

100 ANOS DE LODO ATIVADO:  
ALGUNS ASPECTOS DA  
UTILIZAÇÃO DO PROCESSO NO  
BRASIL

PEDRO ALEM SOBRINHO  
ESCOLA POLITÉCNICA - USP

# TRATAMENTO DE ESGOTO – O INÍCIO – 1.850 – 1.900

## MOTIVO

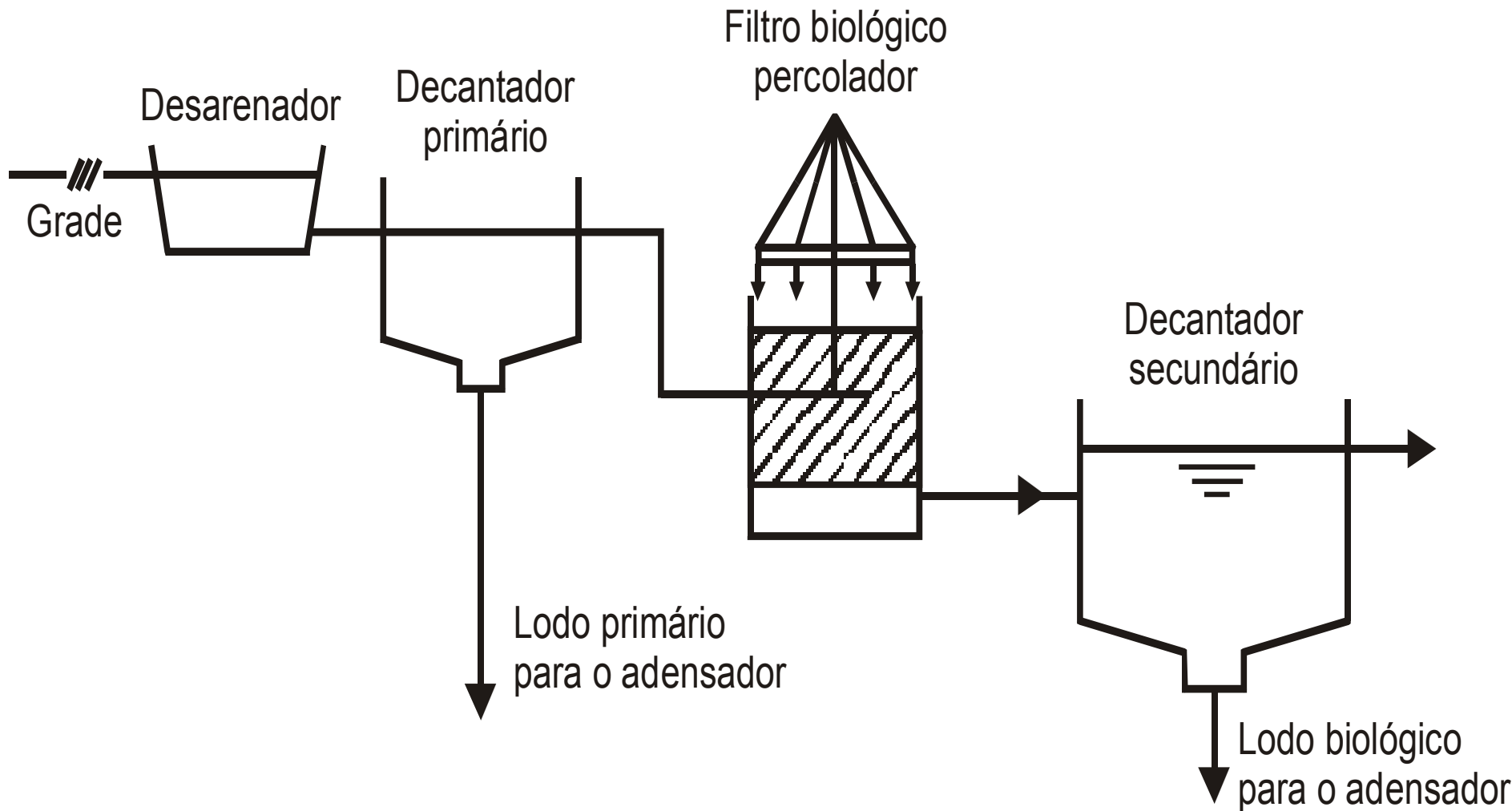
Anaerobiose de rios com maus odores

Necessidade de estabilização de  
matéria orgânica – DBO

## DECANTO-DIGESTORES

(Tanque séptico/Imhoff) – Espaço  
para lodo

# SISTEMAS CLÁSSICOS – 1.880/1.890



Esquema de ETE convencional com filtros biológicos de alta taxa ou de baixa taxa. Taxas de aplicação hidráulica e orgânica (DBO)

# TRATAMENTO AERÓBIO INICIAL

- Aerava-se o esgoto, em bateladas por horas ou dias até se ter crescimento e floculação de bactérias
- Deixava-se o lodo formado sedimentar
- Descarregava-se o líquido clarificado
- Tratava-se o lodo anaerobicamente

## LODO ATIVADO

- Em 1.914 Arden e Locket observaram que retendo o lodo formado para a próxima batelada, sob aeração a floculação ocorria mais rapidamente, eventualmente em menos de uma hora. O lodo formado e retido para a próxima batelada foi chamado de LODO ATIVADO.
- Eles aeravam a batelada até a ocorrência da nitrificação, considerando o tratamento completo

# LODO ATIVADO - DESENVOLVIMENTO

- O Sistema em Batelada foi convertido em Sistema Contínuo, com o uso de reator e decantador para reciclar o lodo para o reator e clarificar o efluente.
- Foi observado que quanto maior a massa de lodo (SSTA) por unidade de matéria carbonácea, o resultado era mais satisfatório  
Origem de  $f$  = fator de carga =  $\text{kgDBO}/\text{kgSSTA.dia}$  (ainda usado hoje)

# LODO ATIVADO - DESENVOLVIMENTO

- Presença de  $O_2$  no líquido observada como sempre necessária para boa operação
- Os reatores eram usualmente tendendo a “plug-flow” com maior intensidade de aeração em sua parte inicial (50%,30%,20%)
- Nitrificação em muitos casos considerada desnecessária – para não nitrificar solução era aumentar o fator de carga  $f$

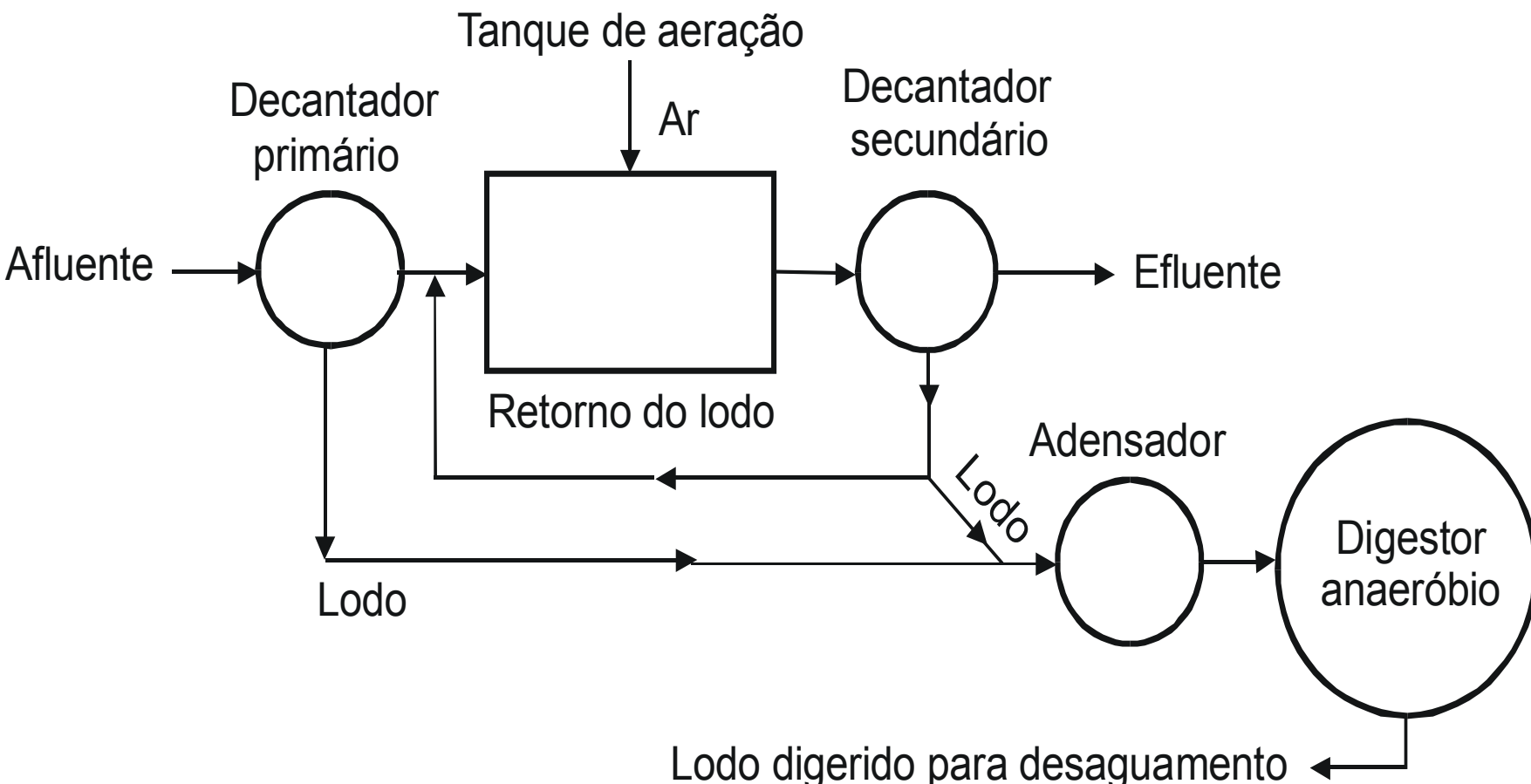
# LODO ATIVADO - DESENVOLVIMENTO

- “BULKING SLUDGE”- apareceu em vários sistemas, particularmente recebendo esgoto doméstico + industrial – nenhuma solução para o problema foi encontrada até 1.939
- Em alguns lugares o processo foi abandonado. Por ex. África do Sul – implantado em 1.925 e abandonado devido ao “bulking”. Só retornou após 1.960.



# LODO ATIVADO - DESENVOLVIMENTO

- Por volta de 1.950, problemas de eutrofização indicavam a necessidade de remoção de N e P nas ETEs. Como consequencia, inicialmente para remoção de N- $NO_3$  o Sistema de lodo ativado foi reformulado.



Esquema de ETE convencional com lodos ativados (com ou sem nitrificação). – HOJE É O MAIS UTILIZADO COM VÁRIAS INOVAÇÕES.

Antes:  $f = \text{kgDBO}/\text{kgSVTA}.\text{dia}$

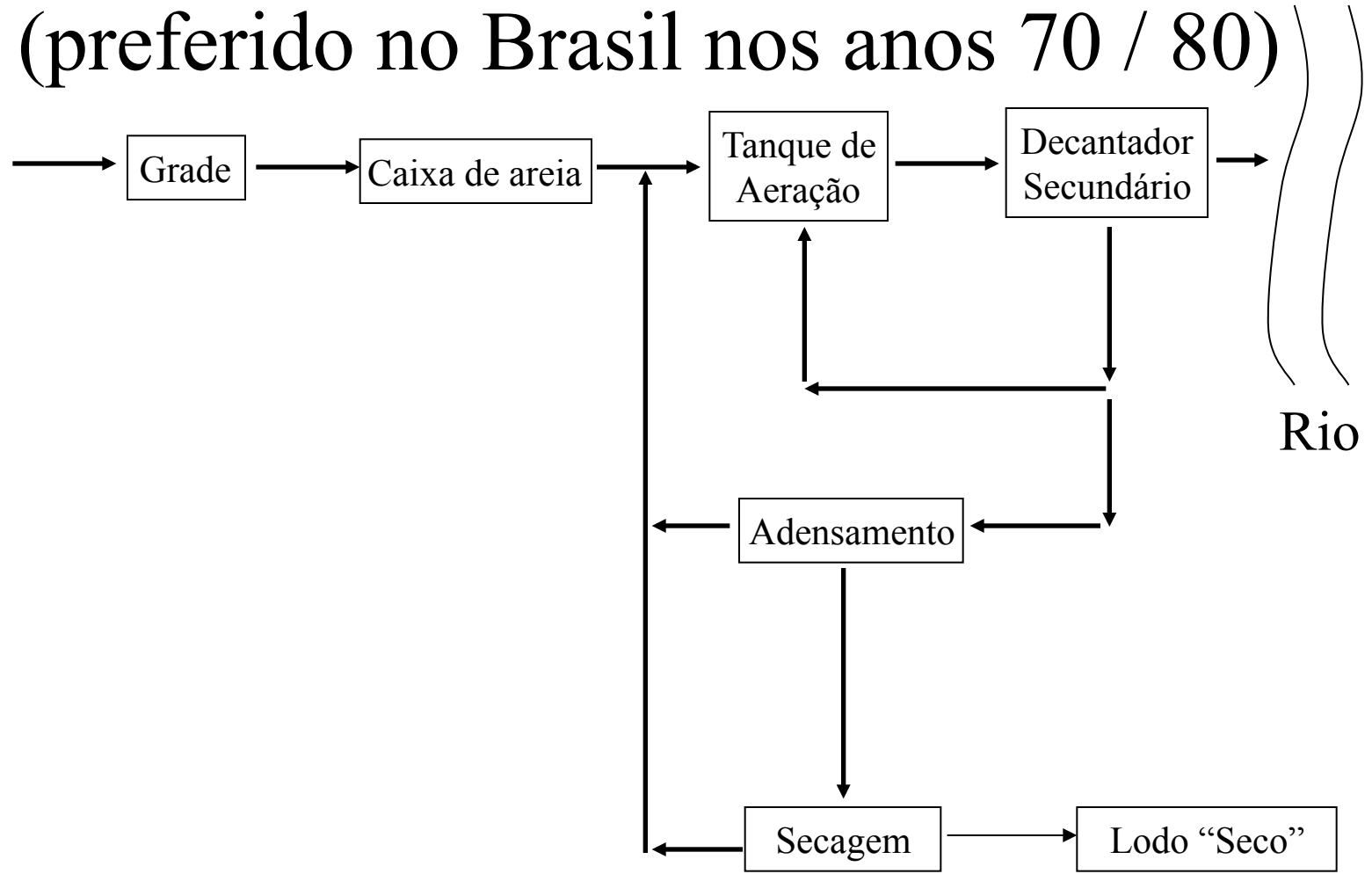
depois: A/M –  $\text{kgDBO}/\text{kgSSVTA}.\text{dia}$ . – Hoje: idade do lodo.

## AS GRANDES ETEs

ETE SUZANO (Max Lothar Hess)

- ETEs do SANEGRAN (Metcalf & Eddy)
- ETE ARRUDAS (Bratby)
- Outras com auxílio de consultores experientes

# PROCESSO DE LODOS ATIVADOS COM AERAÇÃO PROLONGADA – (preferido no Brasil nos anos 70 / 80)



## TORNOU PREFERIDA NO BRASIL?

- ~~Anaeróbios projetistas não tem digester de lodo~~  
– “novos projetistas não sabiam projetar digestores anaeróbios
- Uso de aeradores mecânicos de alta rotação – ~~digestores anaeróbios~~ tendenciosos.
- Uso de aeradores mecânicos de alta rotação – alguns catálogos tendenciosos.

## TORNOU PREFERIDA NO BRASIL?

- Receita de dimensionamento –  
 $f = 0,05$  a  $0,10$  kgDBO/kgSSTA.dia
- SSTA = 4.000 mg/L
- Recirculação = 100%
- Necessidade oxigênio =  $2,5$  kg $O_2$ /kgDBO
- Decantadores secundários –  $12$  a  $16$   $m^3/m^2$ .dia
- $\Delta X = 0,65$  a  $0,7$  kgSS/kgDBO
- Erro comum – não consideravam correção da taxa de transferência de oxigênio.

## Aeração Prolongada – Valos de oxidação

- Também muito usado na década de 1970, principalmente em indústrias, em sistemas pequenos – usada a mesma receita de dimensionamento do esgoto sanitário – rotores de aeração deram muitos problemas
- Valos Carroussel – exemplo de boa aplicação da tecnologia – ETE Belém – PR e em algumas indústrias

# **INÍCIO LODO ATIVADO – Durante vários anos se usou no Brasil AERADORES SUPERFICIAIS**





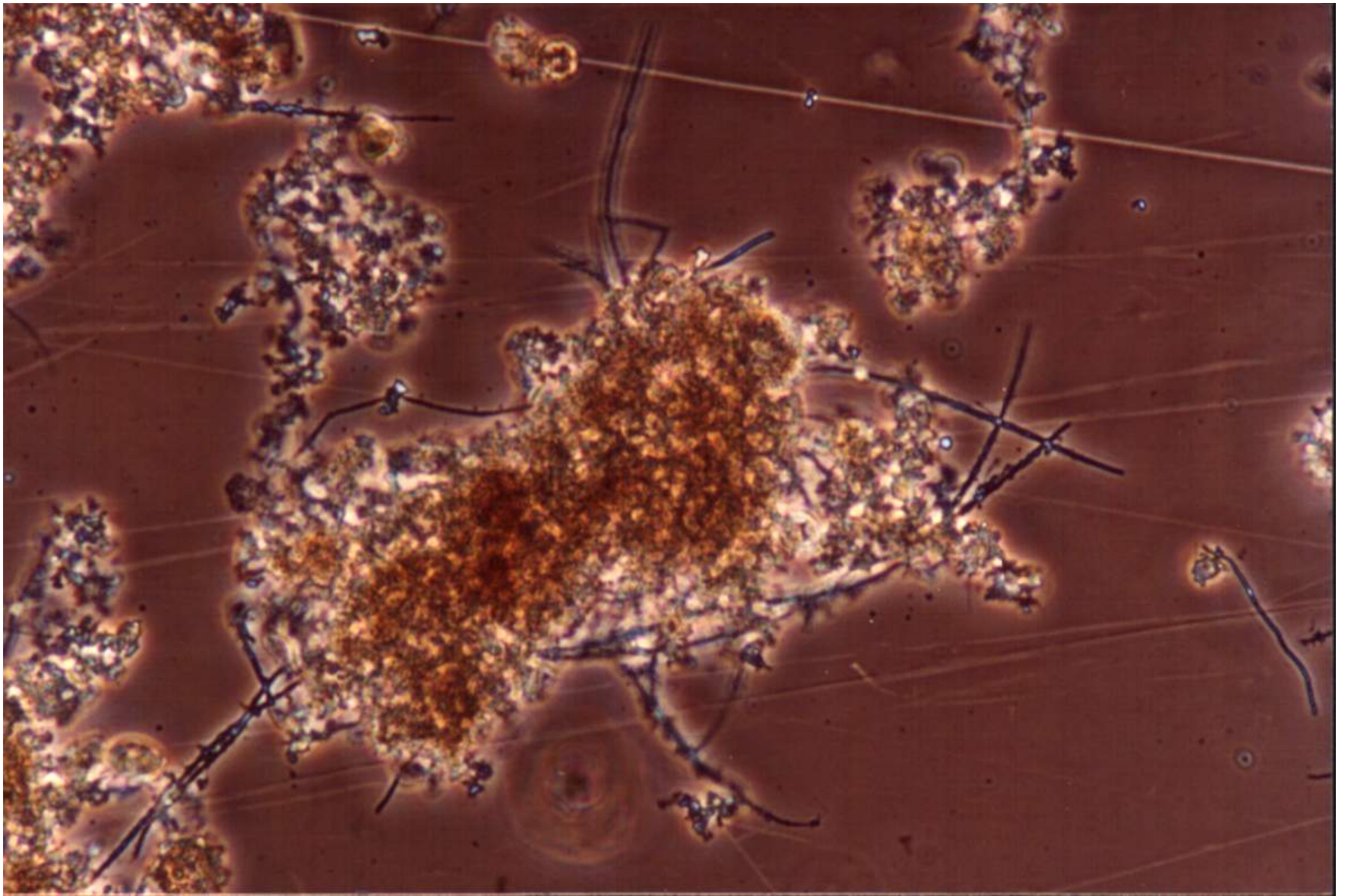
# **SISTEMAS DE AERAÇÃO POR AR DIFUSO – hoje muito mais usado – menor consumo de energia**





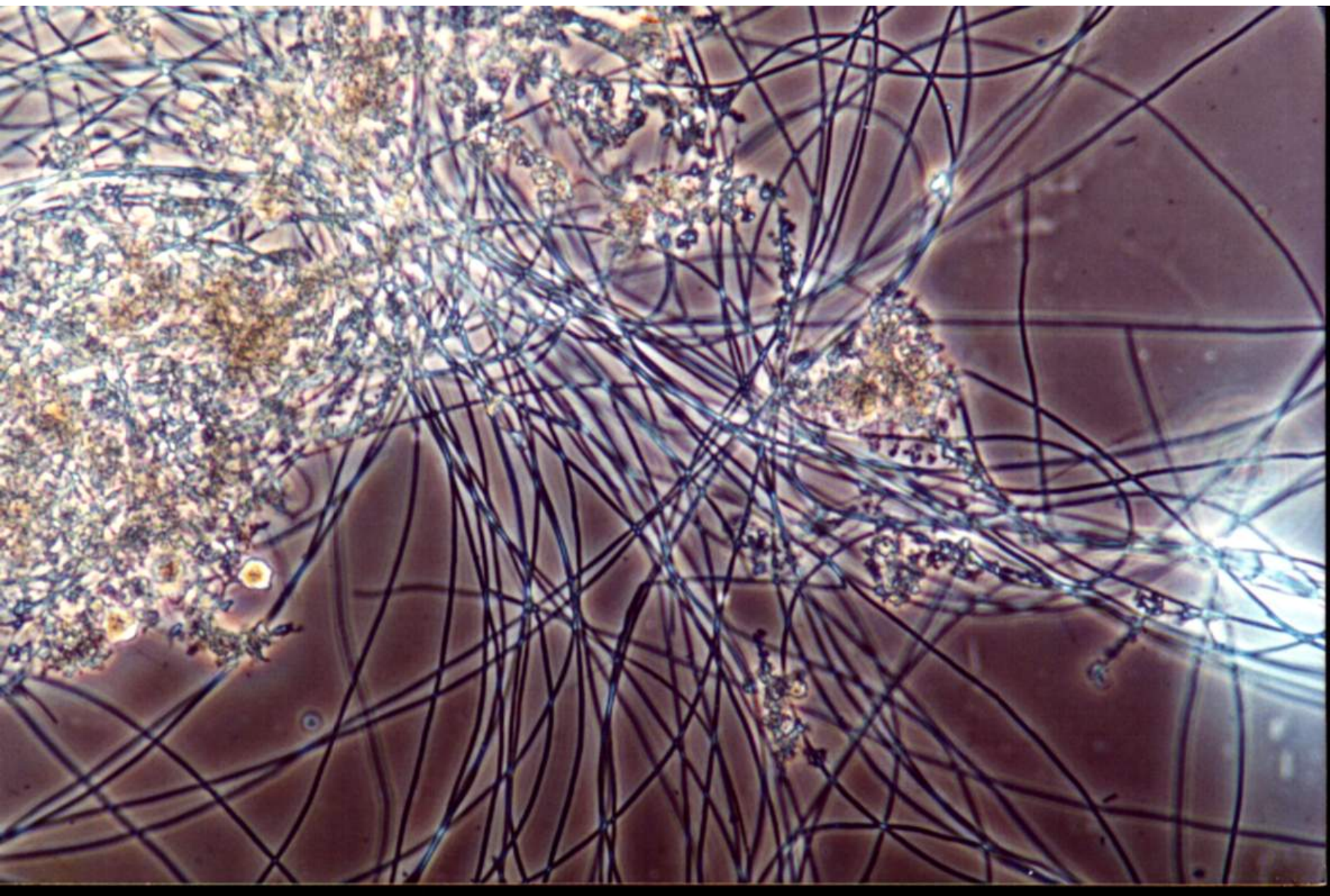
•Decantador Secundário – Resiste desde o século 19. ATÉ QUANDO?





• CONDIÇÃO OPERACIONAL MUITO BOA





•Lodo Ativado “Filamentoso” –CONDIÇÃO MUITO RUIM.

# EVOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO NO BRASIL

- 1- Fator de carga  $f = \text{kgDBO}/\text{kgSSTA}.\text{dia}$
- 2- Relação  $A/M = \text{kgDBO}/\text{kgSSVTA}.\text{dia}$
- 3- Modelo de Lawrence & McCarty (DBO)

$$\Delta X_V = YQ.(S_0 - S_e) - b.X_V.V$$

$$1/\Theta_C = YQ.(S_0 - S_e) / X_V.V - b$$

$$\Delta X_V = X_V.V/\Theta_C$$

Todo substrato solúvel e todo SSV biodegradável  
– longe da realidade de esgoto

# EVOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO NO BRASIL

- 4- Modelo de L & M modificado (DBO)

$$\Delta X_V = YQ.(S_0 - S_e) - b.X_V.V.f_b$$

$$1/\Theta_C = YQ.(S_0 - S_e) / X_V.V - b.f_b$$

$f_b$  = fração biodegradável dos SSV – somente considerado para os SSV produzidos no sistema

$$\Delta X_V = X_V.V/\Theta_C$$

Todo substrato solúvel e apenas parte do SSV biodegradável – Não considera os SSV afluentes não biodegradáveis

# EVOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO NO BRASIL

- 4- Modelo de L & M modificado + correto

$$\Delta X_V = YQ.(S_0 - S_e) - b.X_V.V.f_b + Q.X_{VNB,AFL}$$

$$X_V.V = \Delta X_V.\Theta_C$$

- $f_b$  = fração biodegradável dos SSV – somente considerado para os SSV produzidos no sistema

$$\Delta X_V = X_V.V/\Theta_C$$

Todo substrato solúvel e apenas parte do SSV biodegradável – Considera os SSV afluentes não biodegradáveis

# EVOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO NO BRASIL

- 5- Modelos de Marais e evoluções (DQO)

Considera que a remoção de matéria carbonácea e a respiração endógena são efetuadas apenas pela **massa volátil ativa** (viva), que é o correto.

Da massa ativa cerca de 80% é biodegradável

Existe uma relação  $DQO/SSV = 1,48$

Considera as frações da DQO biodegradáveis

O modelo permite fechar o balanço de massa



# EVOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO NO BRASIL

- O modelo de Marais e colaboradores, hoje envolvendo remoção biológica de N e P é a base dos modelos da IWA
- No Brasil ainda é muito pouco utilizado

# LODO ATIVADO PRECEDIDO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO

A GRANDE REVOLUÇÃO NO  
BRASIL – 1.980/1.990

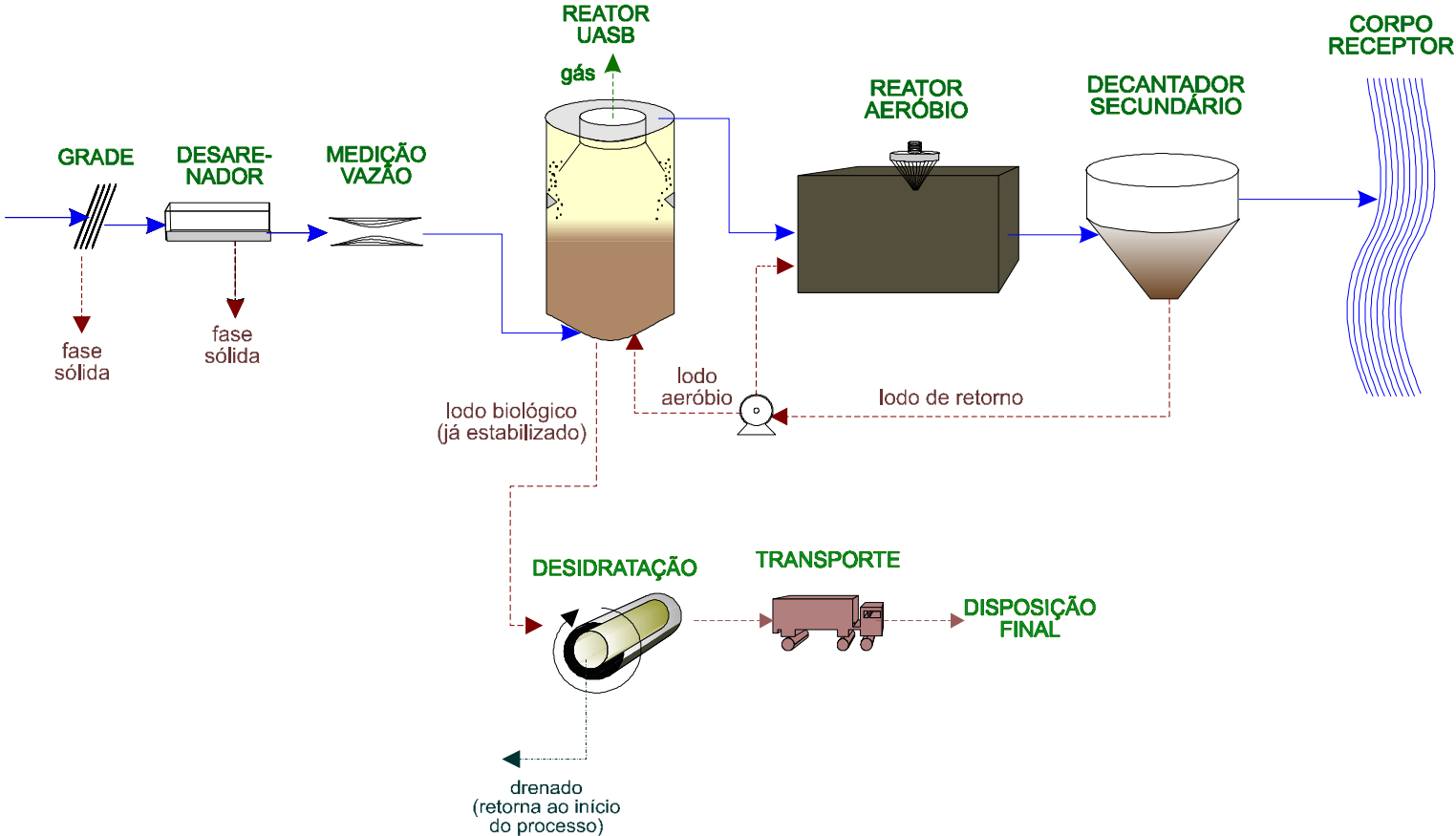
A GRANDE PROMESSA

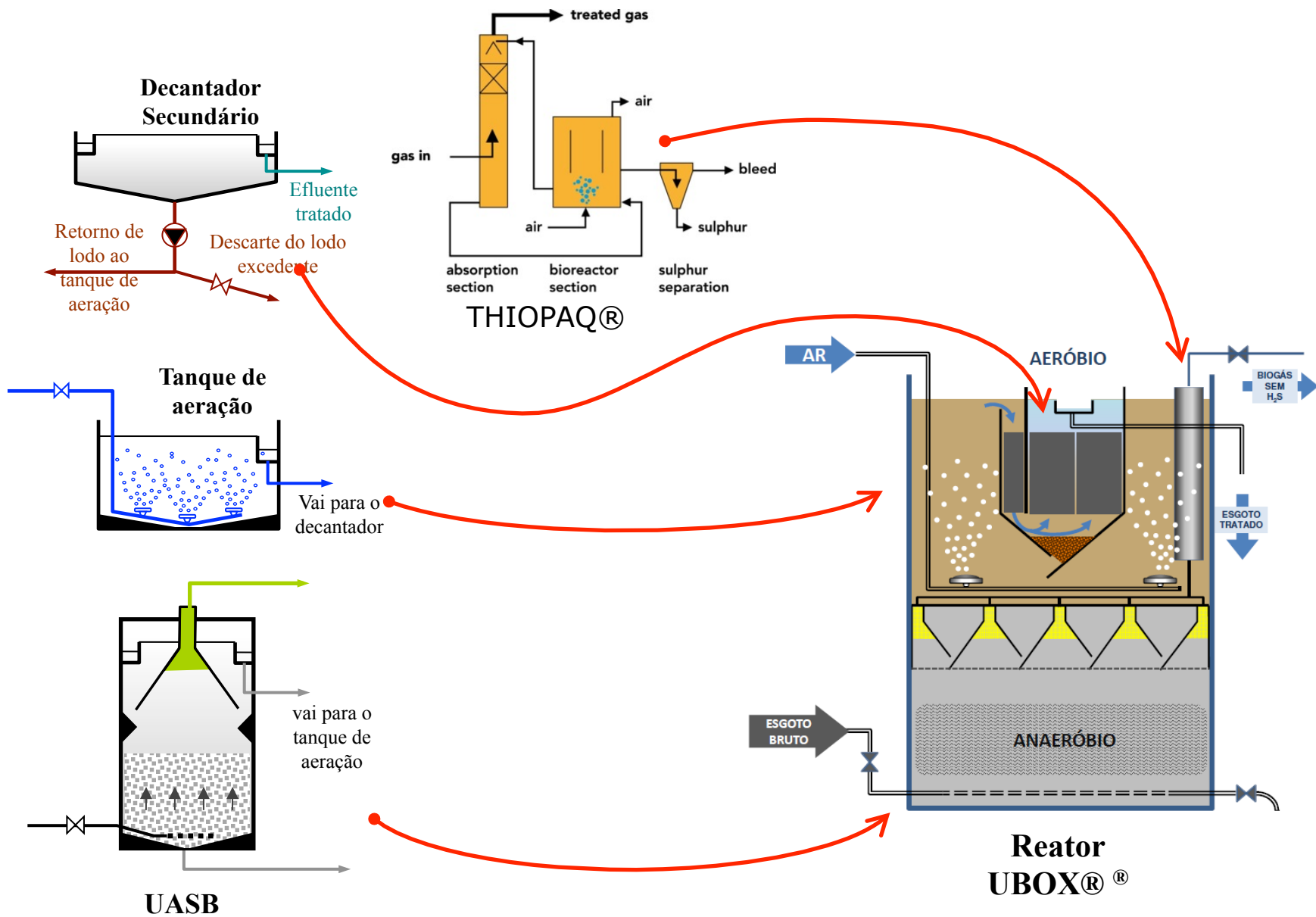
O FRACASSO

O NOVO SUCESSO (PROSAB) –  
PROBLEMAS OBSERVADOS

# Sistema UASB - lodo ativado

## REATOR UASB SEGUIDO POR LODOS ATIVADOS





# Lodos Ativados x UASB + L.A.

- **Vantagens** de UASB + Lodos Ativados
  - Substancial redução no consumo de energia
  - Pequena redução na produção de lodo
  - Menor número de unidades diferentes
  - Menor necessidade de equipamentos
  - Maior simplicidade operacional
- **Desvantagens** de UASB + Lodos Ativados
  - Bem menor capacidade de remoção biológica de N e P
  - Problemas de odores – gás metano no efluente – **recomendável stripping no efluente dos UASBs.**

ETEs COM REMOÇÃO DE  
NITROGÊNIO (década de 1960)  
E FÓSFORO (1.980)  
BASE – SISTEMA DE LODO  
ATIVADO MODIFICADO

## · LEGISLAÇÃO – CLASSE 2

DBO  $\leq$  5 mg/l

· OD  $>$  5 mg/l

· N amoniacal 3,7 mgN/l - pH  $\leq$  7,5

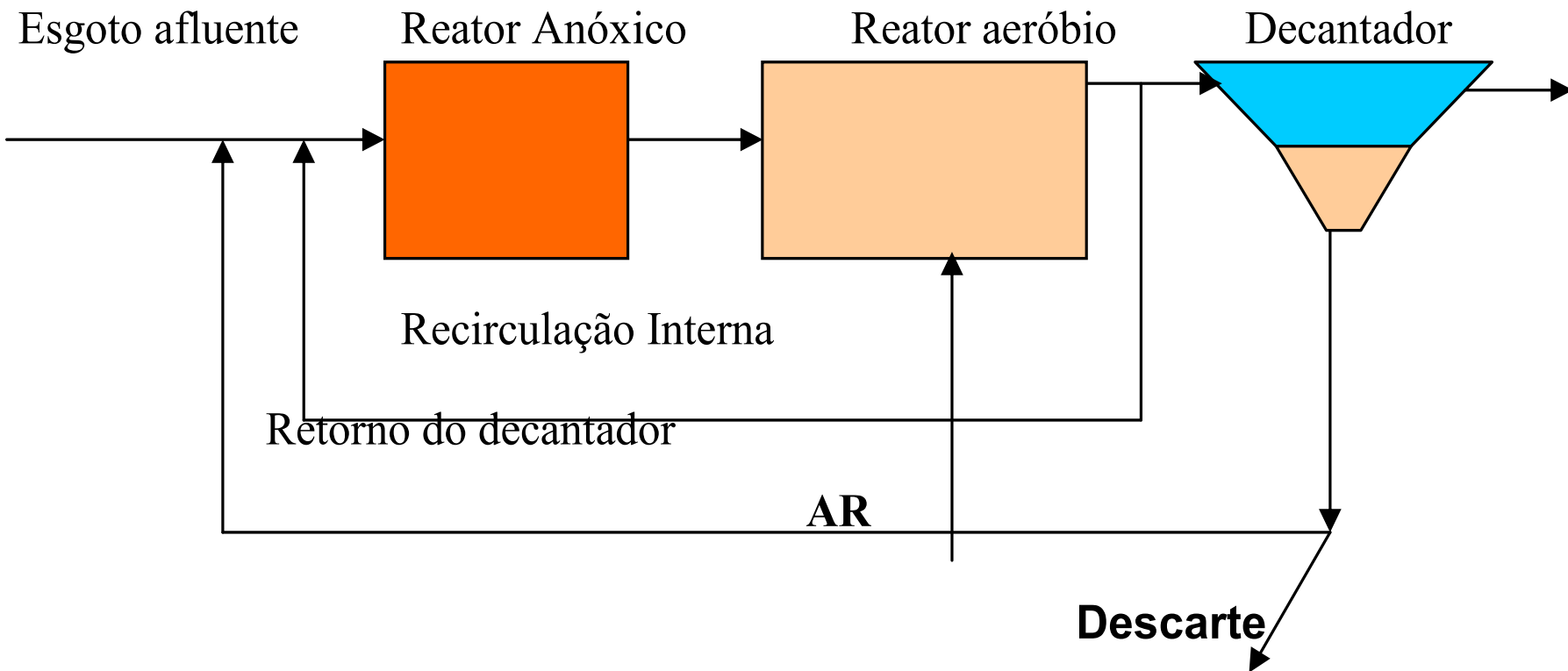
· Namoniacal 2,0 mgN/l - pH = 7,5 a 8,5

· Nitrato  $\leq$  10 mg N/l

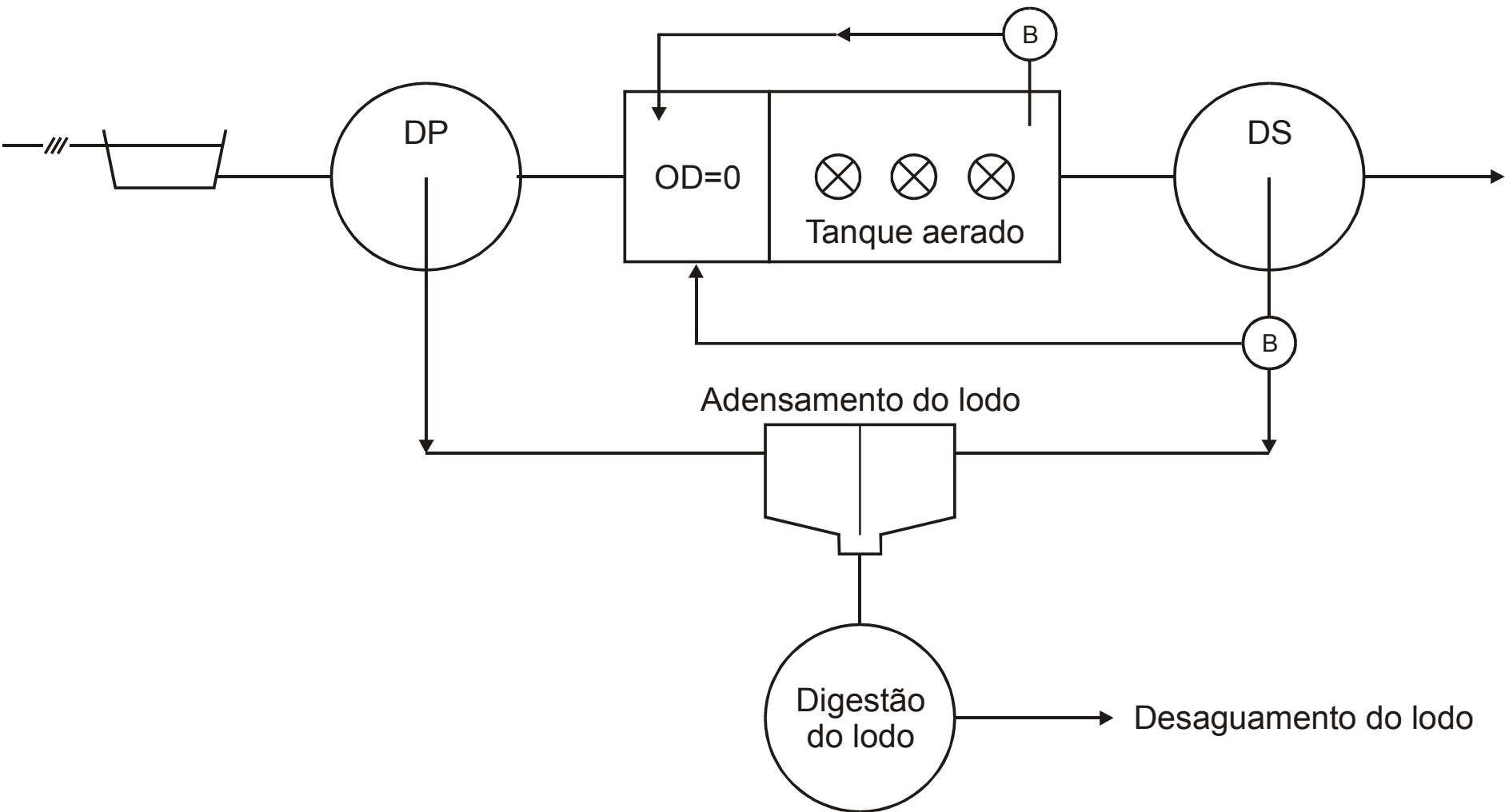
· Fósforo  $\leq$  0,1 mg P/l ambiente lótico

· Fósforo  $\leq$  0,02 mgP/l ambiente lentic

# ETE LODO ATIVADO COM REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

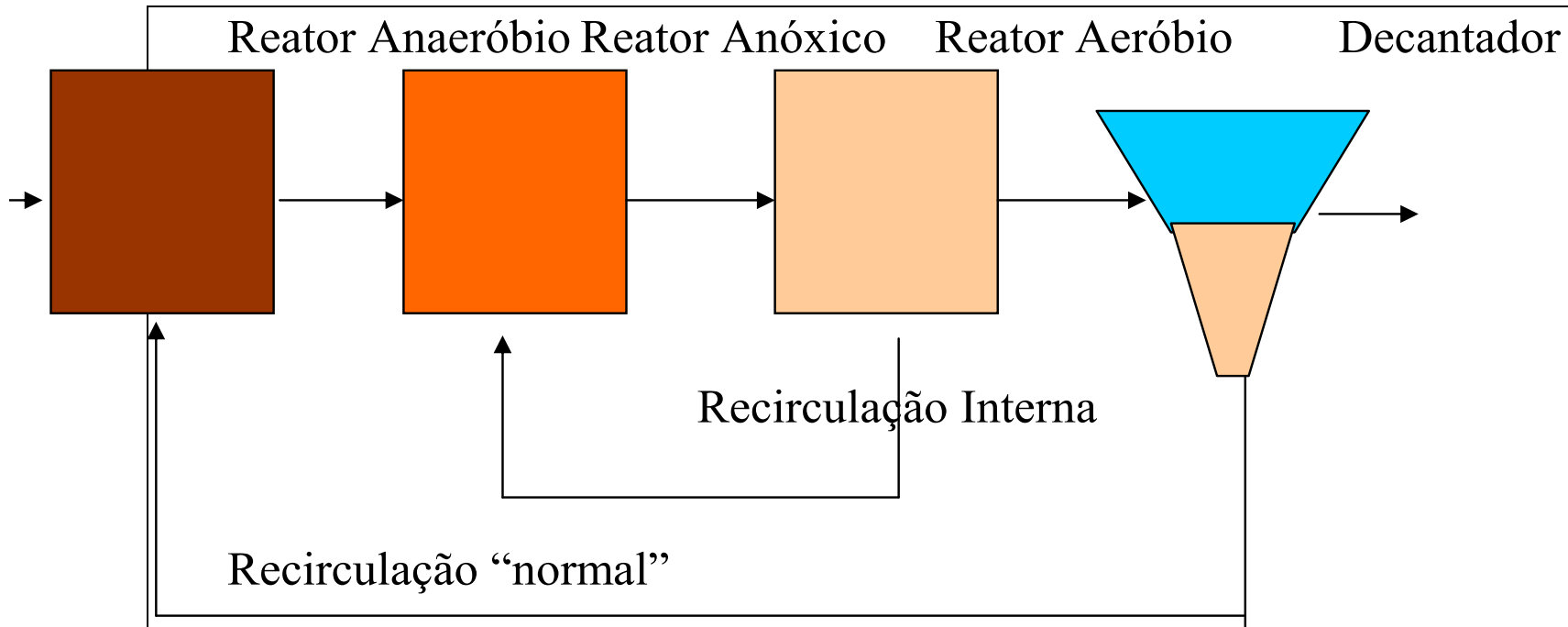




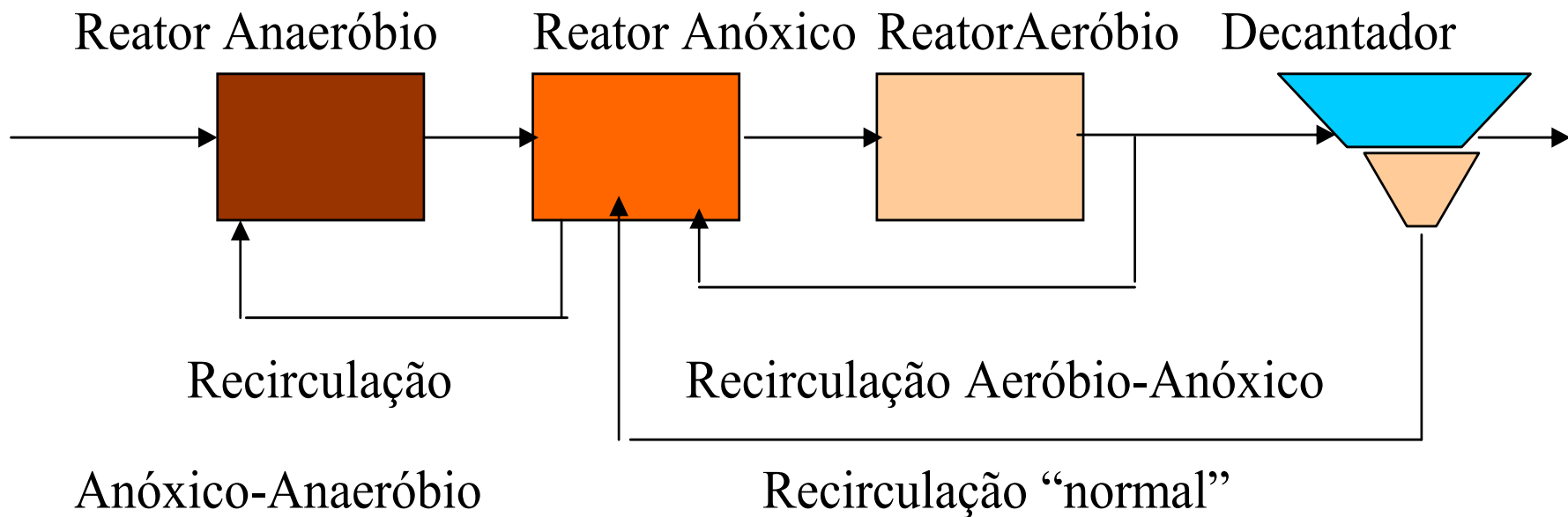


Esquema de ETE com decantador primário, lodo ativado com nitrificação/desnitrificação, adensador e digestor de lodo

# REMOÇÃO DE N e P



**Esquema do sistema Bardenpho modificado**

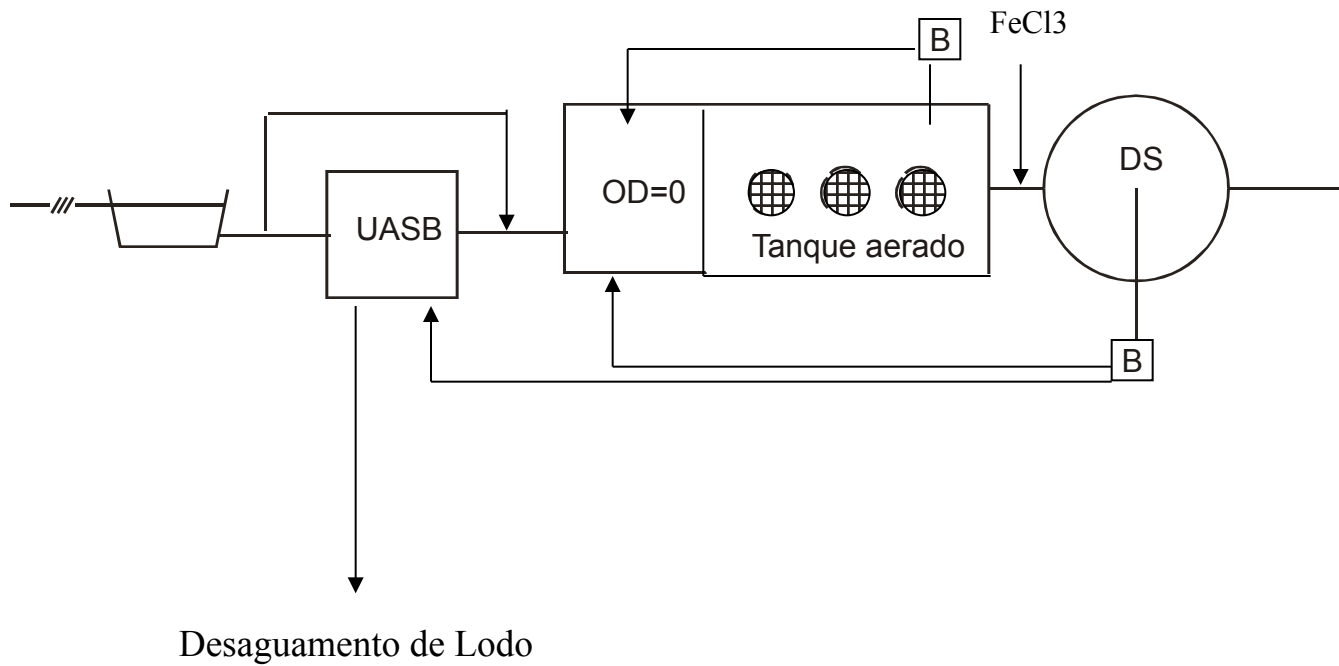


**Esquema do sistema UCT modificado**

**REMOÇÃO DE N e P**



# Esquema de ETE com UASB, lodos ativados com nitrificação/desnitrificação parcial e remoção química de P



# LODO ATIVADO GRANULAR

- Sistema em bateladas, com desenvolvimento de grânulos que se sedimentam rapidamente.
- Primeiros desenvolvimentos ~ 1.990
- Adequado para remoção de N e P
- Segredo do processo? Hidrodinâmica???
- Poucos dados disponíveis – Patenteado
- 2 ETEs em operação
- Poderá representar grande avanço.

# ETEs utilizando material suporte de biomassa.

- BIOFILTROS – Leito Fixo
- MBBR – leito móvel sem reciclo lodo
  
- IFAS – leito móvel com reciclo de lodo  
(área específica 300 a 1.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

Vantagens especialmente em casos de limitação de área para a ETE, ou ampliação de capacidade, com poucas obras civis.

Basicamente mesma base de tratamento biológico para remoção de matéria orgânica e nutrientes – N e P.

# ETEs UTILIZANDO MEMBRANAS.

(Nova revolução no tratamento de esgoto -futuro)

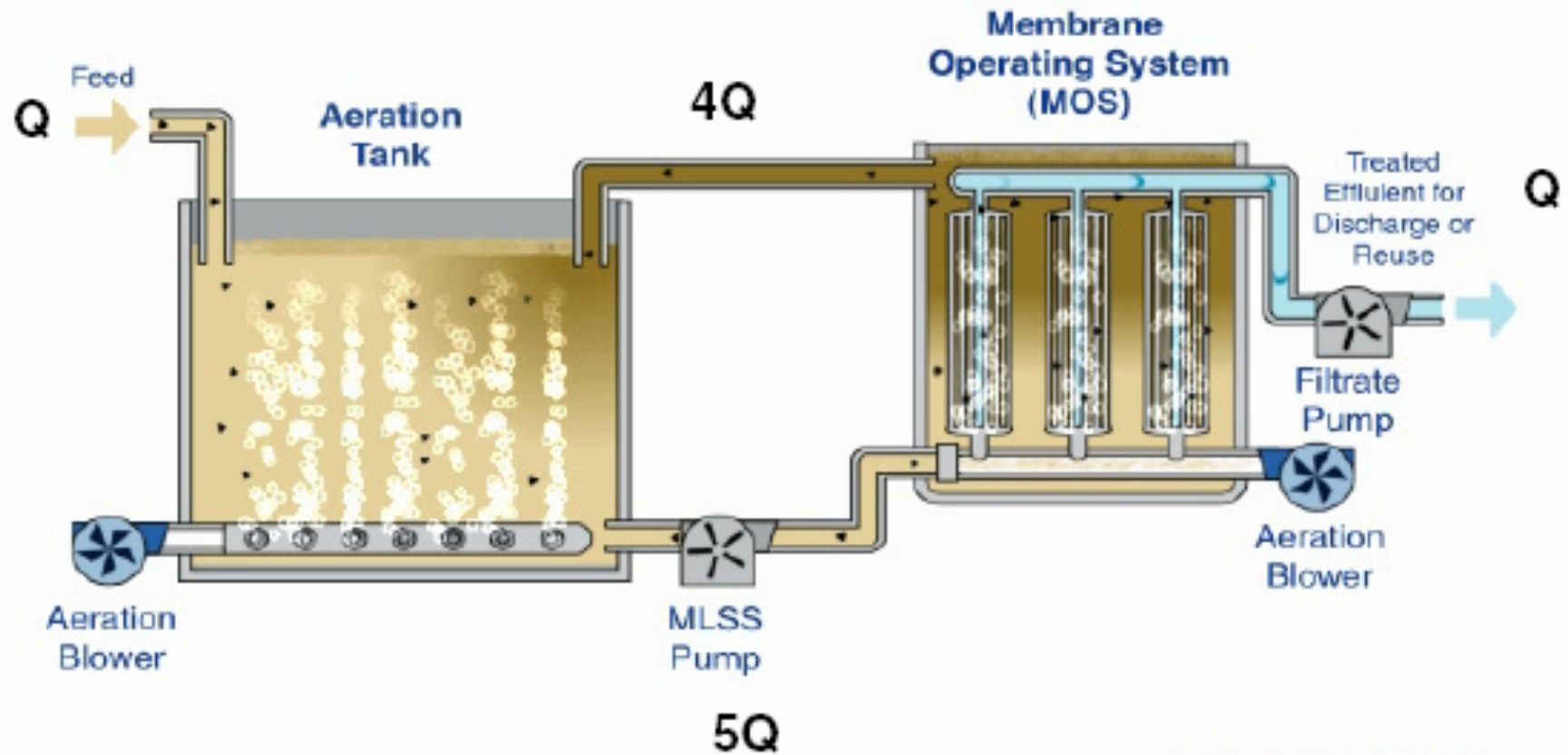
Basicamente mesma base de tratamento biológico para remoção de matéria orgânica e nutrientes – N e P

MEMBRANAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS DECANTADORES SECUNDÁRIOS

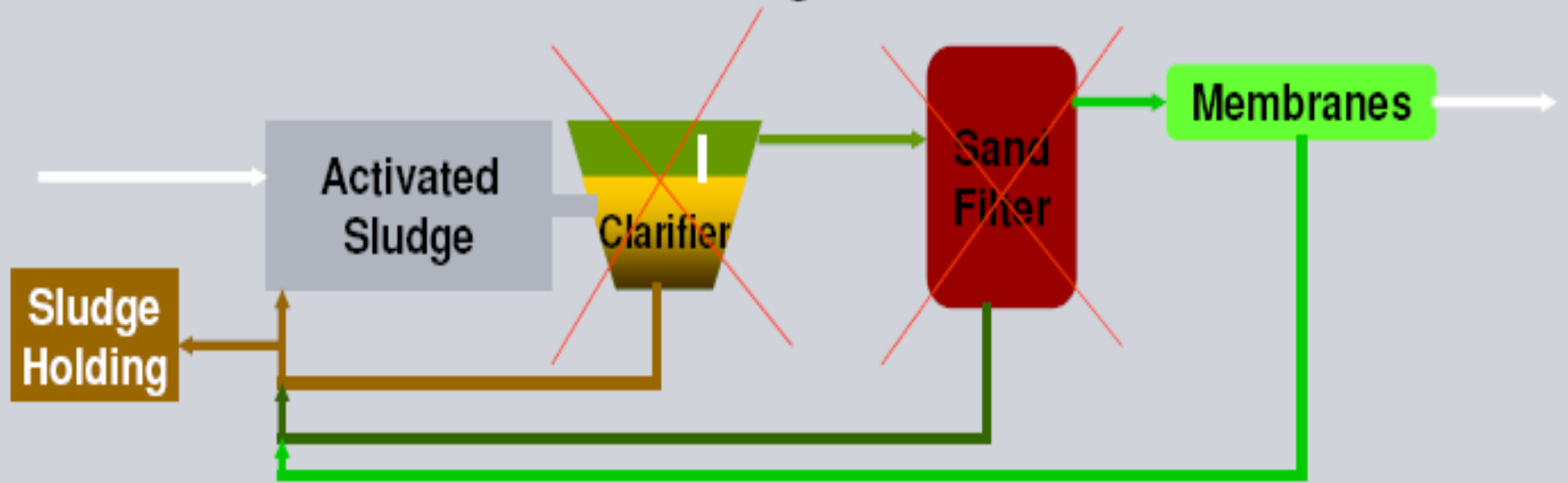
- Produção de efluente final de melhor qualidade
- Maior eficiência na remoção de fósforo
- Reuso
- Custo das membranas vem caindo bastante.



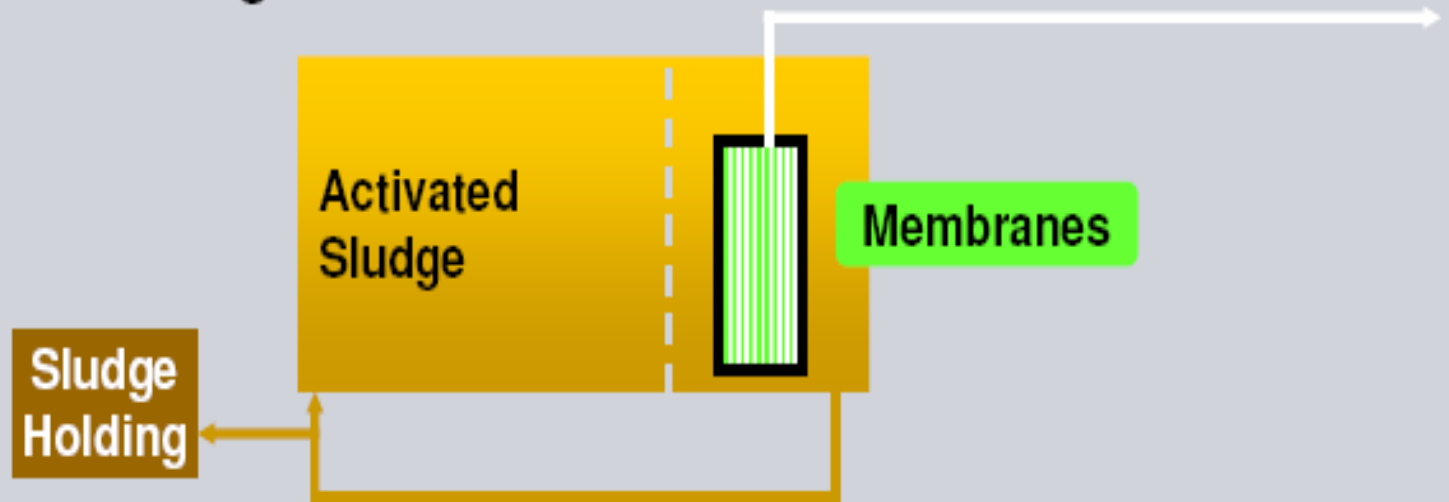
# MBR Process Flow

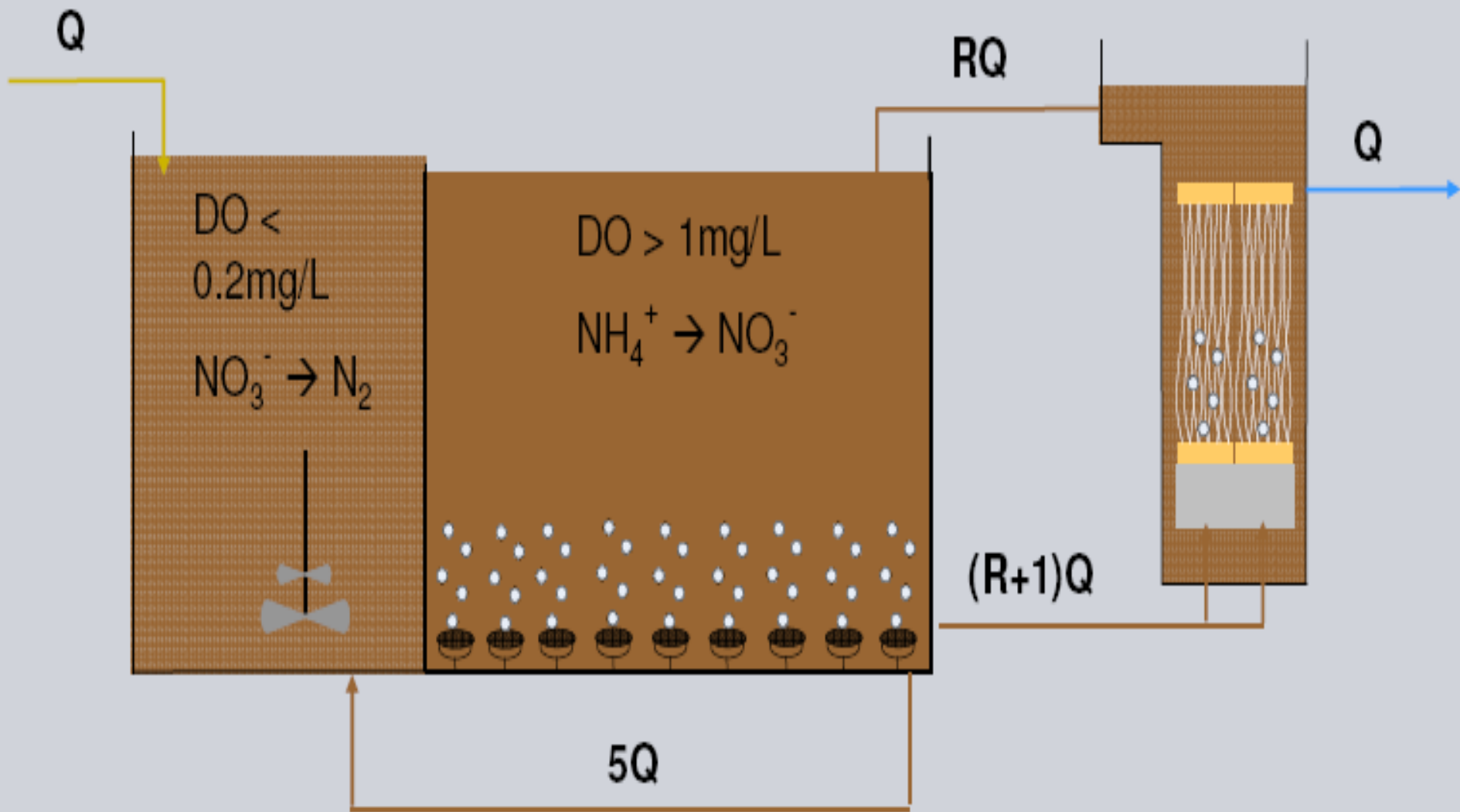


# Conventional Process Using Low Pressure Membranes



# Integrated Membrane Bioreactor





**Air Supply**

**Filtrate  
Collection**

**MemPulse™  
MBR devices**

**Mixed  
Liquor Feed**

