Workshop: A evolução na gestão de Aterros Sanitários: Novas Rotas Tecnológicas para a Drenagem, Monitoramento e Tratamento de Chorume"

TECNOLOGIAS CONSOLIDADAS E O ESTADO DA ARTE EM TRATAMENTO DE CHORUME

Luzia Galdeano

luzia.galdeano@gmail.com
lgaldeano@solvi.com

CETESB

abetre

ABLP

CARACTERIZAÇÃO BÁSICA E PRINCIPAIS PARÂMETROS A TRATAR

DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS PARA CHORUME BRUTO

Parâmetros	UNIDADE	Análises		Condições do contrato anterior	Literatura (nota 2)		Menor Valor
		Maior Valor	Média		Faixa mín-máx	Faixa mais provável	
Alcalinidade total	mg/l	13.709,00	7.310,88	4.500,00	750 - 11400	7.100,00	467,00
Arsênio	mg/l	0,95	0,33	10,00			0,00
Bário total	mg/l	0,33	0,10	0,10			<0,005
Boro	mg/l	2,52	1,63	7,00			0,45
Cádmio total	mg/l	<0,1	0,01	0,10			<0,0006
Chumbo total	mg/l	0,50	0,07	0,10			0,00
Cianeto Livre	mg/l	0,01	0,00	0,60			<0,001
Cloreto total	mg/l	6.248,00	2.496,09	3.000,00			17,90
Clorofórmio	mg/l	<0,6	0,15	< 0,001			<0,0001
Cobre	mg/l	<5	0,22	0,50			0,00
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	241.960,00	12.673,98	7.000.000,00			1,80
Condutrividade Elétrica	µS/cm	43.050,00	18.799,43	31.000,00	????	2950 - 17660	0,01
Cromo Total	mg/l	1,37	0,41	1,00			0,03
DBO	mgO_2/l	14.900,00	2.050,78	15.000,00	até 30000	8.800,00	97,40
Dicloroetano	mg/l	<10	2,48	0,00			<0,001
Diclorometano	µg/l	<1	<1				<1
DQO	mgO_2/l	21.999,00	5.095,34	25.000,00	até 80000	22.300,00	11,00
Estanho	mg/l	0,21	0,21	0,10			<0,01
Fenóis totais	µg/l	1.320,00	64,70	1.000,00	900 a 9900	900 a 4000	<0,03
Ferro total	mg/l	66,00	9,50	16,00	0,01-260	0,01-65	<0,0005
Fluoreto total	mg/l	5,00	1,32	0,10			<0,1
Fósforo total	mg/l	246,00	24,87	70,00			0,03
Magnésio total	mg/l	425,00	157,89	170,00	90 a 1140 (fIII)	mediano 340	0,11
Mercúrio total	mg/l	0,01	0,00	0,05			0,00
Níquel total	mg/l	1,13	0,27	1,00	0 - 1,1	0,05	0,02
Nitrogênio Amonical total	mg/l	3.319,00	1.600,65	3.000,00	3.000,00	1.800,00	209,00
Óleos e graxas	mg/l	223,00	18,57	200,00	10-400	170,00	0,00
pH	pH	8,89	7,96	6 a 9	5,7 - 8,8		4,20
Prata	mg/l	<10	0,01	0,10			<0,0024
Selênio total	mg/l	<8	0,44	0,10			<0,001
Sódio	mg/l	4.440,00	1.636,13	2.500,00	até 7600 no início		0,30
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	19.206,00	9.537,94	13.000,00			516,00
Sólidos supensos totais	mg/l	1.050,00	297,03	750,00			8,00
Temperatura	ºC	40ºC	25,26	40ºC			7,80

TRATAMENTO DE CHORUME: PRINCIPAIS ASPECTOS A ADEQUAR

- Alcalinidade

- Condutividade (representa excesso de sais)

- DBO_5

- DQO

- Ferro Total

- Nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_3$)

Desses, o nitrogênio amoniacal é um composto instável que afeta a performance do sistema biológico, mas ao mesmo tempo <u>se dissocia facilmente por ação do calor ou por simples agitação</u>, liberando NH_3 e CO_2.

NITROGÊNIO AMONIACAL NO TRATAMENTO DO CHORUME

- O nitrogênio amoniacal, que no efluente tratado deve atender a concentração de no máximo 20 mg/ l (CONAMA), gera os seguintes problemas nas operações unitárias de tratamento:

Tratamento biológico

- Grande consumo de energia para aeração;

- Consumo de soda cáustica para complementar a demanda de alcalinidade necessária à nitrificação;

- Necessidade parcial de desnitrificação, com eventual consumo de carga orgânica degradável externa, caso seja requerida uma elevada remoção de nitratos.

Nanofiltração

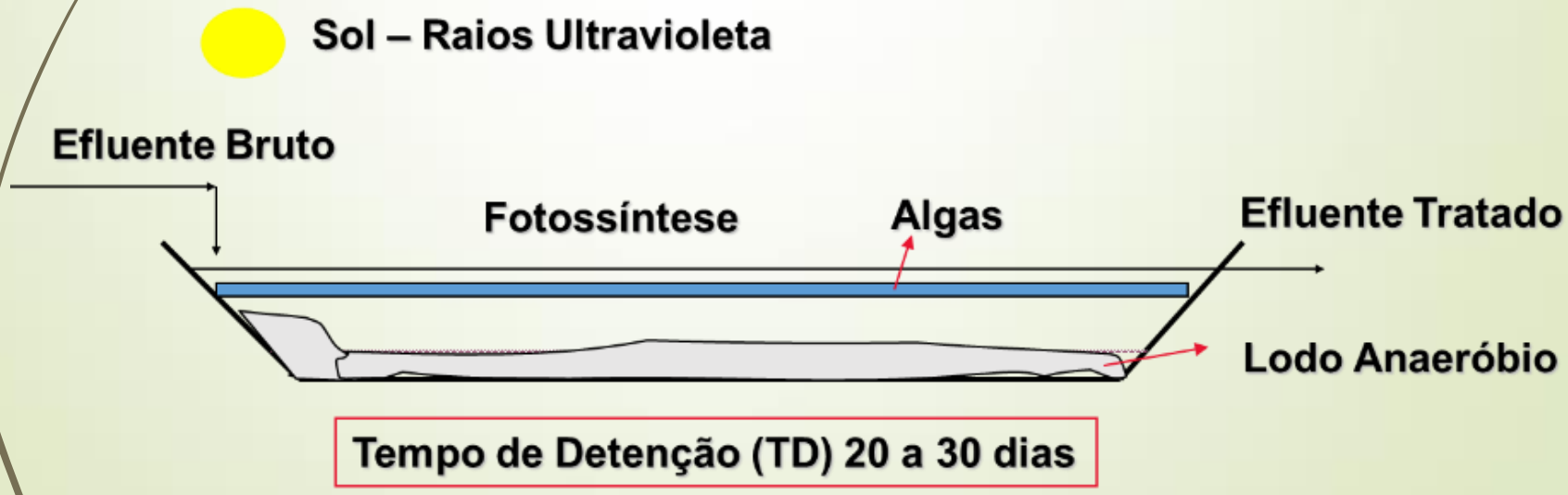
- O íon amônia passa através da membrana de nanofiltração, seja na forma livre ou fixa

SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICOS CLÁSSICOS, SEM PRÉ OU PÓS TRATAMENTO, APRESENTADOS DA MENOR PARA A MAIOR PERFORMANCE DE REMOÇÃO DE POLUENTES

ALVO PRINCIPAL: REDUÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA (DBO_5) EM ESPECIAL, EM ESGOTO SANITÁRIO, QUE POSSUI UMA MÉDIA DE 350 mg/L DE DBO_5

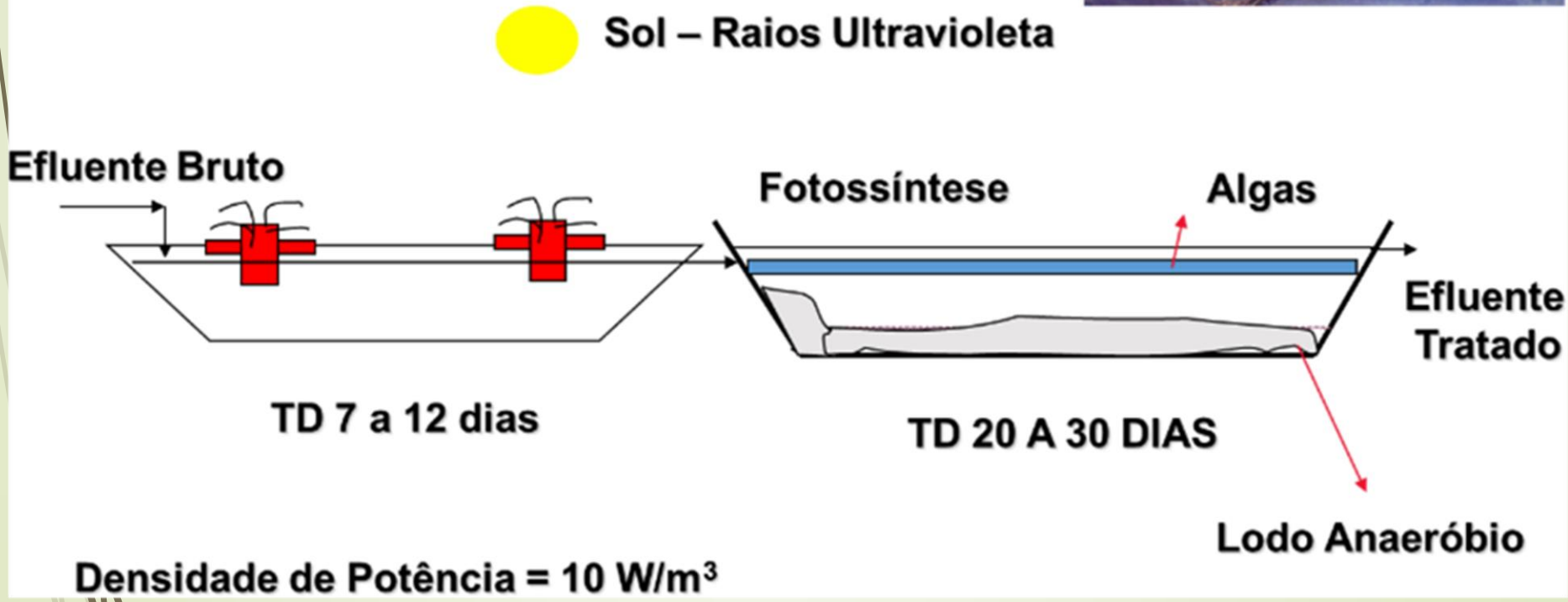
LAGOA FACULTATIVA

- TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO E ANAERÓBIO



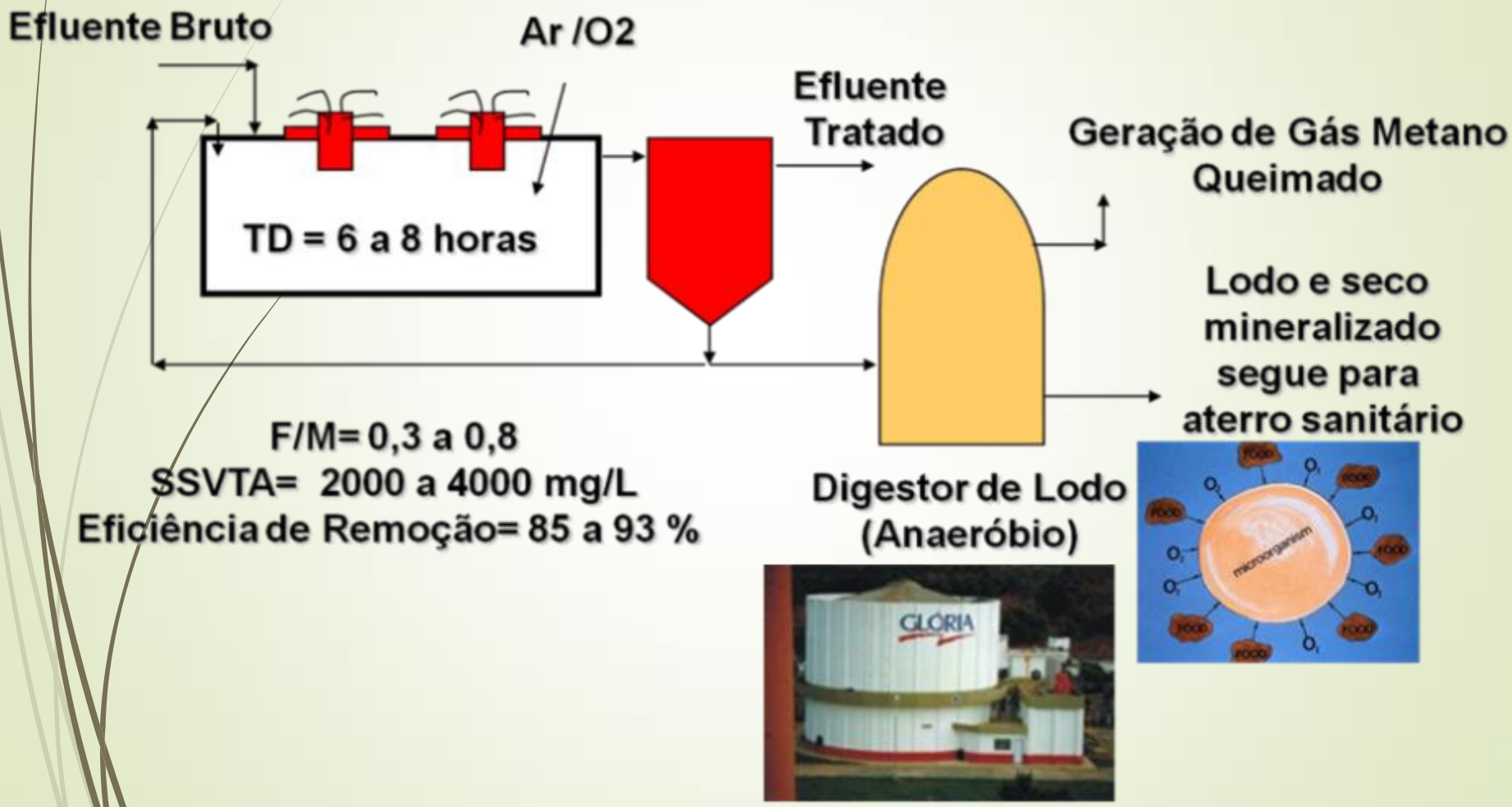
LAGOA AERADA + FACULTATIVA

- Lagoa Aerada seguida de Facultativa:
- Tratamento Biológico Aeróbio Anaeróbio



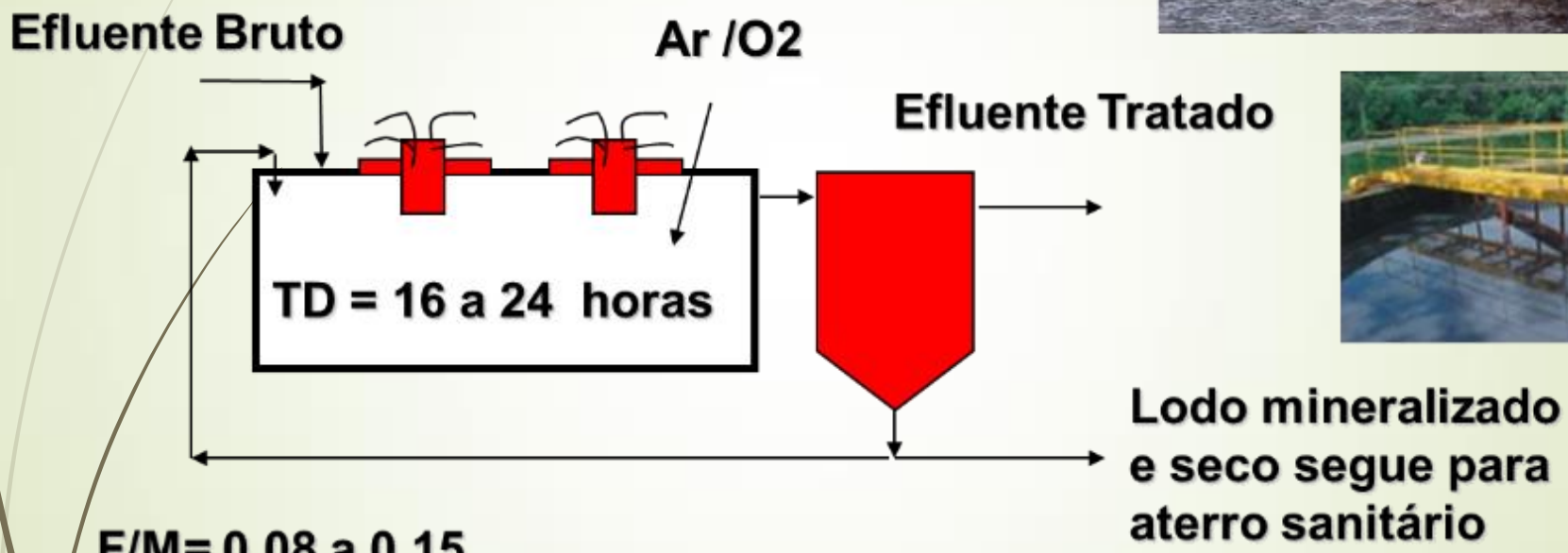
AERAÇÃO CONVENCIONAL + DIGESTÃO ANAERÓBIA

- Lodos Ativados Convencional:
- Tratamento Biológico Aeróbio



AERAÇÃO PROLONGADA

- Lodos Ativados Aeração Prolongada:
- Tratamento Biológico Aeróbio



F/M= 0,08 a 0,15
SSVTA= 2500 a 4000 mg/L
Eficiência de Remoção= 95 a 98 %

LODOS ATIVADOS

Aeração

Decantação

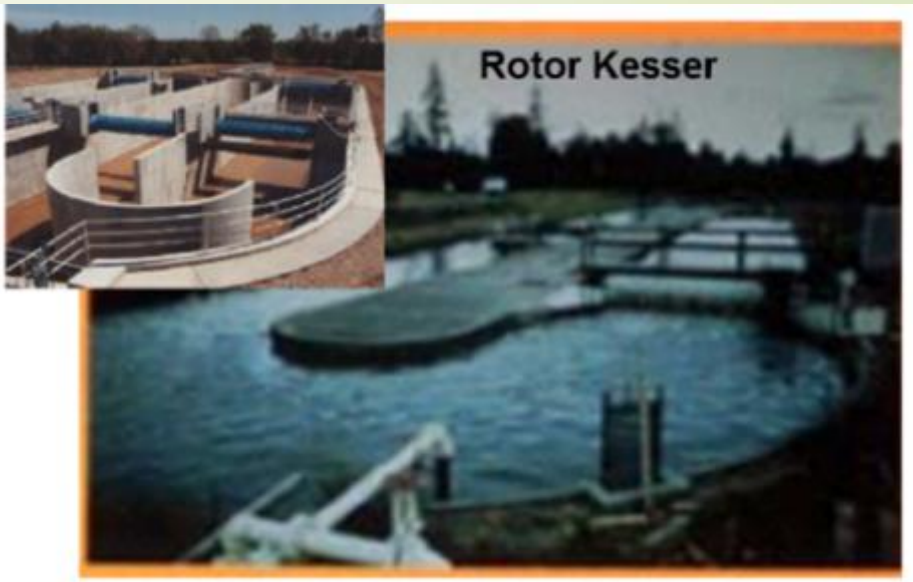
FORMAS COMUNS DE AERAÇÃO

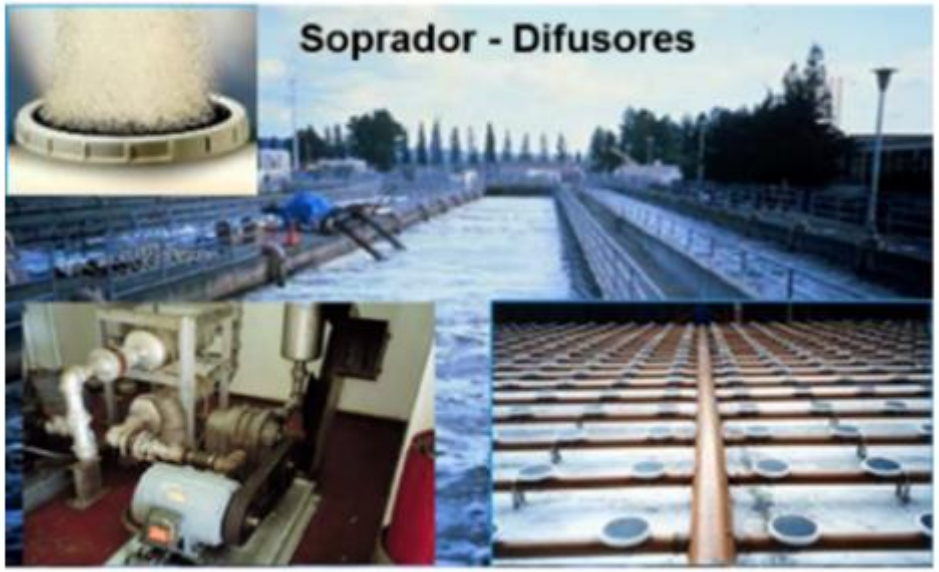
Aerador Submersível

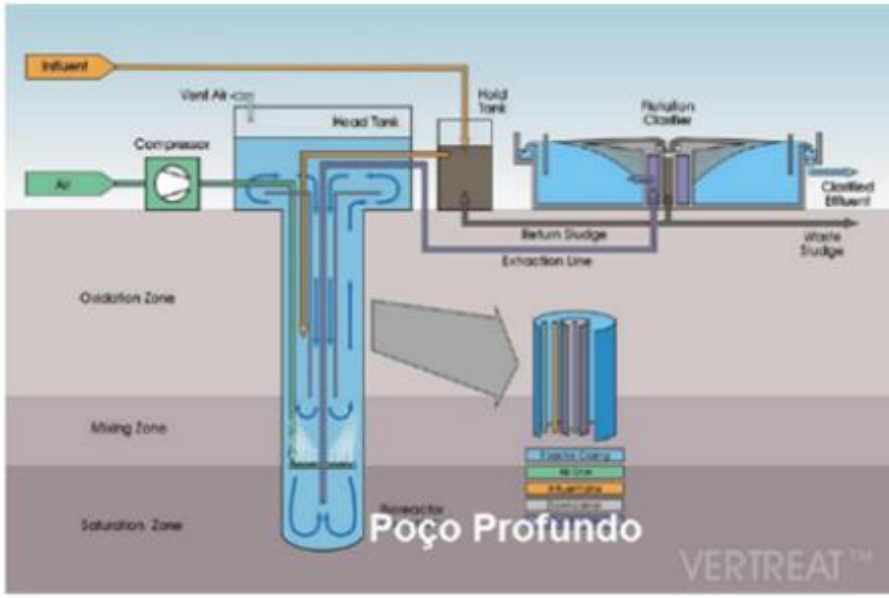
Aerador Rápido

Aerador Lento

FORMAS COMUNS DE AERAÇÃO







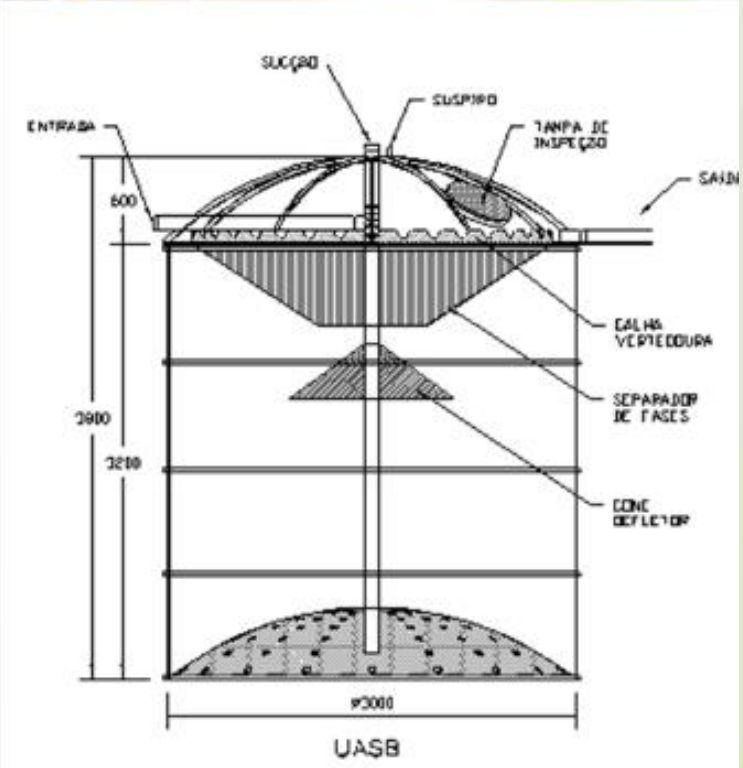
AERAÇÃO MACRO-BOLHAS (DIFUSORES + SOPRADOR)

AERAÇÃO MICRO-BOLHAS (DIFUSORES + SOPRADORES)

SISTEMA ANAERÓBIO

Biodigestores

Reator RALF(UASB)



LODO - FORMAÇÃO E CONTROLE

Parâmetros	Valores Ideais	Unidade
IVL	50 a 150	g/mg
Idade de Lodo	15 a 28	dias
SSV	3500 a 6000	mg/L
F/M	0,1 a 0,2	d^{-1}
Sol. Sediment.	300 a 450	ml/L

FORMAÇÃO E CONTROLE DO LODO

Lodo Jovem

Espuma branca acumulada nos cantos e lodo cinza

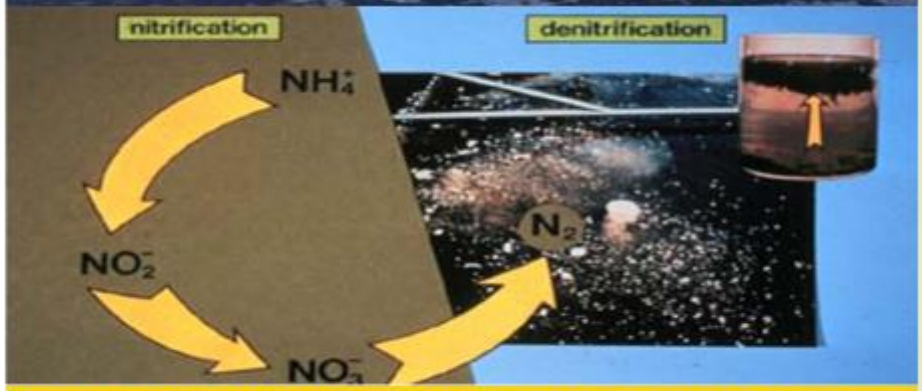
Lodo em má formação decantação prejudicada, saída de lodo pelo over flow

Espuma Branca processo em startup

CONTROLE DO LODO

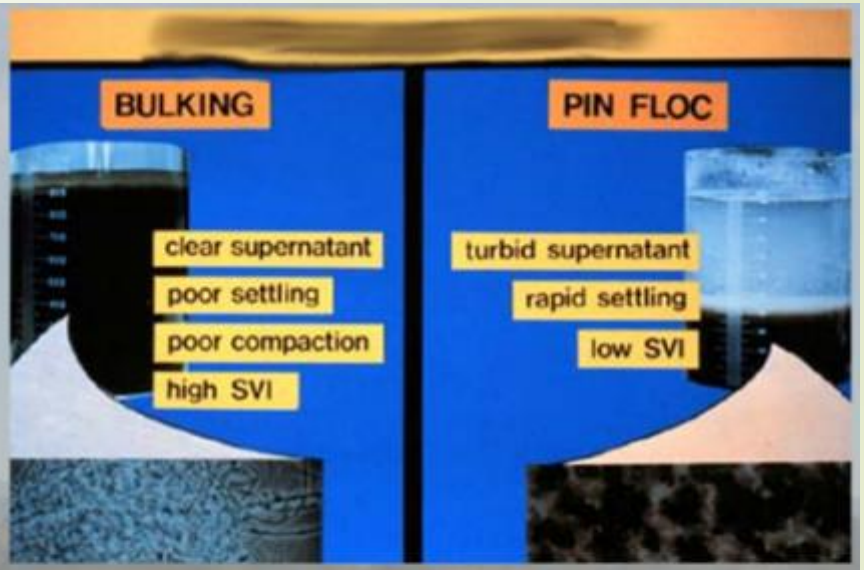
Lodo Velho

Coloração marrom escuro a decantaçãoé boa



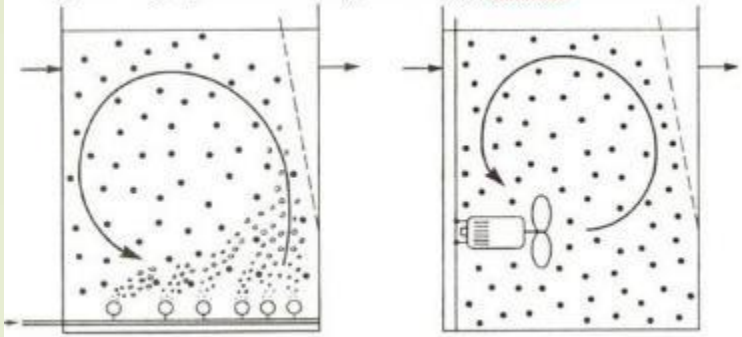
Lodo velho nitrifica e denitrifica, e se não houver zona anóxica o lodo denitrificará no Decantador secundário

CONTROLE DO LODO



BIO-MÍDIA: MELHOR FIXAÇÃO DE LODO NO PROCESSO

Figura 1 - Agitação em reatores (a) aeróbios, (b) anóxicos e anaeróbios.



(a) Mistura por Ar Difuso (b) Mistura por Aeração Mecanizada

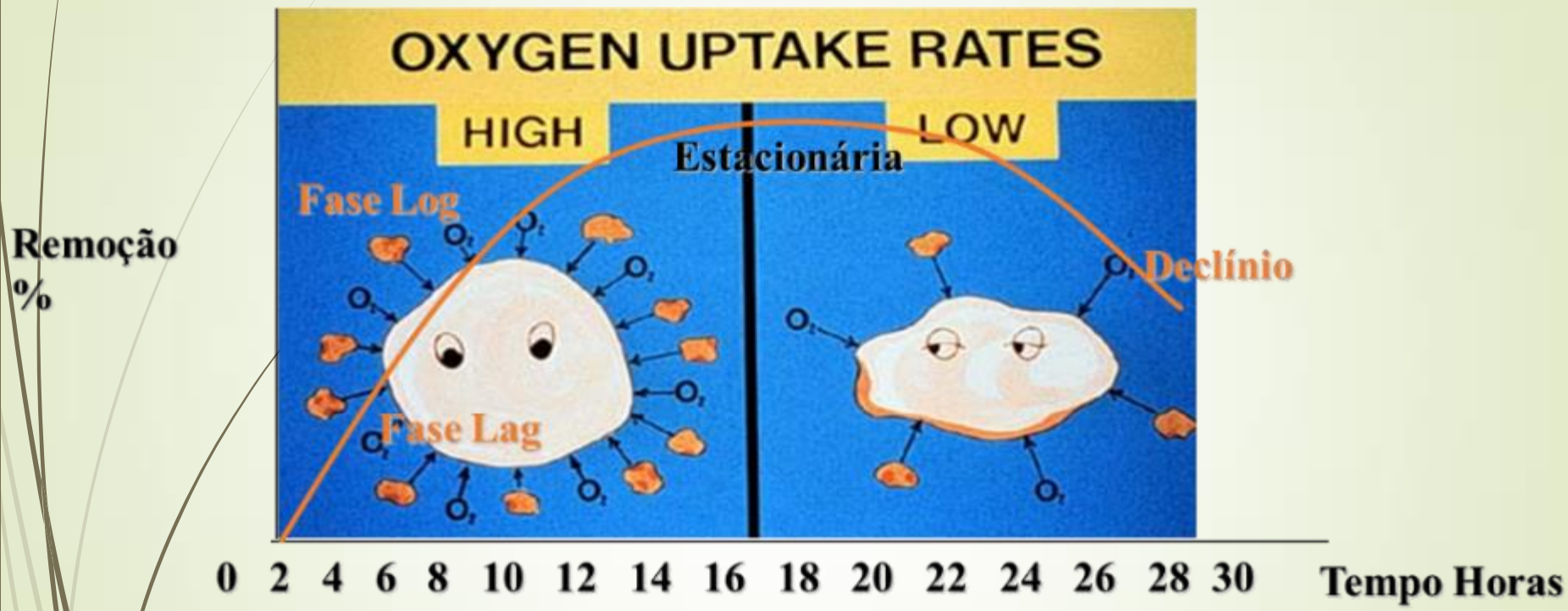
Figura 2 – Modelos e especificações de Biomídias de acordo com os principais fabricantes

Manufacturer	Name	Bulk specific surface area*	Nominal carrier dimensions (depth; diameter)	Carrier photograph
Veolia, Inc.	AnoxKaldnes™ K1	500 m^2/m^3	7 mm; 9 mm	
	AnoxKaldnes™ K3	500 m^2/m^3	12 mm; 25 mm	
	AnoxKaldnes™ biofilm chip (M)	1200 m^2/m^3	2 mm; 48 mm	
	AnoxKaldnes™ biofilm chip (P)	900 m^2/m^3	2 mm; 48 mm	
Infilco Degremont, Inc.	ActiveCell™ 450	450 m^2/m^3	15 mm; 22mm	
	ActiveCell™ 515	515 m^2/m^3	15 mm; 22 mm	
Siemens Water Technologies Corp.	ABC4™	600 m^2/m^3	14 mm; 14 mm	
	ABC5™	660 m^2/m^3	12 mm; 12 mm	
Entex Technologies, Inc.	Bioportz™	589 m^2/m^3	14 mm x 18 mm	

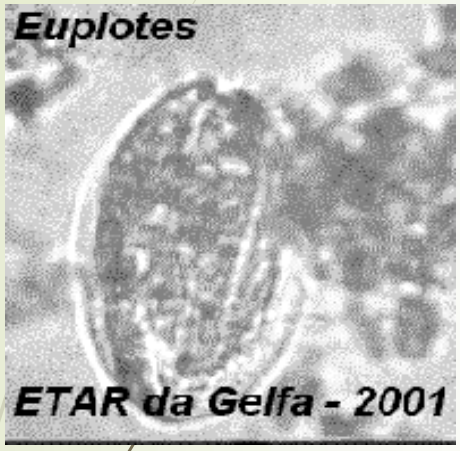
*As reported by manufacturer.

Fonte: https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/enviromex-avaliacao-do-desempenho-de-um-sistema-piloto-de-mbbr-tratando-esgoto-domestico/

EVOLUÇÃO DAS BACTÉRIAS



BIOTA


Euplotes
ETAR da Gelfa - 2001

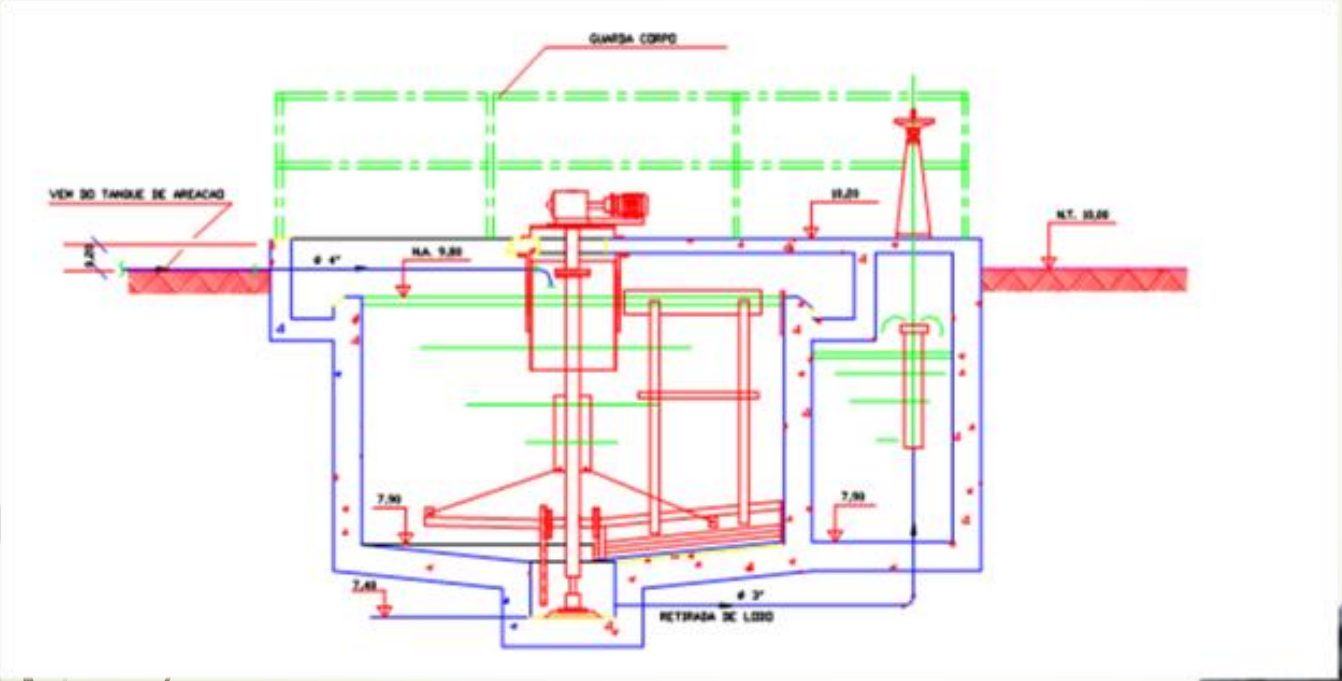
Rotíferes monogonta
ETAR da Gelfa - 2001

Aspidisca lynceus
ETAR da Gelfa - 2001

CLARIFICAÇÃO

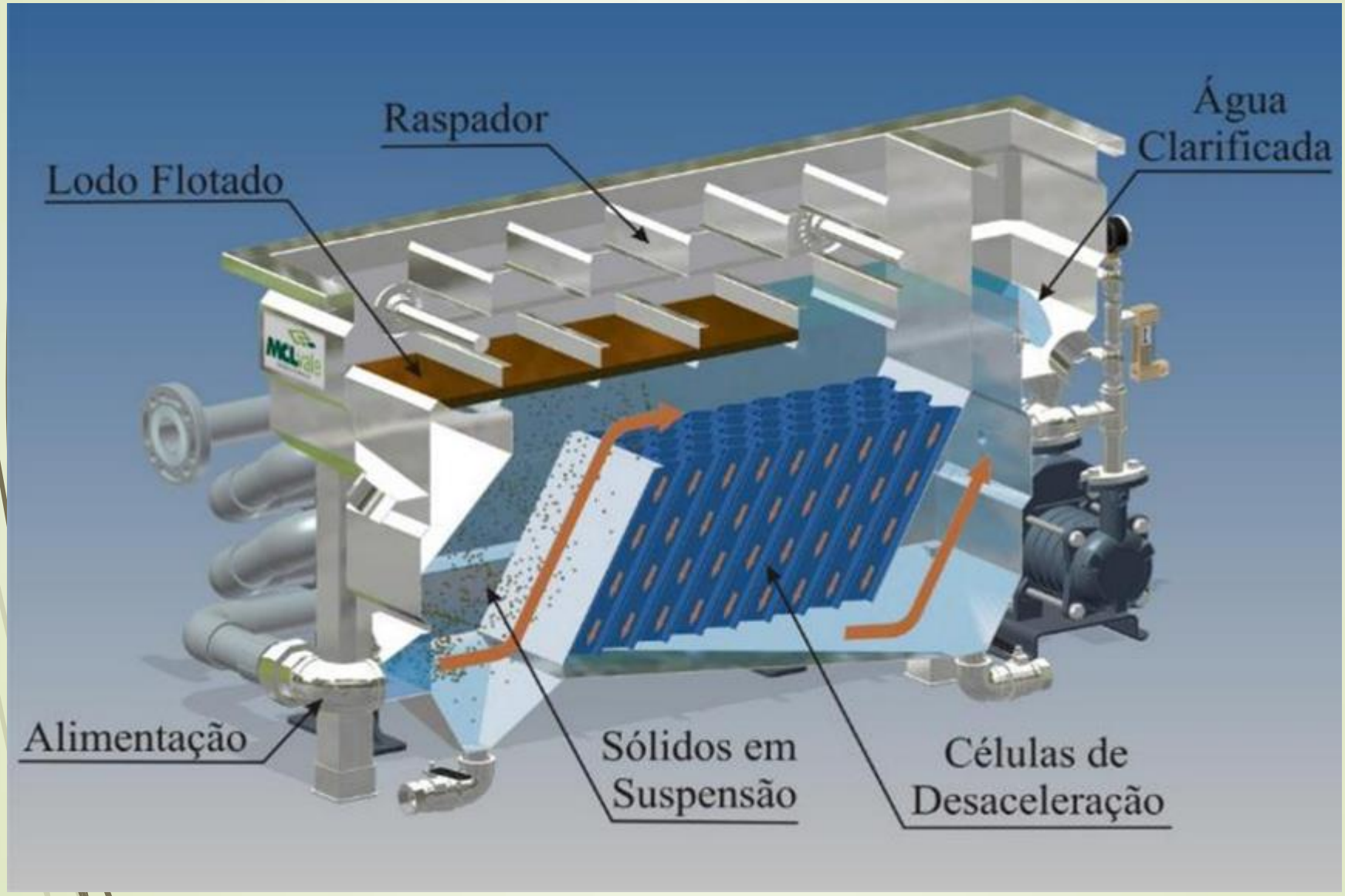
DECANTADOR COM RASPADOR DE LODO

DECANTADOR CIRCULAR COM RASPADOR DE LODO



DECANTADOR RETANGULAR COM RASPADOR DE LODO

FLOTADOR


Raspador
Água Clarificada
Lodo Flotado
Alimentação
Sólidos em Suspensão
Células de Desaceleração

SISTEMAS DE TRATAMENTO DE MAIOR PERFORMANCE, INTEGRANDO OUTRAS ETAPAS DE PRÉ OU PÓS TRATAMENTO PARA CHORUME

ETAPAS APLICÁVEIS A CHORUME

Tratamento primário

Chorume bruto

Equalização

Peneiram.

Precipitação química

Decantação primária

Stripping de Amônia

- Lavagem de gases

Correção de pH

Tratamento Secundário

Chorume após tratamento primário

nutrientes

Tanque de Aeração

sai lodo

Decantador secundário

Tratamento Terciário

Chorume após tratamento secundário

Filtração

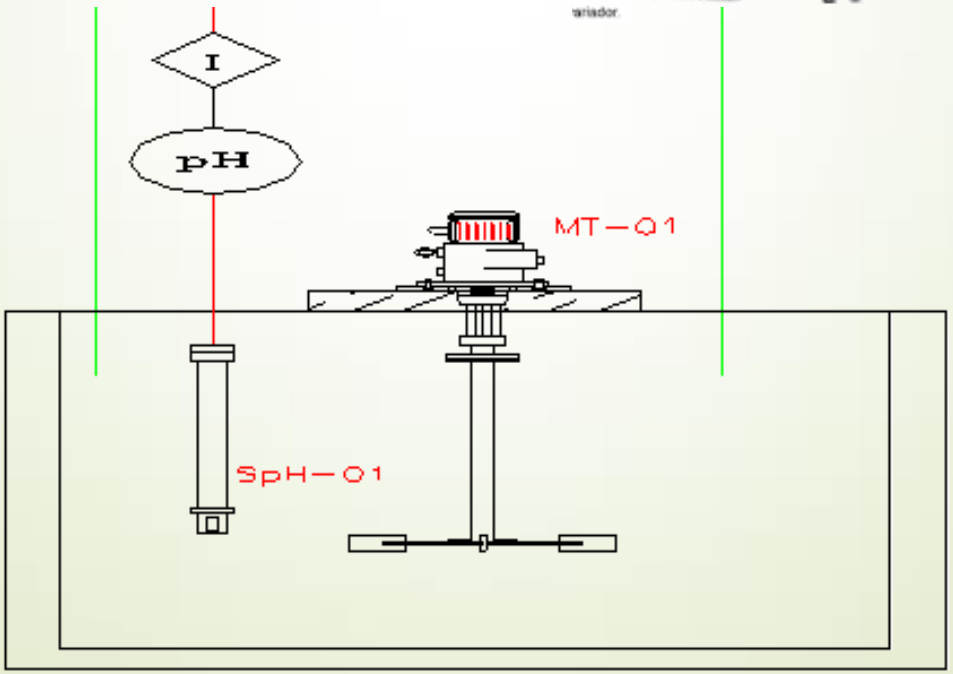
Correção de pH

Nanofiltração

Chorume tratado

Fonte: www.aidisar.org.ar

SILO DE CAL PARA ALCALINIZAÇÃO – STRIPPING QUÍMICO



PRÉ TRATAMENTO DE AMÔNIA – STRIPPING QUÍMICO, TÉRMICO OU AIR-STRIPPING

Stripping de amônia - extração da amônia livre (gasosa) de um líquido, pela ação de arraste de ar ou vapor;

Em um líquido, para que a amônia esteja na forma livre, no caso do chorume, é necessária a intervenção dos seguintes fatores, em concomitância ou não:

- Elevada temperatura (Dissociação do bicarbonato);
- Elevado grau de agitação (Dissociação do bicarbonato e facilidade na "expulsão" do CO_2 e da amônia livre;
- Elevado pH -11 – 12;

Técnicas de Stripping mais aplicadas

- Ar em torre de enchimento; vapor e reator simplesmente aerado.

STRIPPING COM VAPOR

Realizado pela temperatura de operação da coluna (~ 100 °C) e pela ação de arraste do vapor (3 – 4 bar);

- Consumo de vapor = ~ 200 kg/ m³ de chorume

- Stripping projetado como torre de destilação (Pratos ou enchimento de anéis);

- Eficiência superior a 90%;

- Produção de solução saturada de Carbonato/ Bicarbonato de Amônio;

- **Viável economicamente se vapor é obtido em uma caldeira de recuperação, a partir da queima do biogás**;

-Sensível à incrustação de $CaCO_3$ e outros componentes, pela alta temperatura;

- Necessidade de limpeza ácida semanal;

- **Vantagens**:

  - Não utiliza alcalinizante;

  - Produção de solução amoniacal concentrada que pode ser atacada com H_2SO_4 e H_3PO_4, gerando um sal com valor comercial;

STRIPPING COM AR EM REATOR SIMPLESMENTE AERADO

Esta operação de stripping requer a adição de alcalinizante, normalmente o Cal, devido ao seu baixo custo;

- A dosagem de cal é proporcional a concentração de $N\text{-}NH_3$;
- Elevadas dosagens de cal = 20 a 30 kg/ m³ de chorume;
- Formação de $CaCO_3$ insolúvel;
- Remoção de uma fração da DQO dura;
- Geração de elevadas quantidades de lodo, o qual deve ser reciclado/ disposto no aterro;
- Não se conhece a influência da disposição do lodo sobre a estabilidade do aterro e sobre as variações da características do chorume e da composição do biogás;
- No Brasil, este processo era utilizado nos aterros de Gramacho (RJ) e Candeias (Recife), entretanto, afeta a performance da membrana de nanofiltração.

STRIPPING COM AR EM TORRE DE ENCHIMENTO

- Normalmente realizada com ajuste de pH (soda cáustica ou cal) e aquecimento, tanto do chorume, quanto do ar;
- Mesmo funcionamento de uma torre de resfriamento. A saturação do ar leva a um resfriamento do líquido, que pode limitar a eficiência da operação;
- Elevadas vazões de ar, dependendo da temperatura de operação = 500 a 1.500 m^3/ m^3 chorume;
- Torres sujeitas a incrustação progressiva por $CaCO_3$, quando a dureza do chorume é elevada;
- Necessidade de limpeza periódica com ácido.

Fonte: Organics – Hong Kong

SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO

OXIDAÇÃO QUÍMICA

Tratamento de Efluentes através de reação de oxirredução com a ação de produtos oxidantes (Ozônio, Peróxido de Hidrogênio, Cloro e também, ultravioleta).

Para tratamento de:

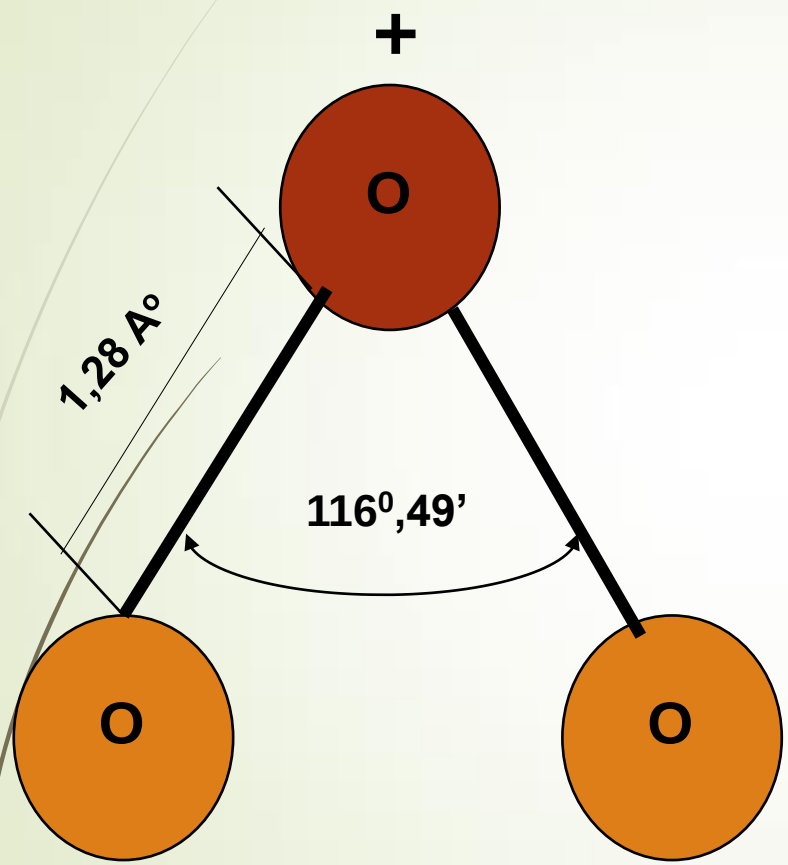
Sulfeto, Cianeto, Fenóis, Coliformes, Cor, Matéria Orgânica, Ferro Solúvel, Manganês, entre outros.

SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO – COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Tratamento para remoção de materiais em suspensão, metais pesados, óleos e graxas, entre outros, utilizando produtos químicos específicos que reagem com os poluentes, promovendo coagulação, seguida por floculação e gerando lodo químico e efluente tratado.

Neste sistema a matéria orgânica solúvel não é removida, sendo necessário portanto, o sistema físico químico de oxidação ou sistema biológico.

OZÔNIO - O_3



Desinfecção/Esterilização (Ar/Água)

Utilização em tratamento avançado

Controle microbiológico

Remoção de Nitrogênio

Remoção de cor

Remoção de gosto e odor

Oxidação metálica

Desincrustação

Redução em produtos químicos

Tratamento de poços

Branqueamento

OZÔNIO - O_3 DOSAGENS

Eliminação de Coliformes	0,5 - 1,5 ppm	
Eliminação de Vírus	0,5 - 1,5 ppm	
Eliminação de Staphyllococcus	2,0 - 3,0 ppm	
Desinfecção de esgotos (coliformes)	5,0 - 12,0 ppm	
Nitrificação de Uréia	1,0 - 5,0 mol de O_3/mol N	1
Oxidação de Amônia	12,0 - 90,0 mol de O_3 /mol NH_4	2
Oxidação de Nitrito a Nitrato	1,0 - 1,5 mol O_3 /mol NO_2^-	
Destruição de Cianetos	0,5 - 1,5 mol O_3 / mol CN^-	3
Oxidação de Manganês	2,5 - 3,0 mol O_3 /mol Mn^{+2}	
Oxidação de Ferro	0,5 - 0,8 mol O_3 /mol Fe^{+2}	
Oxidação de Fenóis	3,0 - 6,0 mol O_3 /mol Fenol	4
DQO	1,5 - 3,0 g O_3 /g DQO	5

1- Altos tempos de residência, necessário ajuste de pH e adição de catalisadores

2- Altamente dependente de pH

3- Altos tempos de residência, necessário adição de catalisadores

4- Depende do pH e presença de outros compostos orgânicos

5- Depende muito da natureza dos compostos orgânicos

REMOÇÃO BIOLÓGICA DE AMÔNIA

NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO (BIOLÓGICA)

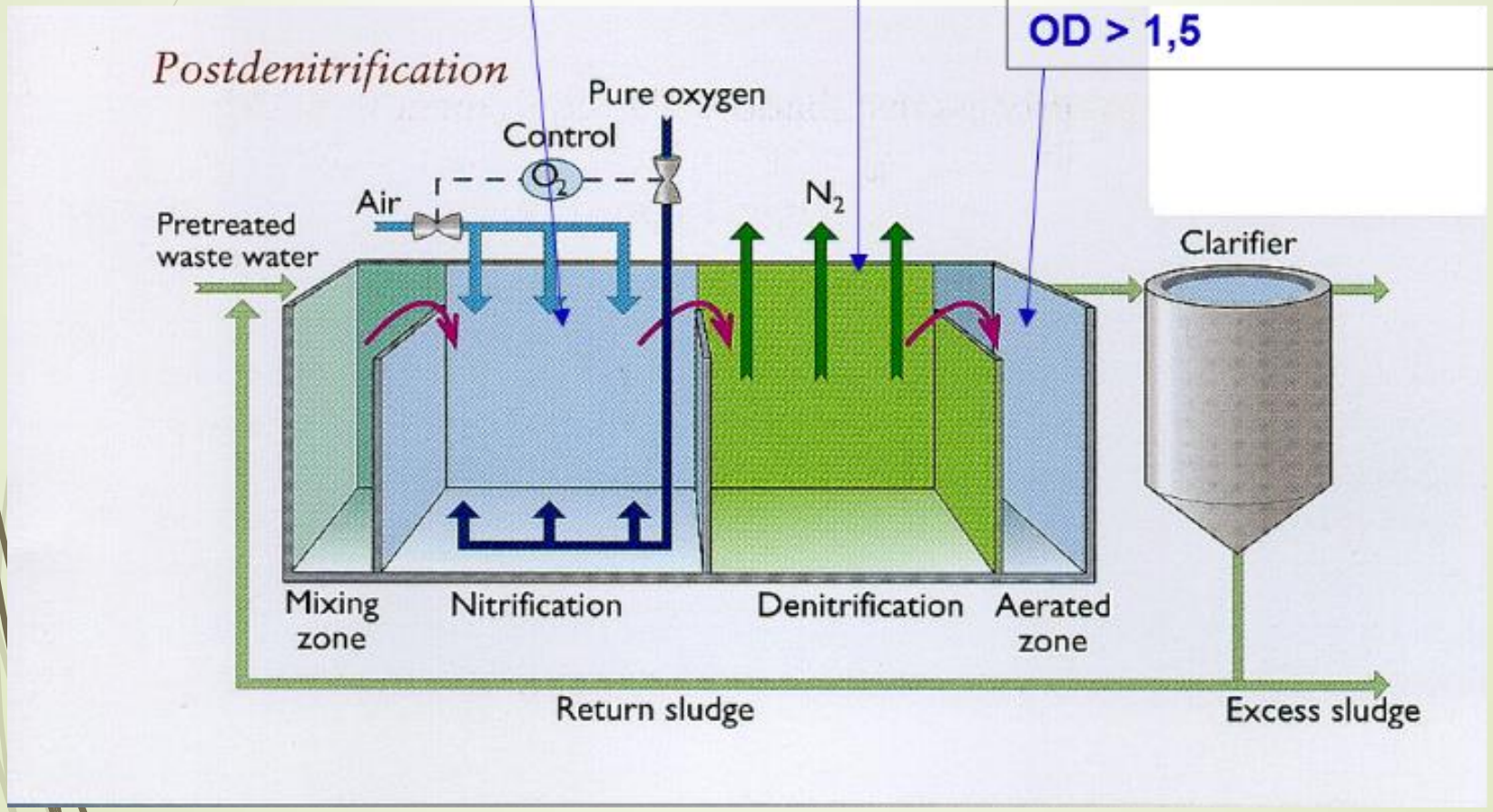
ORP = + 250 mv

OD >= 2,0

pH > 7.5

ORP = -120 mv

OD > 1,5



NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO (BIOLÓGICA)

A transformação da amônia em nitritos é efetivamente através de bactérias, como as do gênero *Nitrosomonas*, de acordo com a seguinte reação:

$$2NH_4^+ - N + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- - N + 4H^+ + 2H_2O + \text{novas células}$$

Nitrosomonas

A oxidação de nitritos a nitratos dá-se principalmente pela atuação de bactérias como as do gênero *Nitrobacter*, sendo expressa por:

$$2NO_2^- - N + O_2 \rightarrow 2NO_3^- - N + \text{novas células}$$

Nitrobacter

A reação global da nitrificação é a soma das equações:

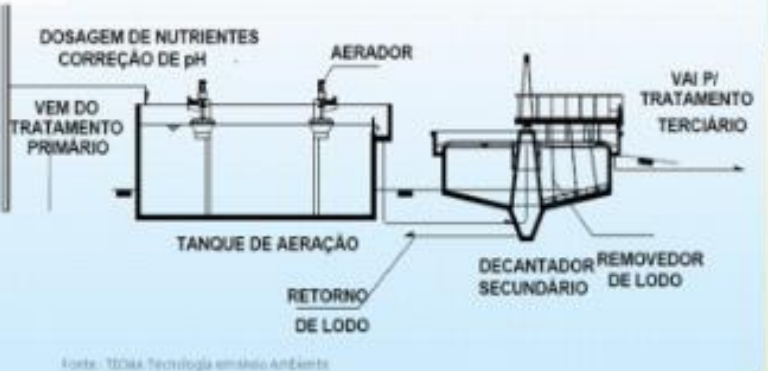
$$NH_4^+ - N + 2O_2 \rightarrow NO_3^- - N + 2H^+ + H_2O + \text{novas células}$$

Nas reações, devemos notar os seguintes pontos:

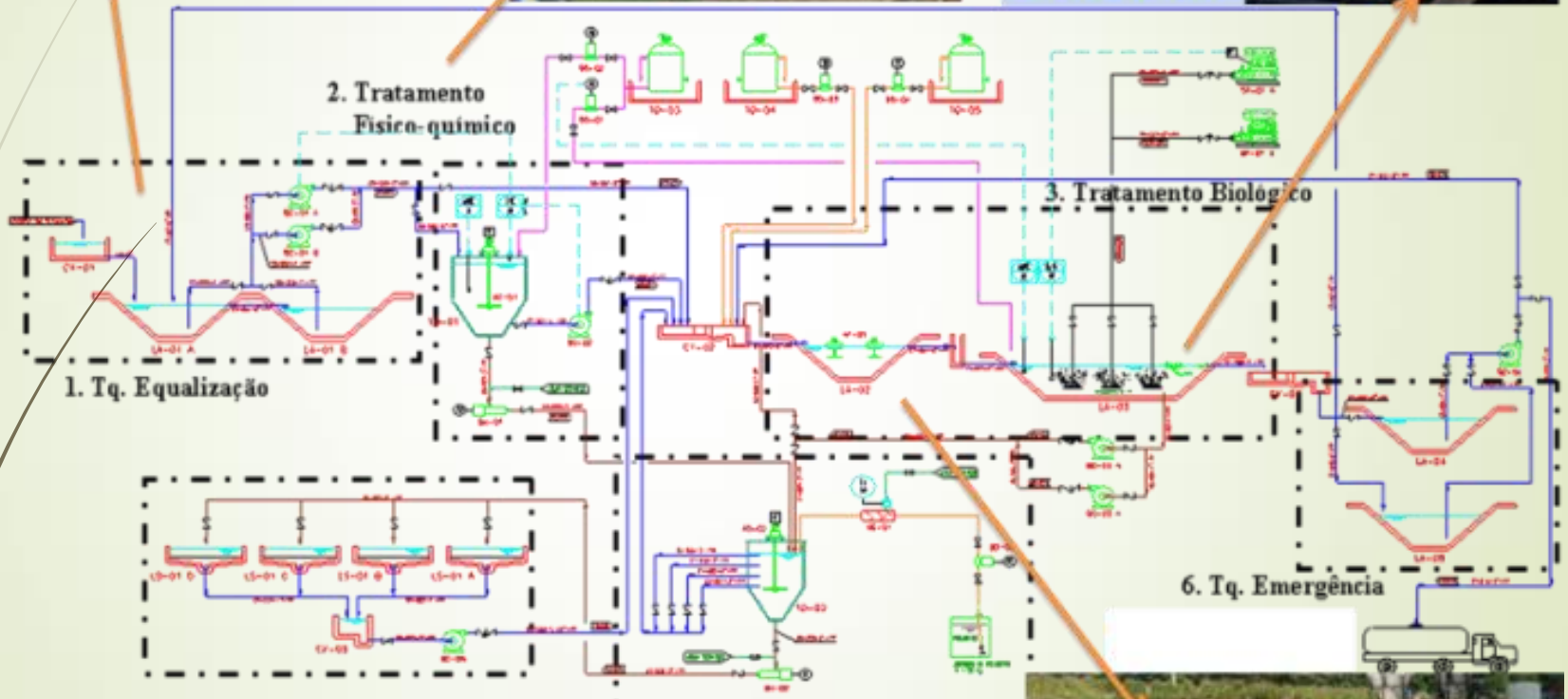
- Consumo de oxigênio livre. Este consumo é geralmente referido como demanda nitrogenada.
- Liberação de H^+, consumindo a alcalinidade do meio e possivelmente reduzindo o pH.
- A reação de desnitrificação, ou de redução de nitratos, ocorre como já discutido em condições anóxidas, através da atuação das bactérias *Pseudomonas sp* .

EXEMPLO DE COMBINAÇÕES ENVOLVENDO PRÉ-TRATAMENTO, TRATAMENTO BIOLÓGICO E ALGUNS COM PÓS-TRATAMENTO

STRIPPING QUÍMICO + BIOLÓGICO + MEMBRANA DE NANOFILTRAÇÃO



FÍSICO-QUÍMICO (PAC) + BIOLÓGICO + POLIMENTO



FÍSICO-QUÍMICO + BIOLÓGICO EM VALOS DE OXIDAÇÃO

OSMOSE

22/novembro/2016

14/Novembro/2014

OSMOSE REVERSA

- Ultra ou Nano + OR – duplo passo;
- Desenvolvimento de membranas específicas para tratamento de chorume;
- Em geral, se efetuam 3 estágios, com diferentes pressões (~ 80 bar – 30 bar – 15 bar);
- Necessidade de pré-acidificação (pH ~ 5,5 – 6,0) e *stripping* de CO_2;
- Elevado consumo de ácido para correção do pH, principalmente quando a alcalinidade é muito alta
-Necessidade de *stripping* para remoção de CO_2, formado na acidificação (aumento no consumo de energia);
- A condutividade vai progressivamente aumentando conforme se processa a recirculação.
- Características como Ferro, Alumínio, Cálcio e Manganês representam dureza, que atrapalha a performance.
- Os sais amoniacais se concentram no rejeito da OR;

OSMOSE REVERSA DE DISCO

NANO + OSMOSE REVERSA ESPIRAL

CONCENTRADO DE OSMOSE – REINJETAR OU EVAPORAR

22/novembro/2016

14/Novembro/2014

EVAPORADOR DE CHORUME

EVAPORADOR DE CHORUME

EVAPORADOR DE CHORUME

FÍSICO-QUÍMICO E MBR

22/novembro/2016

14/Novembro/2014

FÍSICO-QUÍMICO E MBR

Pré-tratamento químico (como os mencionados acima)

Peneiramento
Precipitação química em um tanque de coagulação usando Cloreto Férrico
Aglomeração dos flocos com polímero
Flotação dos sólidos precipitados.

Tanque de equalização, com mistura feita por agitadores mecânicos superficiais

Tanque de neutralização, o que se realizará com a dosagem de soda cáustica ou ácido clorídrico, mistura com misturador mecânico rápido.

Tanque anóxico para denitrificação.

Processo aeróbio com MBR (Bio reator de membranas), onde ocorrerá a oxidação da matéria orgânica e a nitrificação. Aeração com insuflação de ar feito com sopradores tipo ROOTS e difusores com membranas tubulares.

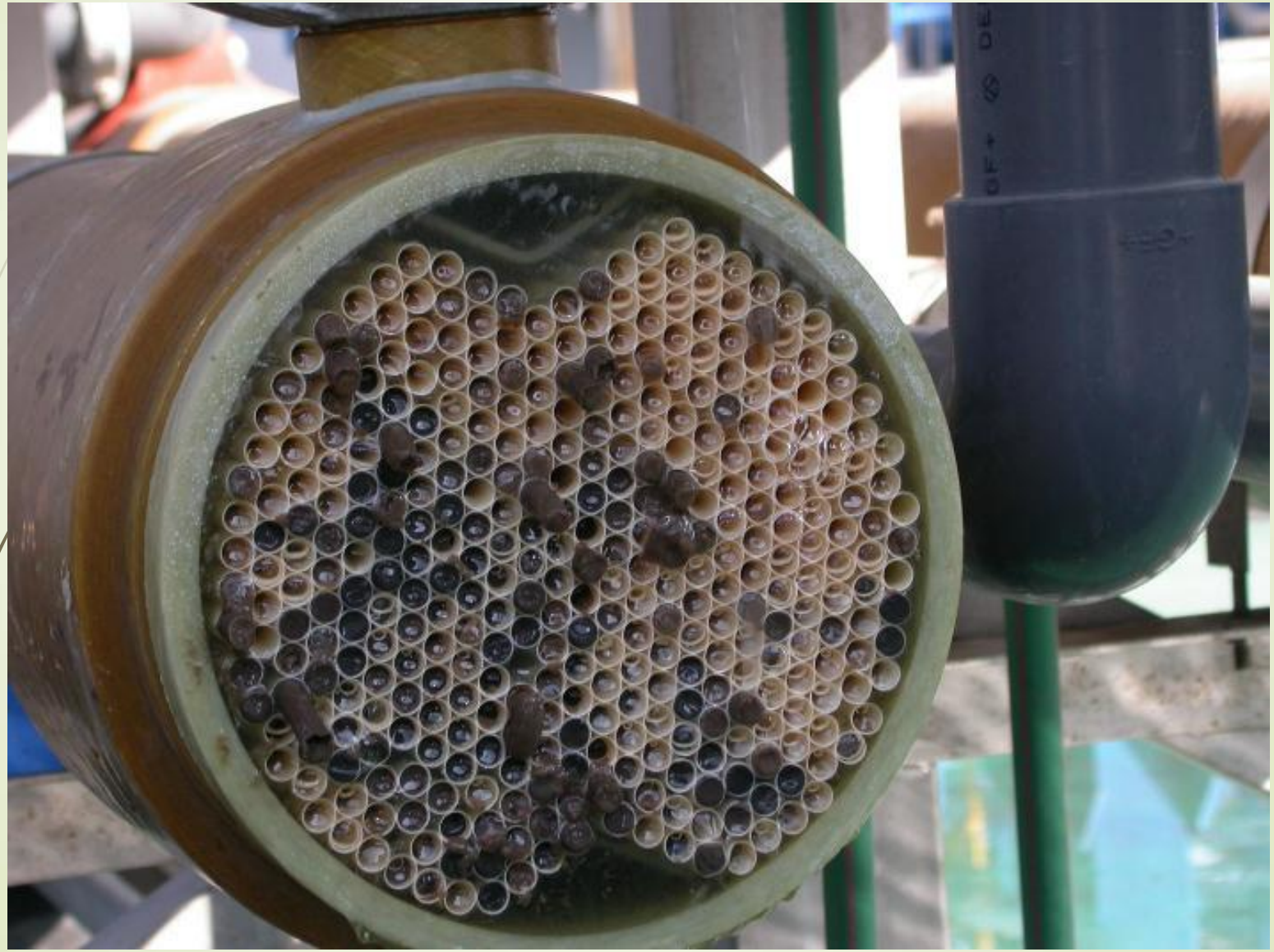
TRATAMENTO MBR - MICRODIN

PLACA - MICRODIN

MEMBRANAS TUBULARES

CROSS FLOW

CROSS FLOW



FÍSICO-QUÍMICO, BIOLÓGICO E WETLAND

GERAÇÃO DE CHORUME

CÁLCULO: MÉTODO SUÍÇO

METODO SUíÇO - Q=(1/t)PAK-->l/s=(1/s)(mm)m²k												previsão 2018	
Periodo	unid.	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Precipitação do período (previsto)	mm	260,00	200,00	220,00	130,00	100,00	50,00	0,00	30,00	80,00	120,00	150,00	270,00
Q chorume - estimada	l/s	0,80	0,62	0,68	0,50	0,39	0,19	-	0,12	0,31	0,46	0,58	1,04
Q chorume - diária	m3/dia	67,10	57,14	56,77	43,33	32,26	16,67	-	9,68	26,67	38,71	50,00	87,10
Qchorumemensal	m3/mês	2.080,00	1.600,00	1.760,00	1.300,00	1.000,00	500,00	0,00	300,00	800,00	1.200,00	1.500,00	2.700,00
área operacional	m2	40.000,00	40.000,00	40.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00

Parâmetros		
Kpara cálculo	-	0,2
Área	m2	50.000
t	s/mês	2592000

Média anual	
1.228,33	m3/mês
40,94	m3/dia

CÁLCULO: BALANÇO HÍDRICO

BALANÇO HÍDRICO CLIMÁTICO DE THORNTHWAITE (1948)

Balanço hídrico de Thornthwaite para a Bacia do Rio Araguaia - GO **(Meruri - MT)**

	t	i	EP	f	Epc	P	P-EP	ARM	ALT	ER	DEF	EXC
J	24,2	11,3	104	1,12	117	289,7	173,1	100	-152,7	117	0	325,8
F	24,3	11,4	105	0,98	103	253,3	150,0	100,0	0,0	103	0	150,0
M	24,3	11,4	105	1,05	111	213,9	103,3	100,0	0,0	111	0	103,3
A	23,6	10,9	97	0,98	95	95,3	0,5	100,0	0,0	95	0	0,5
M	21,8	9,7	77	0,98	75	32,3	-42,9	57,1	-42,9	75	0	0,0
J	20,0	8,5	60	0,94	56	9,4	-46,6	10,5	-46,6	56	0	0,0
J	19,6	8,2	56	0,97	55	4,4	-50,1	0,0	-10,5	15	40	0,0
A	21,7	9,6	76	1	76	4,8	-70,9	0,0	0,0	5	71	0,0
S	24,3	11,4	105	1,00	105	52,5	-52,9	0,0	0,0	53	53	0,0
O	25,2	12,1	117	1,07	125	130,1	4,7	4,7	4,7	125	0	0,0
N	24,7	11,7	111	1,07	118	211,6	93,3	98,0	93,3	118	0	0,0
D	24,3	11,4	105	1,12	118	272,7	154,7	252,7	154,7	118	0	0,0
	23,2	127,6	1118,2	-	1154	1570	416,3	823,1	0,0	990	163	579,6

t = Temperatura; P = Precipitação; EP = Evapotranspiração; ARM = Armazenamento de água no solo; ALT = Alteração do conteúdo de umidade; ER = Evapotranspiração Real; DEF = Deficiência hídrica; EXC = Exceço de água no solo; i = fator de temperatura da equação de Thornthwaite; f = constante climática da equação de Thornthwaite (1948); Epc = EP*f.

OBS. Todas as unidades em milímetros (mm), exceto a Temperatura (graus Centígrados) e as da equação de Thornthwaite. Os dados em amarelo podem ser modificados, com o local.

VERIFICAÇÕES:

$$\sum P = \sum EP + \sum (P - EP)$$ **Ok!**

$$\sum EP = \sum ER + \sum DEF$$ **Ok!**

$$\sum ALT = 0$$ **OK!**

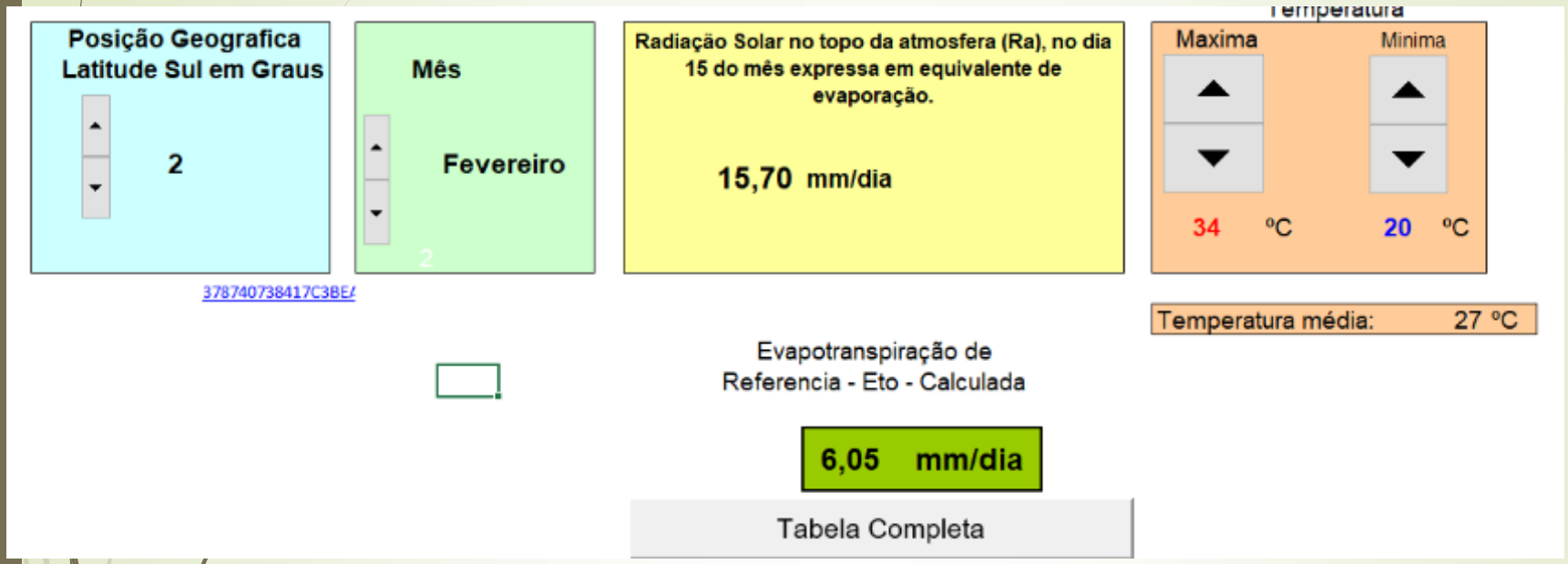
$$\sum P = \sum ER + \sum EXC$$ **Ok!**

Eng.Agrônomo JOSÉ LUIZ VIANA DO COUTO (jviana@openlink.com.br)

Equação de Thornthwaite:

a = **2,9** i = (t/5)^1,54 ETP = 16 (10 t / I)^a I = 127,6

CÁLCULO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO



www.cnpma.embrapa.br/eventos/2011/pimo/palestras/.../evapotranspiracao.xls

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO: QUANTO MENOR, MENOS CHORUME

RAIN FLAP – SEPARAR BASE EM OPERAÇÃO DE ÁREA PREPARADA EM STAND-BY