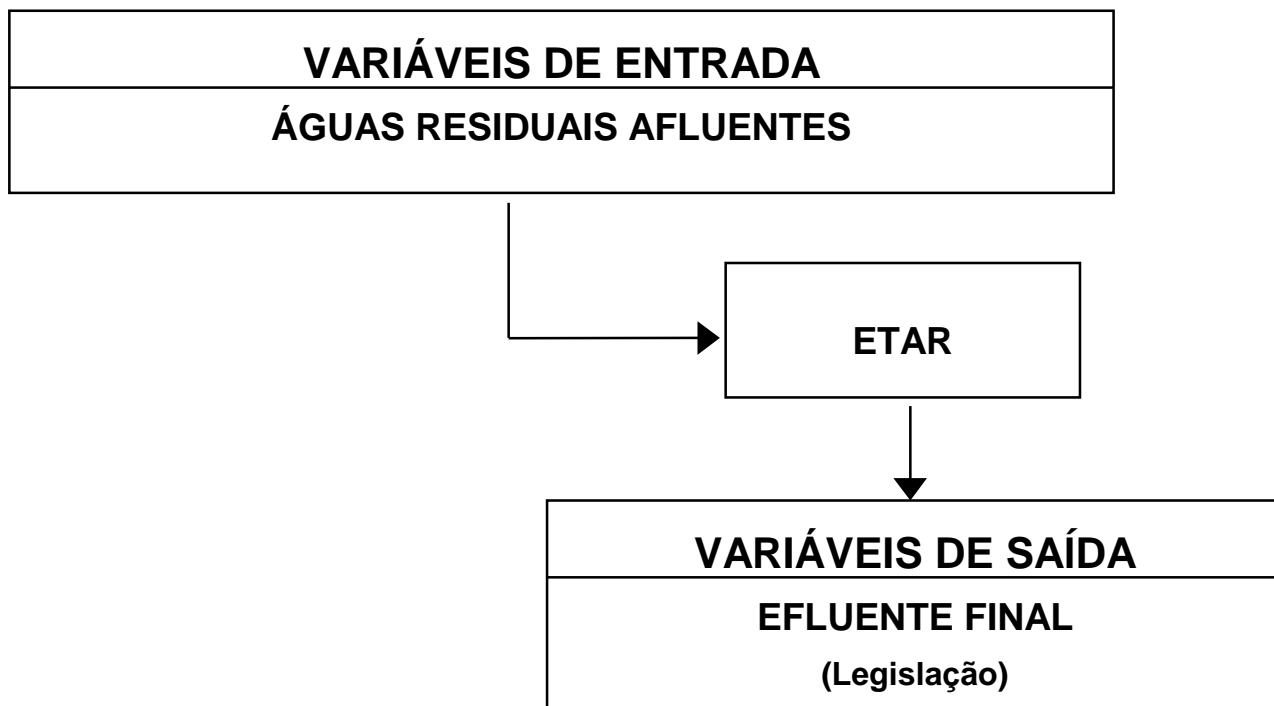
Uma estação de tratamento de águas residuais pode ser vista como um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que aplicados a umas águas residuais as transformam em produtos finais (líquidos, lamas e gasosos) que devem estar dentro das normas vigentes.

Em termos da Teoria de Análise de Sistemas, o caudal afluente e suas concentrações comportam-se como variáveis exógenas que influenciam o sistema.

As características a exigir ao efluente final são restrições ao sistema que poderão ser, ou não, violadas.

A ETAR, em si, é o corpo do modelo constituído por um conjunto de equações que traduzem os processos que se verificam na estação.

O objectivo do sistema não é a construção da ETAR mas minimizar os custos globais, construção, exploração e penalizações incluídas.



A ETAR tem como objectivo garantir um efluente final em conformidade com a legislação em vigor que atende às características do meio receptor.

SISTEMA DE TRATAMENTO

2 – PROCESSOS DE TRATAMENTO

2.1 – FASE LÍQUIDA

São muitos os tratamentos físicos e físico-químicos que hoje em dia se podem adoptar para o tratamento das águas residuais.

A diversidade não significa, contudo, que todos eles sejam recomendáveis em todos os casos.

A sua aplicação deve ser sempre antecedida de uma análise de soluções alternativas que pese custos de investimento e de exploração.

A experiência neste campo mostra que baixos custos de investimento repercutem-se geralmente em elevados custos de exploração e vice-versa. Desta forma, haverá que calcular, quer o custo global do investimento, actualizando os custos de exploração, quer avaliar o melhor momento para efectuar os dispêndios.

Sem se pretender ser exaustivo, indicam-se alguns dos tratamentos físicos e físico-químicos.

Remoção de sólidos grosseiros: Grades, crivos, tamisadores

Para a remoção de sólidos grosseiros, instalam-se grades no canal de entrada da ETAR. Estas grades distinguem-se entre si pelo sistema de limpeza, que poderá ser manual ou mecânico, e pelo espaçamento entre grades, que varia desde 10 a 0.5 cm.

A remoção de sólidos de menores dimensões é conseguida através de crivos e tamisadores. Nestes últimos, os espaçamentos irão até 0.3 mm.

Remoção de areias: Desarenadores

A remoção de areias do afluente é conseguida através de desarenadores. Estes, na sua forma mais simples, são constituídos por um canal com secção rectangular, trapezoidal ou parabólica, no qual se mantém uma velocidade constante de 0.3 m s^{-1} , para assegurar a sedimentação das areias e o arrastamento do material orgânico.

Para maiores caudais, substituem-se estes desarenadores por outros de secção circular ou rectangular em que os sólidos orgânicos são mantidos em suspensão através da injeção de ar, ou por rotação de pás mergulhadas no líquido. A remoção das areias é efectuada por meio de um sistema de air-lift ou através de grupos submersíveis.

Remoção de óleos e gorduras: Desoleadores, desengorduradores, flotores físicos

Os sistemas mais simples baseiam-se em tanques de secção superficial rectangular no qual são instalados septos, por forma a que se verifique uma subida dos flotores a partir do fundo e a reter os óleos e gorduras entre os septos.

Para maiores eficiências, introduz-se ar através de difusores instalados no fundo, que arrastam as gorduras para a superfície. Neste tipo de sistemas ter-se-à que ter uma certa cautela no caudal de ar, pressão e dimensão da bolha, pois poderá provocar a mistura em vez do arrastamento, o que dará origem a eficiências praticamente nulas.

Um processo mais eficiente é conseguido com flotores. Nestes, o afluente antes de entrar no tanque de flotação é misturado com parte do efluente, recirculado à cabeça a uma pressão da ordem dos 5 Kgf cm^{-2} . Enquanto num desengordurador com insuflação de ar a partir do fundo se consegue uma eficiência em remoção da ordem dos 30%, nestes flotores a remoção chega aos 50%.

Tratamentos primários: Decantadores primários e flotores

Os tratamentos primários têm como objectivo reduzir as cargas do afluente em sólidos

suspensos (SS), gorduras, carência bioquímica de oxigénio ao 5º dia (CBO₅) e carência química de oxigénio (CQO).

Vulgarmente são utilizados decantadores que, por sedimentação, conseguem eficiências da ordem dos 80%, 60%, 30% e 20% em redução de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, CBO₅/CQO, e gorduras. Estes decantadores poderão ser tradicionais, calculados para uma carga hidráulica de 1 m³ m⁻² h⁻¹, ou lamelares, sendo, neste sistema, calculados para 6 m³ m⁻² h⁻¹.

Para melhorar a eficiência de remoção ou reduzir a área superficial, poder-se-à aumentar a velocidade de sedimentação através da injeção de coagulantes e floculantes.

Em alternativa aos decantadores, é possível utilizar flotadores para também reduzir SS, CBO₅ e CQO. Neste caso, ao afluente são adicionados coagulantes e floculantes e é acoplado ao flotador, um floculador, geralmente do tipo tubular.

As eficiências conseguidas são elevadas, respectivamente, 90%, 80% e 60% para gorduras, sólidos suspensos e CBO₅/CQO.

Tratamentos biológicos: Lamas activadas, leitos percoladores, biodiscos, outros.

Após o pré-tratamento e o tratamento primário, as águas residuais poderão ser conduzidas ao tratamento biológico, se forem biodegradáveis e não incluírem quaisquer produtos tóxicos.

O efluente final, efluente do decantador secundário, poderá ser descarregado directamente no meio receptor, ou afinado num sistema terciário em função da sua qualidade, das exigências do meio receptor e da sua reutilização.

As lamas resultantes do tratamento biológico são conduzidas a partir dos decantadores, primário e secundário (ou do flotador), para a linha de tratamento das lamas.

Afinação

A afinação do efluente secundário terá em conta a qualidade do meio receptor e dos usos pretendidos para o efluente.

Redução de nitratos e de fósforo, correcção do pH, desinfecção e regularização são alguns dos processos que actualmente têm sido adoptados por razões devidas ao meio receptor.

Quando da reutilização do efluente é ainda efectuada a filtração. Em termos de lamas é de destacar este processo pois que a lavagem dos filtros é responsável por descargas muito carregadas.

Estas descargas não podem ser lançadas numa linha de água, devendo ser conduzidas ao início do tratamento.

2.2 – TRATAMENTO DE LAMAS

A – ESTABILIZAÇÃO

As lamas produzidas nos tratamentos primários e nos biológicos poderão, ou não, ser sujeitas a tratamento posterior face às suas características e ao seu destino final.

No flotador e no decantador primário produzem-se lamas que não estão estabilizadas se resultarem de águas residuais biodegradáveis e, estabilizadas, caso contrário.

No decantador secundário, num sistema de lamas activadas em arejamento prolongado, as lamas estão estabilizadas pelo que não necessitam de tratamento posterior. Pelo contrário, em lamas activadas de alta e média carga e nos sistemas de biomassa fixa (percoladores e discos biológicos), as lamas terão de ser estabilizadas.

A estabilização de lamas poderá ser realizada por via química ou por via biológica.

A via química consiste, normalmente, na adição de cal numa razão de 1/3 de cal por Kg de lamas secas. É um processo que se traduz por um baixo custo de primeiro estabelecimento e elevado custo de exploração, quer ao nível da cal, quer ao nível do transporte e do destino final. Salienta-se que há um acréscimo de um 1/3 do peso de lamas.

A estabilização biológica é realizada por digestão, que poderá ser aeróbia ou anaeróbia. A primeira envolve um menor custo de construção, mas um maior custo de exploração, decorrente do sistema de arejamento. A escolha entre um e outro sistema deverá ser ponderada em termos económicos e, também, em termos de eficácia e de flexibilidade. A estabilização aeróbia é, neste ponto, superior. Na anaeróbia, para grandes caudais, mais de 50 000 hab.eq., poderá ser interessante a recuperação do biogás.

B – DESIDRATAÇÃO E COMPACTAÇÃO

Conforme capítulos anteriores verifica-se que num sistema de tratamento de águas residuais produzem-se sólidos nos seguintes pontos:

- Desarenadores: areias

Caso se trate de desarenadores de canal, sem qualquer arejamento, caso de pequenos caudais, as areias são retiradas manualmente e depositadas num contentor.

Para maiores caudais, as areias são removidas por bombagem ou por air-lift. Para redução da quantidade de água e lavagem das areias, estas poderão ser conduzidas a um parafuso que eleva as areias a um contentor, permitindo a sua lavagem e desidratação parcial.

- Grades/Crivos/Tamisadores: Gradados

Em função do espaçamento (ou dos orifícios) produzem-se mais ou menos gradados.

Quanto menor ele for, maior a quantidade de sólidos retidos. Para a face líquida há todo o interesse em reter a maior quantidade possível. Todavia, quanto maior a quantidade, tanto maior o número de contentores de gradados que deverão ser conduzidos a destino final.

Espaçamentos inferiores a 1 cm deverão ser baseados em equipamentos que envolvam limpeza mecânica, telas transportadoras e compactadores de gradados.

A compactação é usualmente feita através de um sem-fim, ou parafuso, que vai apertando a passo gradualmente. A extremidade está localizada a 1.5 m de altura por forma a que os gradados sejam lançados directamente num contentor.

- Desoleadores: Óleos

Os óleos separados terão de ser removidos do processo. Face às suas quantidades e características poderão ser queimados ou conduzidos a destino final.

- Desengorduradores: Gorduras

As gorduras deverão ser removidas. Nalgumas situações são reutilizadas, ou no próprio processo industrial, ou num processo derivado.

- Flotadores, Decantadores, Digestores: Lamas

Para redução do seu volume, as lamas são, regra geral, desidratadas, antes de conduzidas a destino final.

Os sistemas de desidratação mais comuns são os seguintes:

- Leitões de secagem;
- Sacos filtrantes;
- Filtro banda;
- Filtro prensa;

- Centrífuga.

Os leitos de secagem são utilizados quando há área disponível e o volume de lamas é reduzido. Para 30 dias de secagem e 35 cm de lamas sobre os leitos, são necessários 85 m² por m³ de lamas diárias. Este processo de secagem envolve elevada mão de obra para a remoção das lamas secas, para além de odores, pelo que está a cair em desuso.

Os sacos filtrantes são unidades que necessitam de mão de obra reduzida. O seu custo de instalação é baixo, cerca de 2 500 contos por unidade de 6 sacos. Têm utilização preferencial para 10 m³ d⁻¹ (uma unidade de 6 sacos) e no máximo de 20 m³ d⁻¹ (duas unidades de 6 sacos).

Os filtros banda é um equipamento de desidratação para caudais de lamas superiores a 20 m³ d⁻¹, por questões económicas. Relativamente aos equipamentos seguintes, apresenta um custo mais baixo, tal como uma eficiência, porque não ultrapassa os 25% de sólidos. Faz-se notar que estes filtros necessitam de mão de obra para a exploração, consomem água para lavagem das telas (6 a 10 m³ h⁻¹ por metro de rolo) e periodicamente necessitam da substituição da tela.

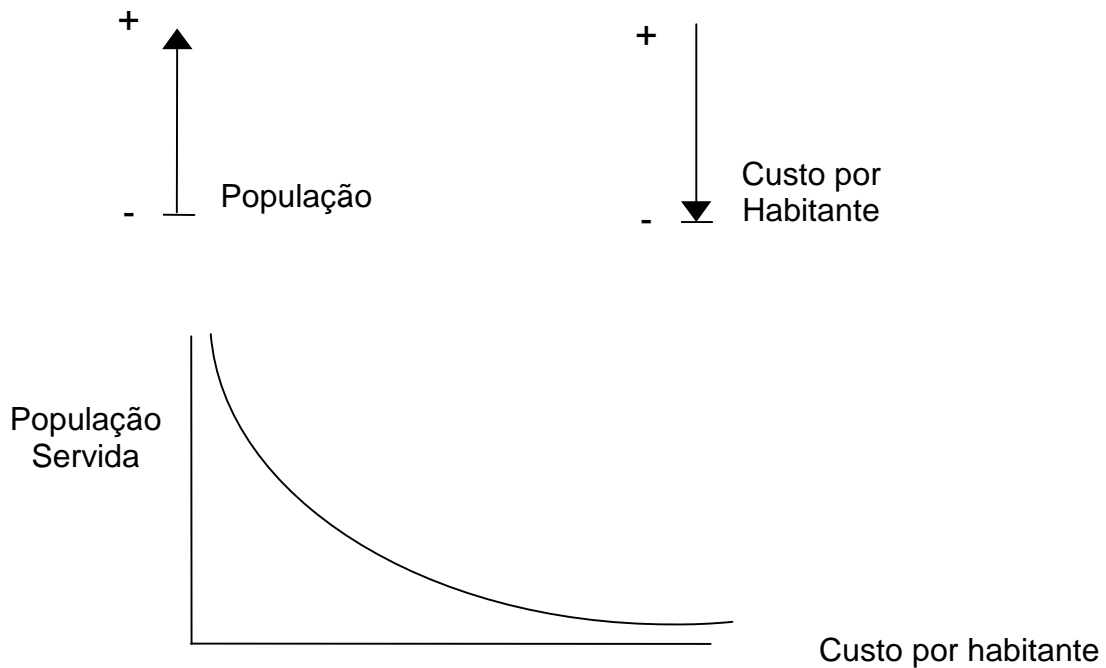
Os filtros prensa apresentam uma eficiência superior, cerca de 25% a 30% de sólidos. O seu custo é mais elevado e, como os anteriores, necessitam de água e substituição periódica de telas.

A centrífuga é o equipamento mais oneroso mas, em contrapartida, exige reduzida mão de obra, é de funcionamento automático e não necessita de água, nem de telas. Consegue um bolo com 25 a 30% de sólidos.

Todos estes sistemas de desidratação, com excepção dos leitos de secagem, recorrem a polielectrólitos para conseguir os graus de secagem indicados.

3 – CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E EXPLORAÇÃO

3.1 – CONSTRUÇÃO / POPULAÇÃO



Quando aumenta a população servida, diminui o custo por habitante.

3.2 – CONSTRUÇÃO / EXPLORAÇÃO



Regra geral, nas estações de tratamento, quando aumenta o custo de construção, diminui o custo de exploração.

4 – COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS

4.1 – DISTINÇÃO ENTRE SISTEMAS

Os processos de tratamento distinguem-se entre si pelas seguintes características:

- Aplicabilidade;
- Custo de primeiro estabelecimento;
- Custo de exploração;
- Eficiência/valor ambiental.

a) Aplicabilidade

Face às características das águas residuais industriais a tratar, deverá ser seleccionado o processo e as operações que asseguram melhores resultados.

b) Custo de primeiro estabelecimento

Para além do custo das empreitadas de construção civil, de fornecimento e montagem de equipamentos e de instalações eléctricas, inclui o custo de todo o processo conducente a construção da estação, nomeadamente, análises laboratoriais, estudos e projectos.

c) Custo de exploração

Inclui o custo das acções de operação e manutenção da estação.

d) Eficiência

É traduzida pelo quociente entre a carga de poluição removida e a carga afluenta. O valor ambiental da solução, que poderá incluir a valoração resultante da recuperação do líquido e lamas.

4.2 - AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES

As alternativas de tratamento devem ser avaliadas em termos técnicos, económicos e ambientais.

A avaliação técnica toma em conta, essencialmente, os critérios aplicabilidade e eficiência. O primeiro, no que respeita a escolha do processo e das operações, e na sua adequação as características do afluente. O segundo, para além da capacidade de depuração, considera o risco e a fiabilidade do sistema. Isto é, qual o nível de segurança com que o sistema de tratamento assegura o grau de tratamento pretendido.

Os tratamentos baseados em processos biológicos destinam-se a esgotos essencialmente biodegradáveis.

Os tratamentos baseados em processos físicos e químicos aplicam-se, essencialmente, a afluentes não biodegradáveis, que apresentam uma carência química de oxigénio muito elevada ou uma toxicidade acentuada, como fábricas de detergentes e de tratamento de superfícies ou como forma da carga à cabeça, em efluentes biodegradáveis muito carregados. Estes dois processos não são exclusivos, podendo-se utilizar em conjunto. A discussão de qual deles é o melhor, é incorrecta, visto que qualquer deles tem a sua aplicação.

Salvo o caso de esgotos cujas características impeçam o seu tratamento biológico, a escolha entre um ou outro sistema deve basear-se em critérios económicos e de eficácia.

Regra geral, um processo biológico tem um custo de construção mais elevado que o de um processo físico e químico mas, em contrapartida, apresenta um custo de exploração mais baixo.

Em termos de eficácia, verifica-se que um sistema físico e químico apresenta um funcionamento mais regular após ajustamento dos floculantes a utilizar.

Quanto aos processos biológicos, para cada situação haverá um sistema mais adequado que outro.

Pretendendo-se um sistema de elevada eficiência, flexível, ocupando uma área reduzida, será lógico escolher um sistema baseado no processo de lamas activadas. Pelo contrário, se se pretender um sistema de fácil exploração, com uma regularidade que pode, de tempos a tempos, ser posta em causa, e se houver área disponível, já o sistema de lagunagem poderá ser o mais adequado. Mesmo dentro de cada processo existem alternativas. Por exemplo, ao nível dos arejamentos, da utilização de microrganismos liofilizados, da junção de floculantes ao líquido a sedimentar, entre outros.

A escolha do sistema de tratamento, terá de ser ponderada em função do meio receptor, se é ou não passível de sofrer de tempos a tempos descargas com características anómalas, e em função dos custos. Relativamente a estes, salienta-se a necessidade de quantificar correctamente o custo dos consumíveis e, especialmente, da mão de obra e da energia.

Do que ficou dito, deve concluir-se que não existem tratamentos milagrosos. Isto é, tratamentos com um custo de construção baixo, associado a um custo de exploração reduzido devem ser postos em causa pois, salvo o caso da lagunagem natural, aqueles custos variam inversamente.

Dada esta relação, a avaliação económica deve tomar em conta os custos de primeiro estabelecimento e de exploração.

Habitualmente, esta avaliação é feita a preços constantes, em termos de valor actualizado líquido (VAL).

A maior dificuldade na sua aplicação reside no valor da taxa de actualização a tomar e no próprio custo anual de exploração, que muitas vezes não é devidamente avaliado.

Também esta forma de análise, ao tratar indiferentemente os custos de primeiro estabelecimento e de exploração, não toma em conta formas de gestão para as quais é importante o momento em que é efectuada a despesa.

Para o efeito, é aconselhável uma análise multicritério que atribua pesos distintos a cada um dos custos, fazendo-se a selecção entre alternativas, não pelo valor do VAL, mas pelo valor da utilidade associada à decisão que é igual a:

$$U_i = p C_p + (1-p) C_e$$

em que:

U_i - utilidade associada à decisão i

p - peso atribuído ao custo de primeiro estabelecimento ($0 < p < 1$)

C_p - custo de primeiro estabelecimento

C_e - custo de exploração total

Quanto ao valor ambiental da solução, ele é determinado por meio de um estudo de impacte ambiental. Este estudo ao identificar os processos que minimizam os impactes negativos, apoia o decisor na selecção do processo a adoptar para o tratamento das águas residuais e na valoração da solução.

A função utilizada associada a cada solução para tomar em conta o valor ambiental é do tipo:

$$U_i = p_1 C_p + p_2 C_e + p_3 C_a$$

Em que C_a será o custo ambiental.

Nos Quadros seguintes resumem-se os procedimentos da análise que devem nortear a escolha do processo de tratamento.

**SITUAÇÃO INICIAL: PENALIZAÇÃO ZERO
LEGISLAÇÃO INEXISTENTE**

$$\mathbf{Ct = 0}$$

$$\mathbf{Pz = 0}$$

Ct - Custo do Tratamento

Pz - Montante da Penalização

Se a penalização tem valor zero, economicamente não se justifica gastar dinheiro em tratamento

ANO 1987 - INTRODUÇÃO DE LEGISLAÇÃO QUE ESTABELECE:

COIMAS

MULTAS

PRINCÍPIO POLUIDOR / PAGADOR

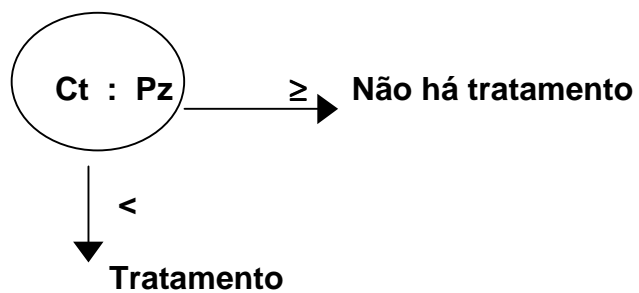
PRINCÍPIO UTILIZADOR / PAGADOR

$$\mathbf{Pz > 0}$$

$$\mathbf{Ct > 0}$$

Se $Pz > 0$ torna-se economicamente justificável o tratamento das águas residuais.

**DADA A EXISTÊNCIA DE COIMAS E MULTAS GENERALIZA-SE O
TRATAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS**



- COMO SE CALCULAM C_t e P_z ?

$$C_t = C_c + \sum \text{VAL } C_{O/M}$$

- C_c - custo de primeiro estabelecimento
- $C_{O/M}$ - custo de operação e manutenção anual
- VAL - valor actualizado líquido
- Σ - somatório dos custos anuais de O/M

VALOR DA PENALIZAÇÃO

Pz, Independente da carga:

$$Pz = Cte \text{ se } CONC > CONC \text{ leg.}$$

A penalização não varia com a carga, só há penalização quando se ultrapassa a concentração máxima admissível.

Pz, Função da carga:

$$Pz = f(Q, SST, SSV, CBO5, CQO....)$$

A penalização varia com as concentrações das descargas.

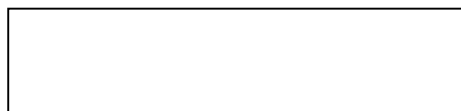
INTRODUÇÃO DE TARIFAS (Tf) E DE INCENTIVOS (Ic)

$$Tf, Ic = f(Q, SST, SSV, CBO5, CQO)$$

T1 - Ct1 , Tf1
T2 - Ct2 , Tf2
.
.
.
Tn - Ctn , Tfn

Para cada nível de tratamento (Ti) está associado um custo de tratamento e uma tarifa função da concentração da descarga.

O NÍVEL DE TRATAMENTO ÓPTIMO É FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS E DAS TARIFAS ASSOCIADAS



$$T_{opt} = \text{Min} (Ct_i + Tf_i \times Q_i)$$

AO CUSTO DA DESCARGA DOS EFLUENTES LÍQUIDOS JUNTA-SE O CUSTO DOS RESÍDUOS (TRANSPORTE, TRATAMENTO)

$$T = Ct + Tf \times Q + Tr \times Pr$$

T - Custo global do tratamento, incluindo tarifas

Tf - Tarifa de efluente líquidos (\$/m³)

Tr - Tarifa de resíduos (\$ / Kg)

Q - Caudal descarregado (m³)

Pr - Peso dos resíduos conduzidos a tratamento (Kg)

Para minimizar o custo global há que reduzir os custos parcelares

REDUÇÃO DE $T_f \times Q$ e $T_r \times Pr$



Minimização de custos parcelares

Como se consegue?

- **Reduzindo-se Q e Pr através de um adequado processo de tratamento**
- **Dando outro fim a Q e Pr que não o meio receptor, linha de água ou ETRS**

UMA VERDADEIRA POLÍTICA-AMBIENTAL

Exige uma análise que ultrapasse apenas a Visão Económica. A valorização dos efluentes e descargas deve ser o objectivo de novas medidas de despoluição.

REUTILIZAR

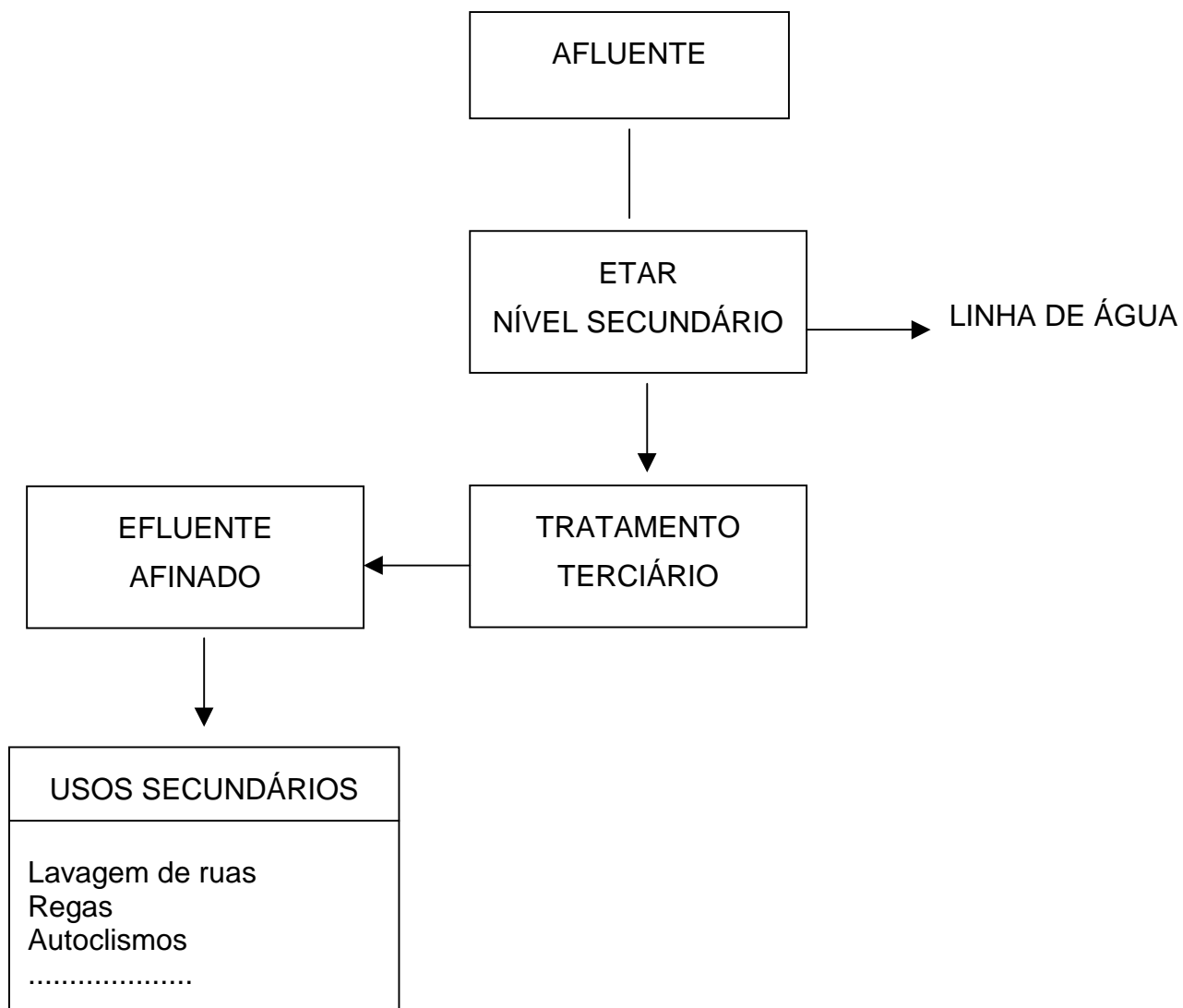
RECICLAR

VENDA DE RESÍDUOS

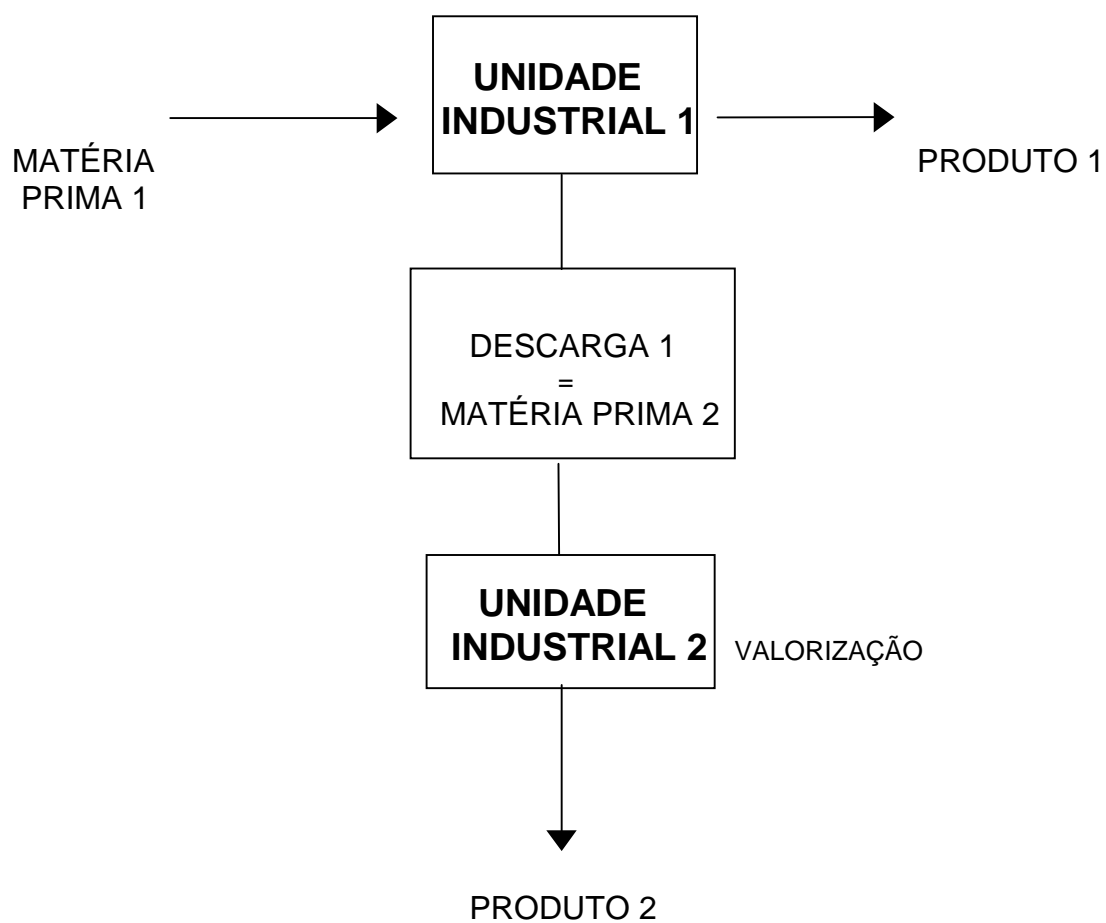
**Ex: Efluentes líquidos como lavagem primária
Rações animais
Adubo**

A valorização não é um negócio lucrativo mas uma forma de reduzir o custo global de tratamento.

AO NÍVEL DAS ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS



VALORIZAÇÃO DA DESCARGA



A DESCARGA DA UNIDADE 1 É MATÉRIA PRIMA DA UNIDADE 2

A valorização das descargas deve passar a ser tomada em conta na escolha do tipo de tratamento.

$$T_i = C_{t_i} + T_f \times Q_i + T_r \times Q_{r_i} - V_i$$

$$T_{opt} = \text{Min} (T_i)$$

QUAL O FUTURO:

A apetência do consumidor/cidadão para as empresas/Municípios VERDES.

Uma imagem de empresa/Município “Verde” traduzir-se-à por aumento de vendas e conseqüentemente por aumento de lucros/aceitação pública (AL).

Em conclusão, no futuro, o tipo de tratamento a adoptar será aquele que minimizará a função custo que entra em conta com:

- Custo de primeiro estabelecimento
- Custo de operação e manutenção
- Tarifa dos efluentes líquidos
- Tarifa dos resíduos
- Valorização das descargas
- Aumento de lucros decorrentes da solução ou valor da aceitação

$$T_i = C_{t_i} + T_f \times Q_i + T_r \times Q_{r_i} - V_i - AL_i$$

INTRODUÇÃO DE ECOTAXAS

Por forma a incentivar a reutilização e a valorização dos resíduos é de esperar que sejam introduzidas ECOTAXAS.

Se assim for, a matéria prima será mais cara pela aplicação da taxa e o custo de reutilização minorado.

Desta ECOTAXA resultará nova alteração da função custo que se inclinará mais uma vez para soluções que visem a minimização das descargas e a maximização dos processos de recuperação - reutilização -
- reciclagem.