Reúso urbano de esgoto sanitário e de águas cinzas

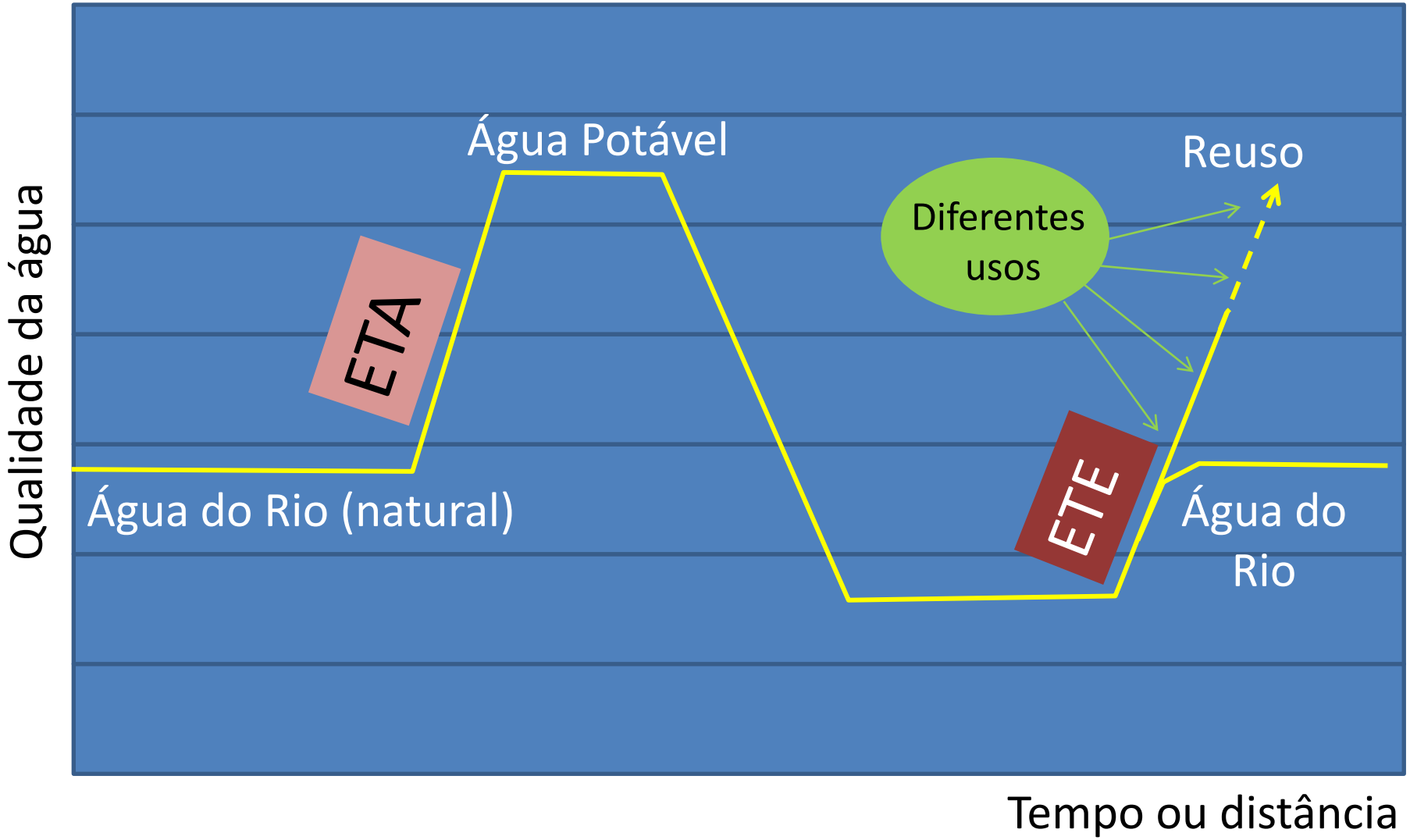
Ricardo Franci Gonçalves
Professor Titular, D.Ing.
Dpto. Enga Ambiental – Univ. Federal do Espírito Santo

XI SESMA, Vitória, 21/08/2016

1. Reengenharia do ciclo urbano da água

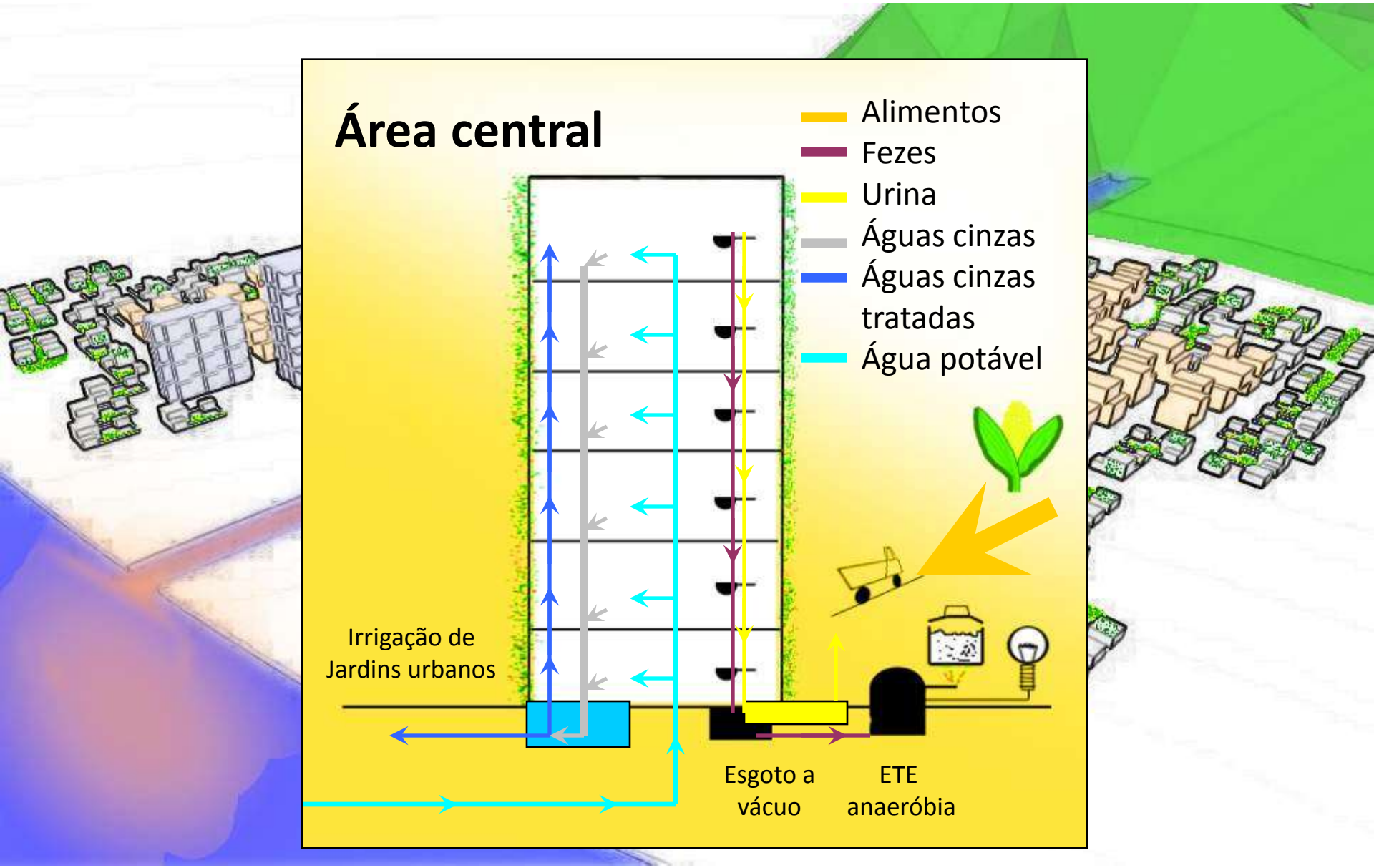
Vitória: colapso hídrico entre 2016 e 2025?

Água de reuso: Usos x Qualidade x Padrões

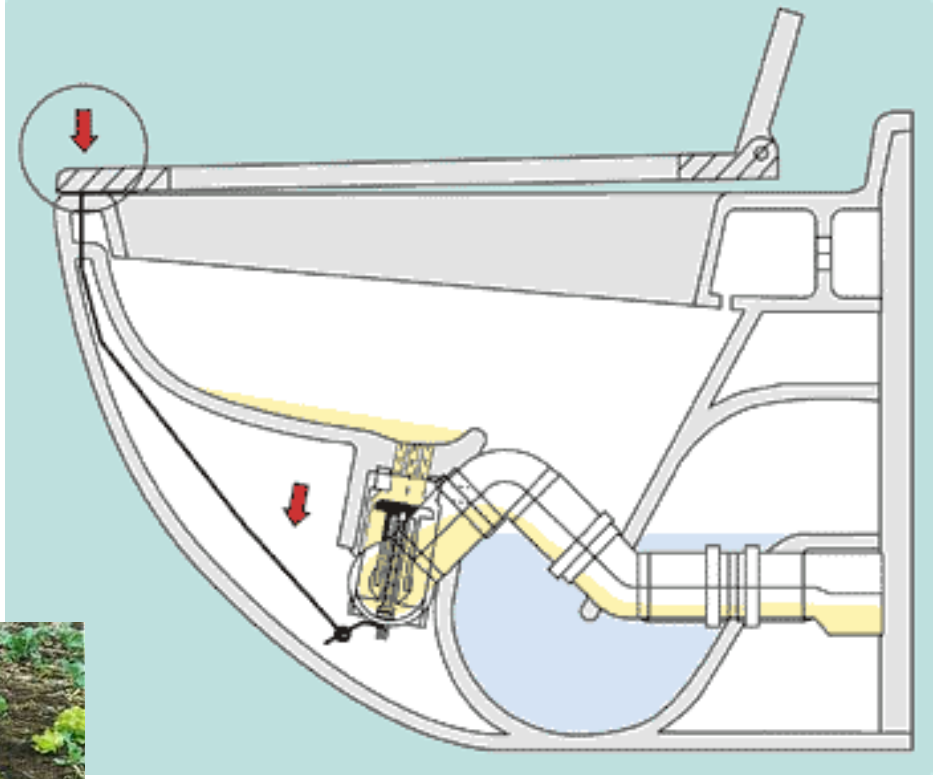


Conceito Urbano do Saneamento Ecológico

Conceito Urbano do Saneamento Ecológico



Segregação fezes - urina



1 pessoa:

→1,5 L urina/dia

→ 24 a 60 L água /dia (descarga)

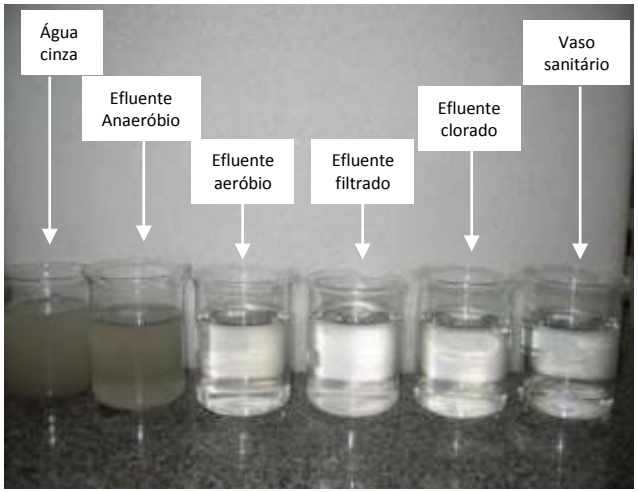
2. Princípios Fundamentais do Reuso da Água

Reuso de Água

- Esgoto tratado é um recurso hídrico → água doce....
- Esgoto tratado não descarregado nos corpos receptores → reduz a poluição
- Reuso → Deve constituir uma diretriz da política de gestão integrada dos recursos hídricos

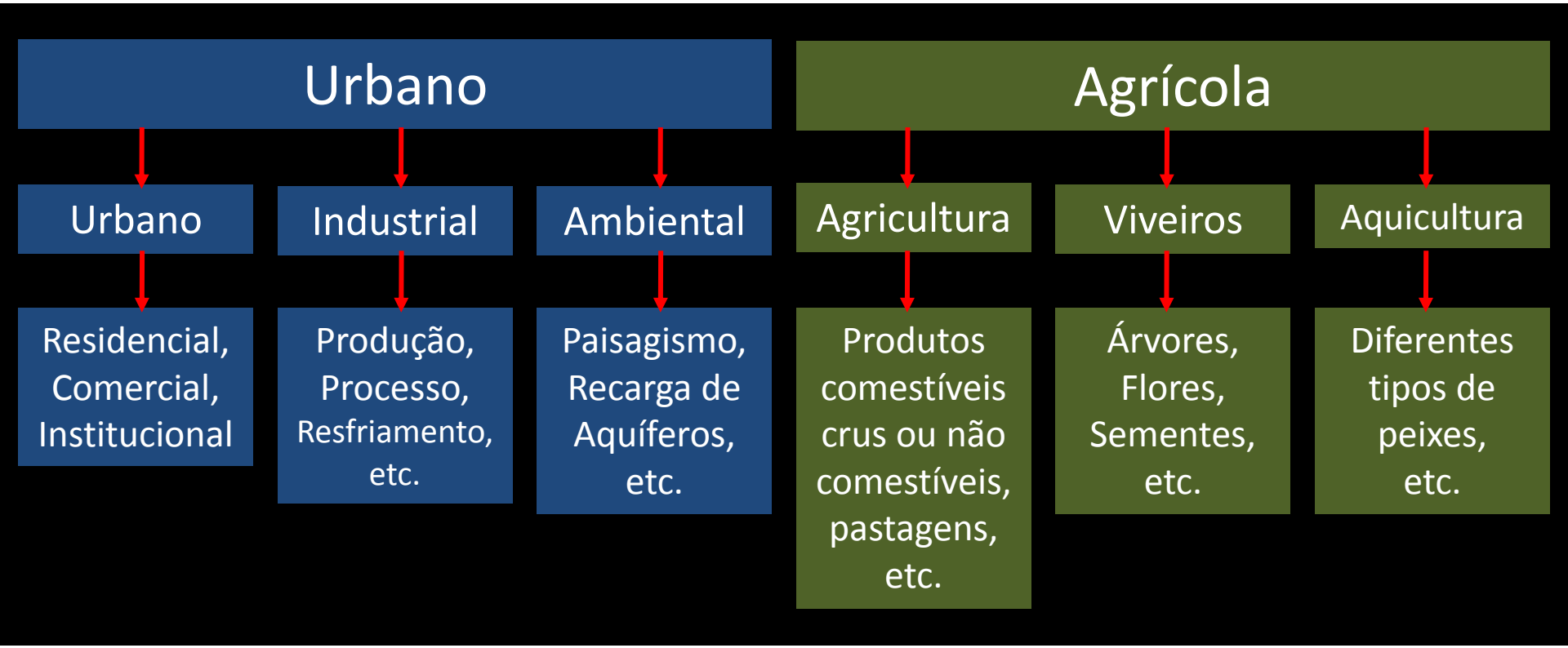
Fundamentos do Reuso de Água

1. Assegurar o eficiente tratamento das águas residuárias para satisfazer as normas de qualidade da água para os usos planejados
   - *A qualidade da água é o que importa, não o seu grau de tratamento ..... J. M. Simpson (Australian Water Association)*
2. Proteção da saúde pública
3. Conseguir a aceitação pública



3. Água de reuso: Usos x Qualidade x Padrões

Reuso – Usos possíveis



Normas e padrões: USEPA 2004

Parâmetro	Importância para o reuso de água	Objetivo na água de reuso
SST	Quantidade de partículas. Pode ter relação com patógenos e interfere na desinfecção. Entupimento de sistemas de irrigação. Deposição.	<5 - 30 mg SS/L
Turbidez		<0.1 - 30 UT
DBO5	Substrato orgânico para crescimento biológico. Causa recrescimento bacteriano em sistemas de distribuição e entupimento microbiano.	<10 - 45 mg DBO/L
DQO		<20 - 90 mg DQO/L
COT		<1 - 10 mg C/L
Nitrogênio	Fertilizantes para irrigação. Causam crescimento algal, corrosão (N-NH4+) e precipitados (P).	<1 – 30 mg N/L
Fósforo		<1 - 20 mg P/L
Coli. Total	Indica o risco de infecção devido à presença de patógenos. Favorece o bio-entupimento de sistemas de resfriamento.	<1 - 10^4 ufc/100mL
Coli. Termot.		<1 - 10^3 ufc/100mL
Cloro residual	Previne recrescimento bacteriano. Excesso de cloro livre (>0.05) pode prejudicar culturas agrícolas sensíveis.	0.5 - >1 mg Cl/L

(Fonte: USEPA 2004)

Região Mediterrânea

Categoria de água	Termot. ou *E. coli*	SS mg/L
Categoria I a) Residencial: jardinagem, descarga sanitária, lavagem de veículos b) Urbano: parques, campos esportivos, lavagem de vias, incêndios c) Paisagismos e lagunagem, sítios recreacionais	≤ 200	≤ 10
Categoria II a) Irrigação de vegetais, forragens verdes e pastagens b) Recuperação de áreas degradadas: contato público não permitido c) Reuso industrial (exceto para indústria alimentar)	≤ 1,000	≤ 20 ≤ 150
Categoria III Irrigação de cereais, fibras, e sementes, forragens secas ou verdes Culturas industriais, frutíferas(exceto irrigação p/ aspersão), viveiros de plantas, exploração madeireira, áreas verdes s/ acesso de público.	--	≤ 35 ≤ 150
Categoria IV a) Irrigação de vegetais(exceto tubérculos e raízes) c/ sistemas de gotejamento superficial ou sub-superficial s/ contato c/ vegetais comestíveis b) Irrigação de culturas da categoria III c/ sistemas de gotejamento c) Irrigação de áreas verdes com gotejamento de superfície d) Irrigação de parques ou campos de golfe c/ sub-superficial	--	--

Limites estabelecidos ou sugeridos para reúso em descarga de bacias sanitárias – Brasil

Parâmetros	Manual de "Consevação e reúso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005)	Alemanha	Canadá	Japão	NBR 13.969/97 item 5.6.4 Classe 3
pH	6,0 - 9,0	6 a 9		6 a 9	-
Cor (UH)	≤ 10				-
Turbidez (NTU)	≤ 2				< 10
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1	1 a 2	5	5	-
DBO (mg/L)	≤ 10				-
Coliformes Fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis	20	30	10	< 500
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	100	200	10	-
Nitrato (mg/L)	≤ 10				-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20				-
Nitrito (mg/L)	≤ 1				-
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1				-
SST (mg/L)	≤ 5	30	30		-
SDT (mg/L)	≤ 500				-

4. Tecnologias de tratamento → reuso

Qualidade para diferentes formas de reuso

Parâmetro	Unidade	Esgoto bruto	Irrigação	Indústria Geral	Indústria Caldeira	Reuso indireto
DBO	mg/*l*	400	30-50	<10	<5	<30
DQO	mg/*l*	600	50-100	<50	<50	<50
SST	mg/*l*	400	30-100	<10	<5	<30
N-tot	mgN/*l*	50	OK	<5	<1	<5
NH_3-N	mgN/*l*	40	OK	<1	<1	<1
NO_3-N	mgN/*l*	-	OK	<3	<3	<3
P	mgP/*l*	8	OK	<1	<1	<1
pH	-	7-8	>7	6-9	7-9	7-9
CF	UFC/100ml	10^8	<1000	0	0	-
Ovos helm.	N^o/*l*	100	<1	0	0	-
Dureza	mg/*l*$CaCO_3$	-	-	OK	<20	-
Cl^-	mg/*l*	-	<500	OK	<100	<500

Níveis de tratamento e valores típicos dos principais parâmetros de qualidade nos efluentes

Nível de tratamento	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Coli. Termotol. (NMP/100ml)
Esgoto bruto	300	600	300	1.00E+07
Primário	120	420	180	1.00E+07
Anaeróbio	100	210	90	1.00E+05
Lagoas facultativas (2º)	80	150	30	1.00E+04
Secundário	20	85	20	1.00E+05
Filtração terciária	5	50	5	1.00E+04

Água p/ Irrigação → PRESERVAR NUTRIENTES
Águas p/ Indústria → REMOVER NUTRIENTES

A remoção de N e P de águas residuárias é complicada e cara .....

Novas ETE's brasileiras

Edital 1:
Processos anaeróbios

Objetivos:

- SS e DBO (ef. 70%)
- Minimizar lodos
- Maximizar biogás

Edital 2: Processos anaeróbios + aeróbios

Objetivos:

- SS e DBO (ef. > 90%)
- Gerenciar lodos aeróbios
- Maximizar biogás

Edital 3: (Processos anaeróbios + aeróbios) + desinfecção + reúso

Objetivos:

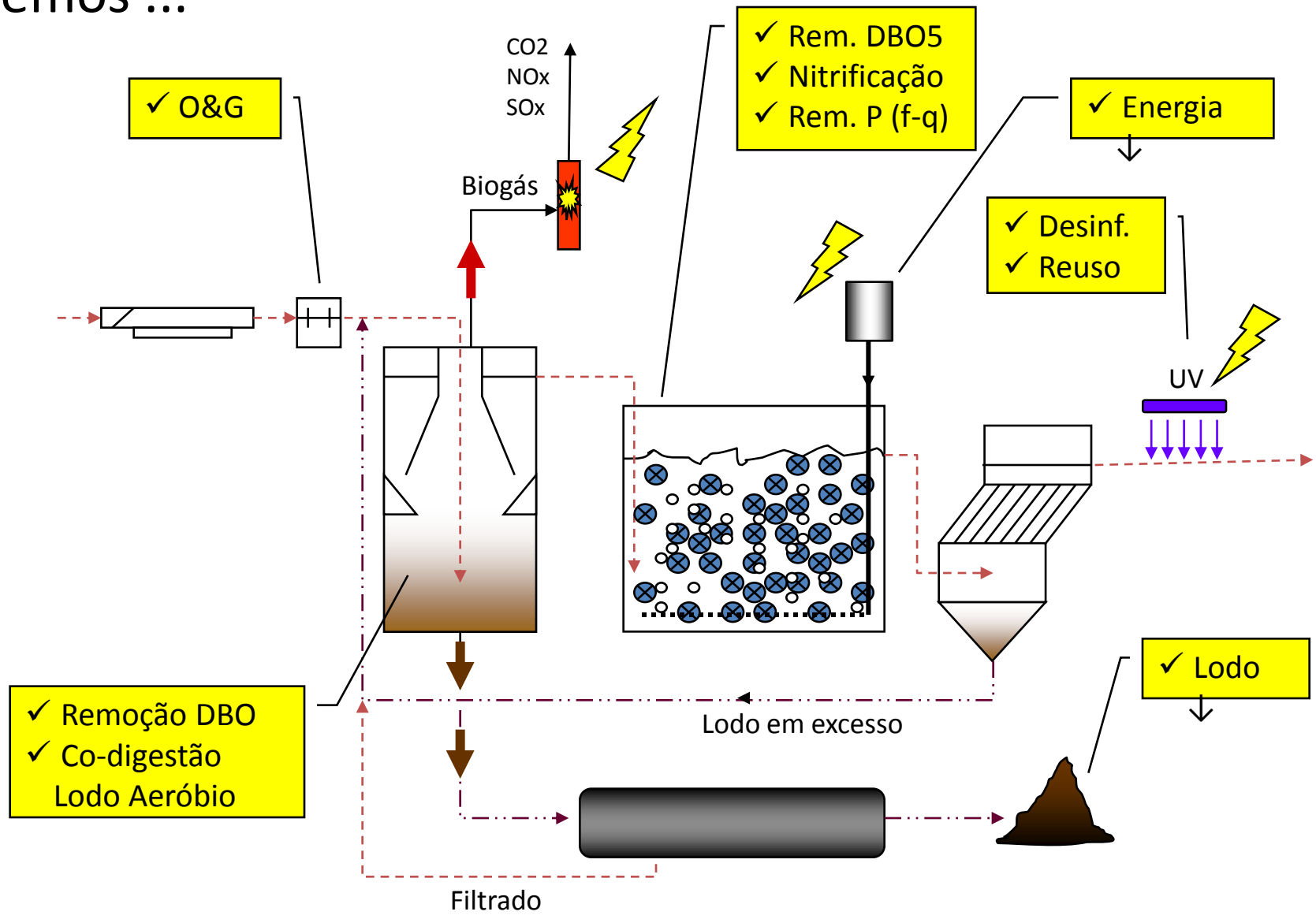
- SS e DBO (ef. > 90%)
- Inativação patógenos
- Reúso

Resultados alcançados

Novas ETEs anaeróbio – aeróbio

- Custos menores (I e O&M ~ 30 a 40%)
- Fluxogramas simplificados
- Processos otimizados (energia e lodo ~ - 40%)

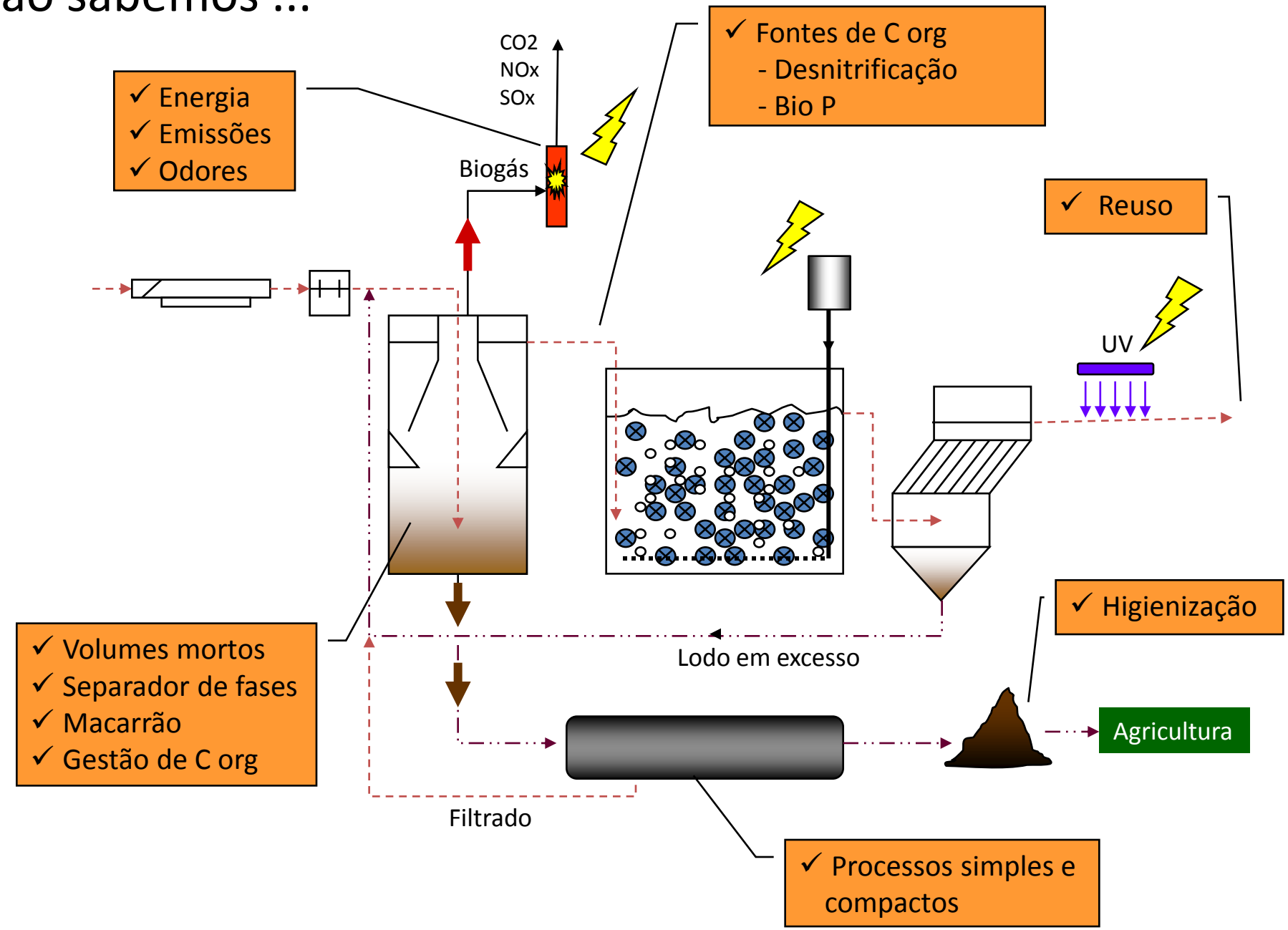
Sabemos ...


✓ O&G
CO2
NOx
SOx
Biogás
✓ Rem. DBO5
✓ Nitrificação
✓ Rem. P (f-q)
✓ Energia
✓ Desinf.
✓ Reuso
UV
✓ Remoção DBO
✓ Co-digestão
Lodo Aeróbio
Lodo em excesso
✓ Lodo
Filtrado

Padrão de efluente tratado

- ✓ SS < 30 mg/L
- ✓ DBO_5 < 30 mgO2/L
- ✓ DQO < 90 mg/L
- ✓ $N\text{-}NH_4^+$ < 5 mg/L (atenção!!!)
- ✓ P total < 2 mg/L (coagulantes metálicos)
- ✓ Coli termotolerantes < 1.000 NMP/100 mL
- ✓ Ovos de helmintos < 1,0 ovo viável/ L

Não sabemos ...


✓ Energia
✓ Emissões
✓ Odores
CO2
NOx
SOx
Biogás
✓ Fontes de C org
- Desnitrificação
- Bio P
✓ Reuso
UV
✓ Higienização
Lodo em excesso
Agricultura
✓ Volumes mortos
✓ Separador de fases
✓ Macarrão
✓ Gestão de C org
Filtrado
✓ Processos simples e compactos

5. Exemplos

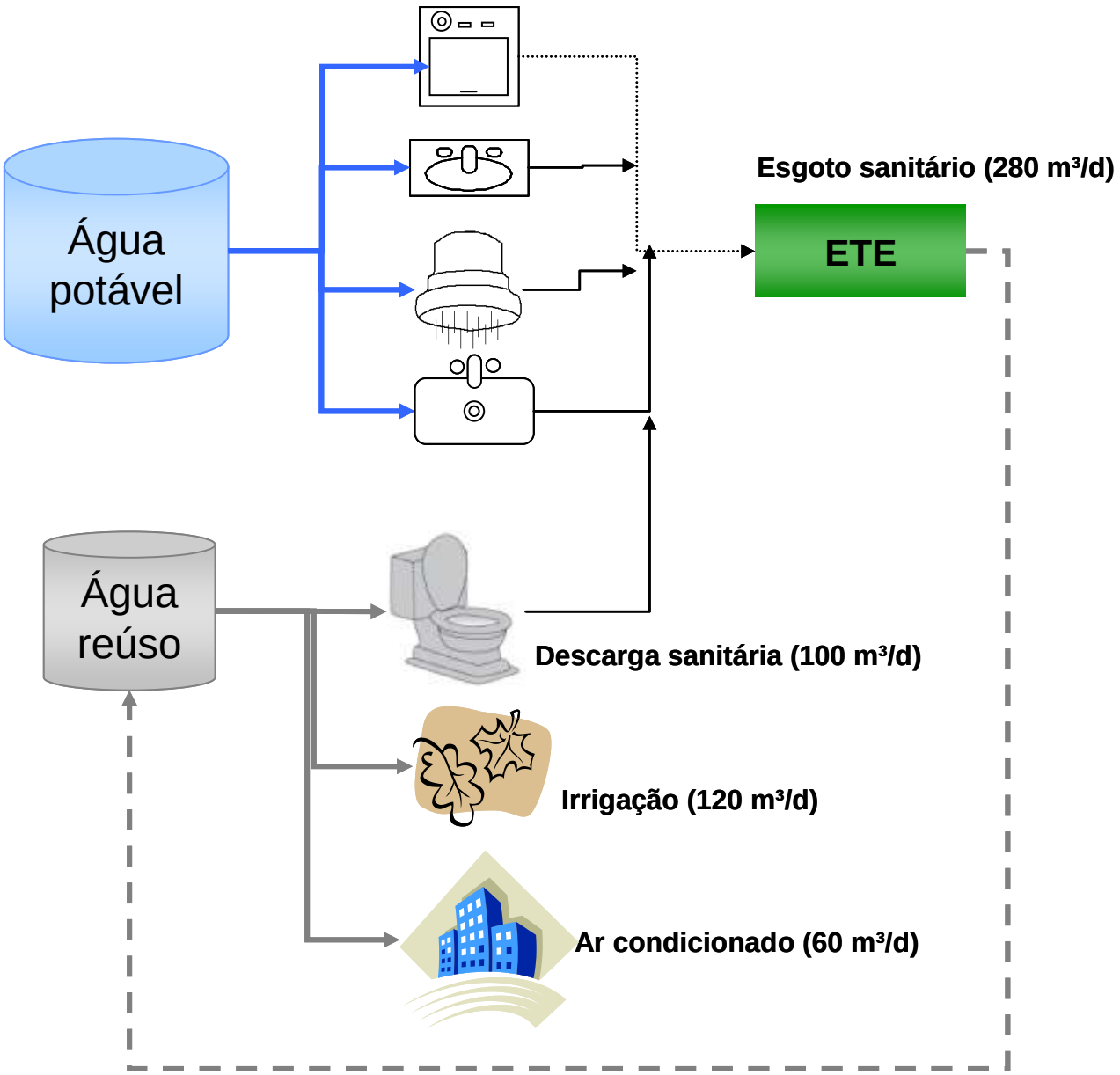
A Petrobras

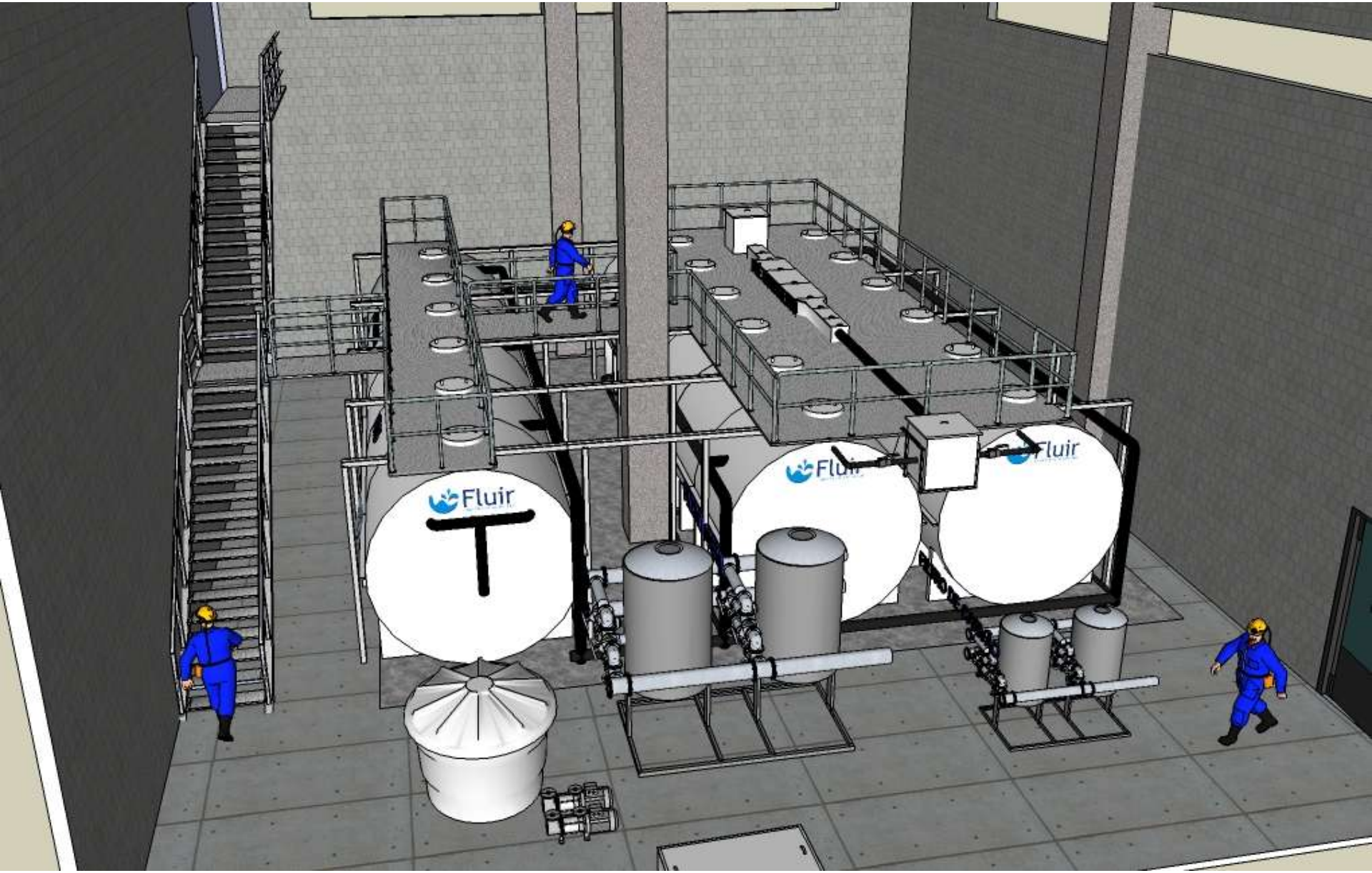
- Sede da PETROBRAS, Vitória/ES
-3.000 funcionários
- Reúso de esgoto sanitário (280 m3/d)

ODEBRECHT CAMARGO CORRÊA HOCHTIEF DO BRASIL

IMPLANTAÇÃO: 2008 e 2010

Consórcio OCCH


Água potável
Esgoto sanitário (280 m³/d)
ETE
Água reúso
Descarga sanitária (100 m³/d)
Irrigação (120 m³/d)
Ar condicionado (60 m³/d)


Fluir
T
Fluir
Fluir

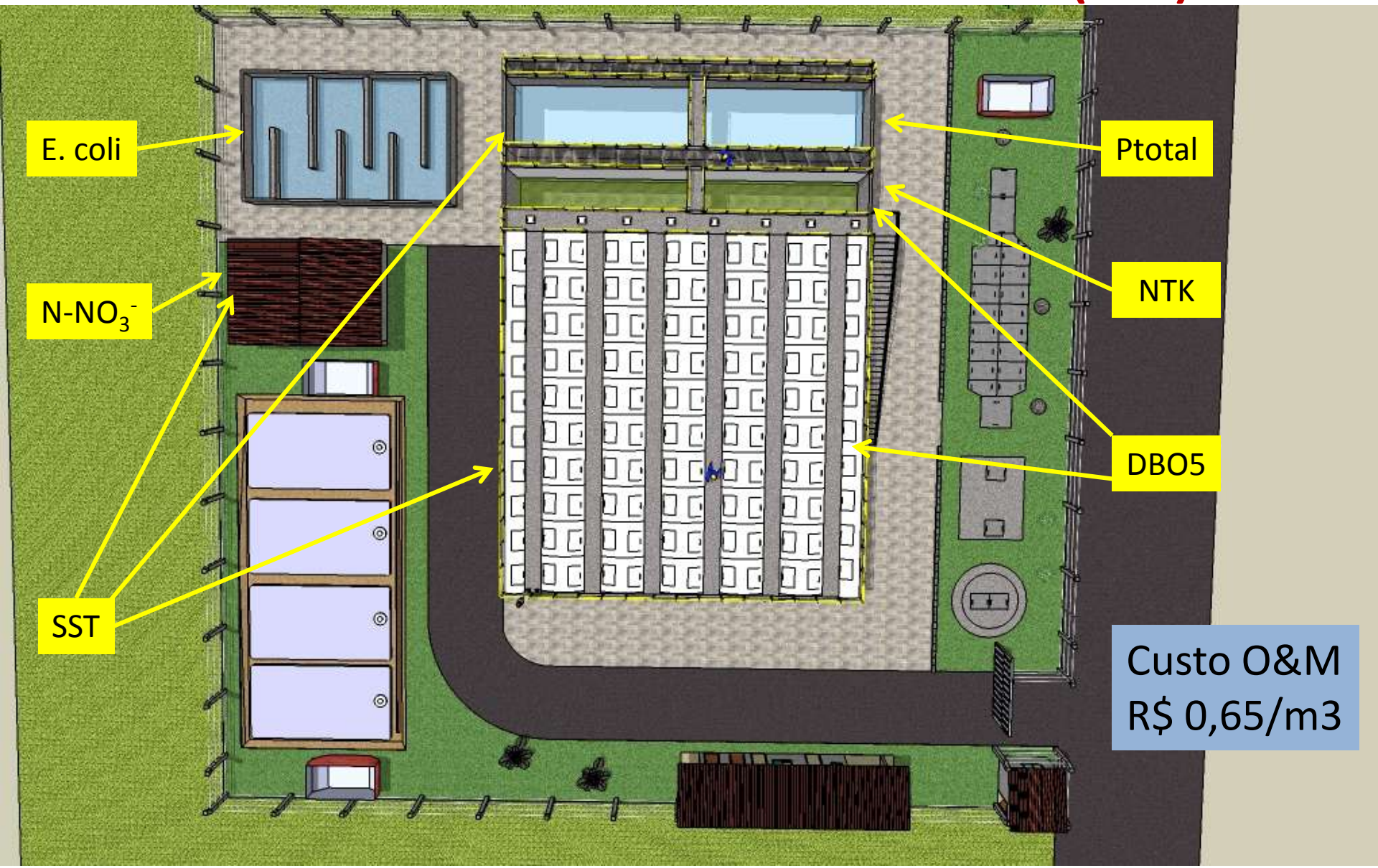
Implantação → R$ 620.000,00
Período de retorno → 4,5 anos

ETE de Fundão – Mirassol (SP)

Qmed = 58 L/s
SS < 20 mg/L, DBO_5 < 20 mg/L, Ntotal < 15 mg/L,
Ptotal < 2,0 mg/L e E.coli < 1,0 x 10^{-3} ufc/100mL

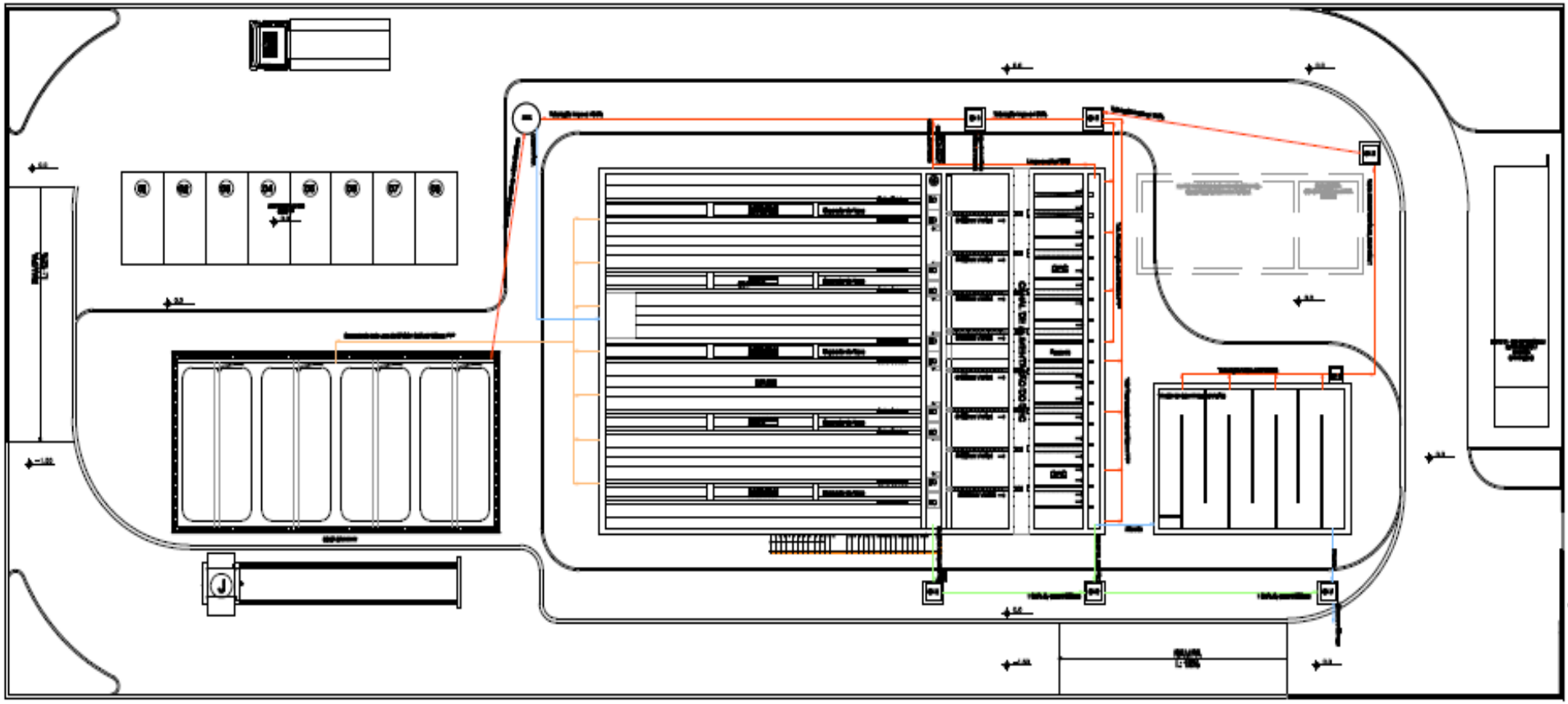
Implantação → R$ 170,00/hab

ETE de Fundão – Mirassol (SP)



ETE de Ajman – Emirados Árabes

Qmed = 600 L/s
SS < 20 mg/L, DBO5 < 20 mg/L, Ntotal < 15 mg/L,
Ptotal < 2,0 mg/L e E.coli < 1,0 x 10^{-3} ufc/100mL



ETE Ajman – Emirados Arabes

Qmed = 600 L/s
SS < 20 mg/L, DBO5 < 20 mg/L, Ntotal < 15 mg/L,
Ptotal < 2,0 mg/L e E.coli < 1,0 x 10^{-3} ufc/100mL

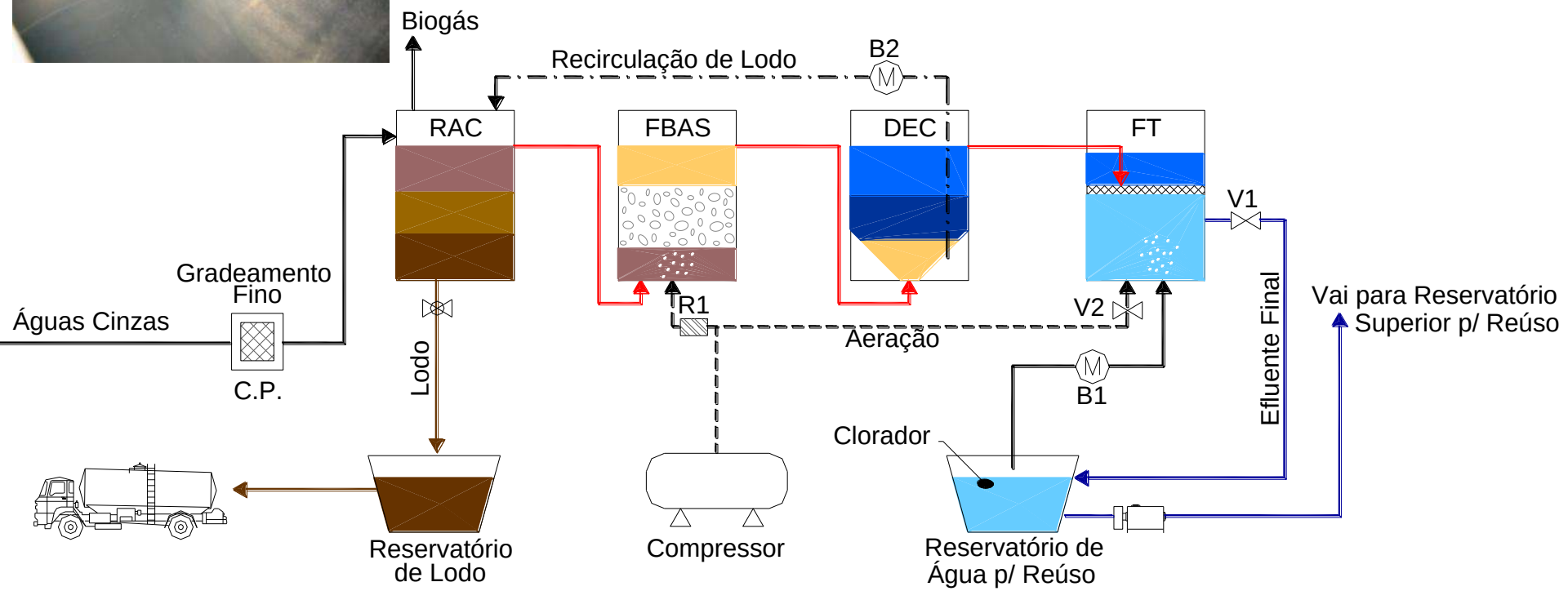
ETE Ajman – Emirados Arabes

Perspectivas

Águas cinzas receberão mais atenção, devido às suas características, devidos aos aspectos relacionados com a saúde coletiva...

Parâmetro	Unit	Águas cinzas		Esgoto
		Faixa	Média	
E. coli / Coli. Termot.	ufc/100 mL	10^1 - 10^7	-	10^6 - 10^8
SS	mg/L	2 - 1500	99	100 - 500
Turbidez	NTU	22 - >200	100	-
DBO_5	mg/L	6 - 620	430	100 - 500
NTK	mg/L	0.06 - 50	12	20 - 80
Fósforo Total	mg/L	0.04 - 42	15	5 - 30
pH		5.0 - 10.0	8.1	6.5 - 8.5

ETAC



ETAC - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

RAC - Reator Anaeróbio Compartimentado
FBAS - Filtro Biológico Aerado Submerso
DEC - Decantador Secundário
FT - Filtro Terciário
B1 - Bomba centrífuga auto-escorvante
B2 - Bomba centrífuga auto-escorvante

R1 - Rotâmetro
V1 - Válvula Solenóide
V2 - Válvula Solenóide
Recirculação de Lodo
Água de lavagem do FT
Fluxograma do Processo
Sistema de Aeração

- Universidade Petrobras
- Alto padrão de acabamento
- Cidade Nova – Centro/RJ
- Área: 52.425 m²
- 3 sub-solos e 7 andares
- Auto nível de automação predial

- IMPLANTAÇÃO: 2006 e 2008

Figura 1 – Vazão nominal 70m³/d

Figura 2 – Vista Geral da ETAC

Figura 3 – Automação (Turbidímetro on-line)

Figura 4 – Dupla Filtração

SulAmérica associada ao ING

- Empreendimento comercial
- Alto padrão de acabamento
- Ed. Torre Norte – Centro/RJ
- Área: 21.500 m²
- 2 sub-solos e 8 andares
- Auto nível de automação predial

- IMPLANTAÇÃO: 2008 e 2009

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANT
1	**Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC)**	**vazão**	**70 m³/d**
	Cx Distribuição + FBAS + DEC Secundário + Filtro de Tela + automação	cj	1
	Potência instalada	CV	3,5
2	**Estação de Tratamento de Água de Chuva**	**vazão**	**25m³/h**
	Decantação + Filtro de Tela + automação	cj	1
	Potência instalada	CV	1,5

Custo implantação:
R$ 200.000,00

ETAC Ed. Royal Blue / Vitória (ES)

- ✓ Sistema de Tratamento de Águas Cinzas para Reúso
- ✓ Praia do Canto (4 quartos, 2 suítes, 3 garagens, 170m², área de lazer completa)
- ✓ Capacidade: 260 pessoas

edifício ROYAL BLUE

1º Residencial com Estação Hidro-Ecológica no ES

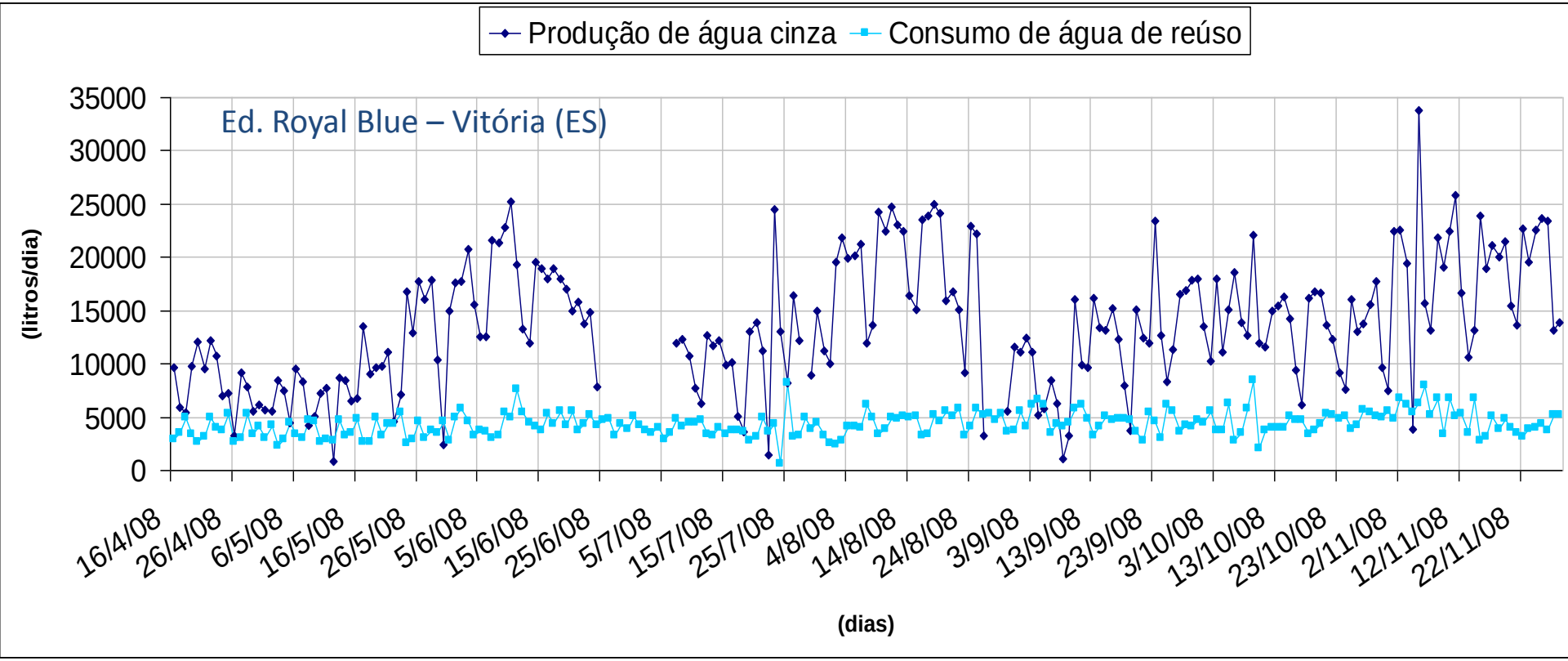
LORENGE CONSTRUTORA E INCORPORADORA

Há 24 Anos Construindo Imóveis Para Quem Valoriza a Qualidade

ETAC Ed. Royal Blue / Vitória (ES)

Consumo de água = 31.200 l/d Economia de 23% de água

Balanço hídrico do edifício: demanda e oferta de água segundo uso e qualidade

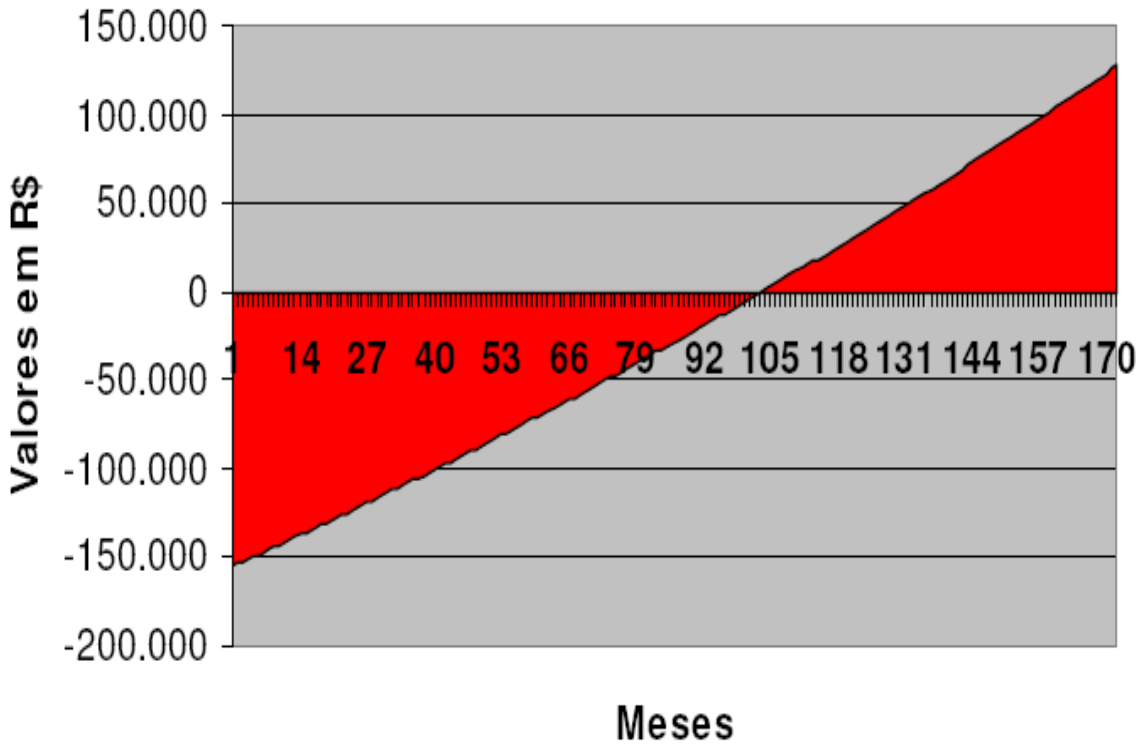


Água de reúso corresponde a aproximadamente

32% da água cinza gerada e a 22% da água consumida

Fonte: Valentina, 2009

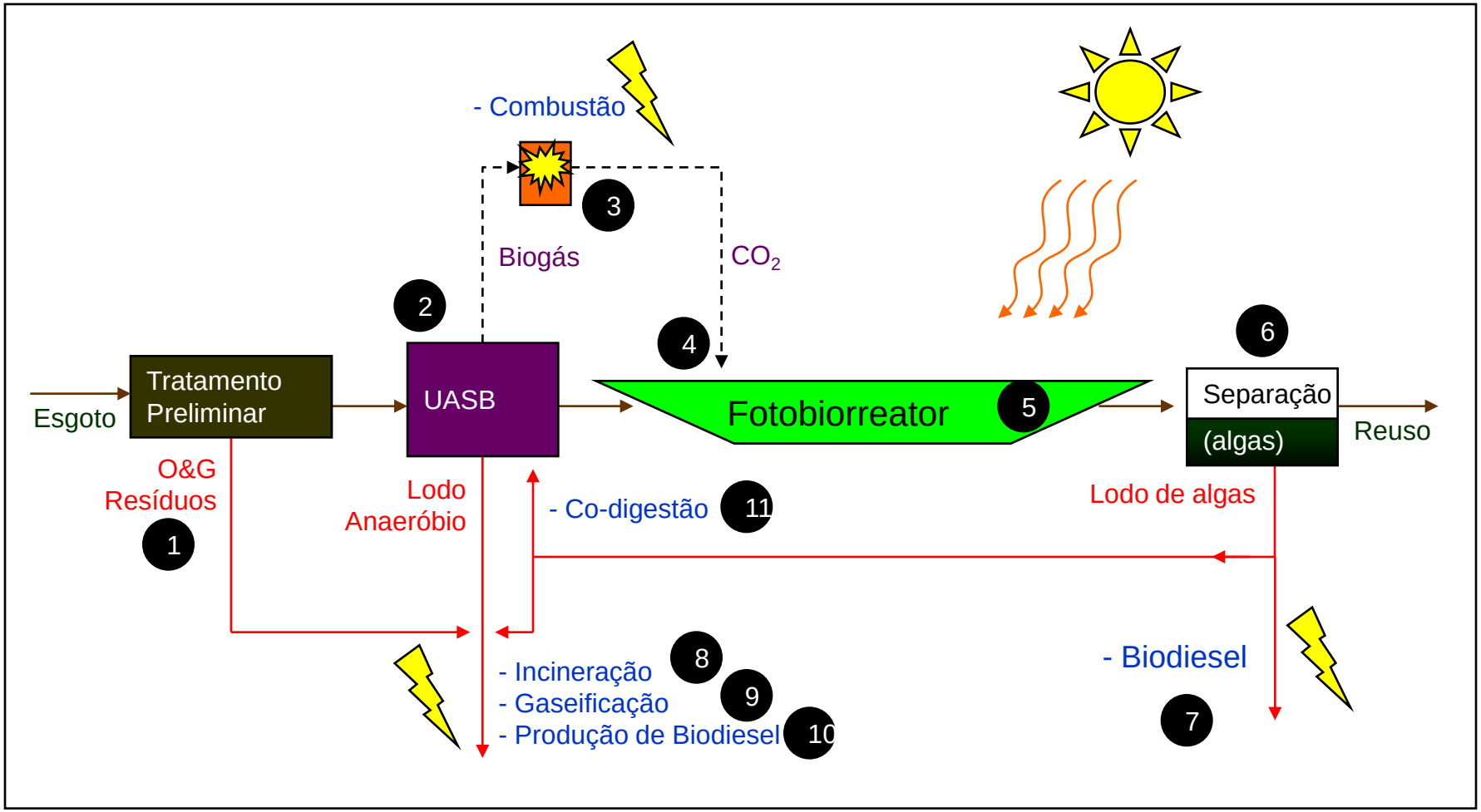
Águas cinzas: Viabilidade Econômica

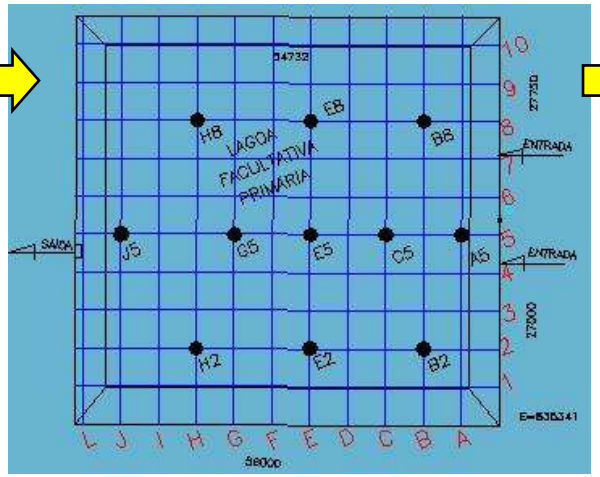


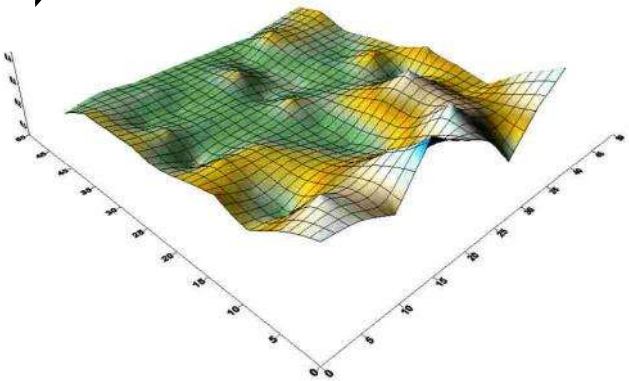
TEMPO DE RETORNO: 103 MESES OU 8,5 ANOS (com BDI)

- Poupança: 0,65% ao mês
- Inflação: 5% ao ano

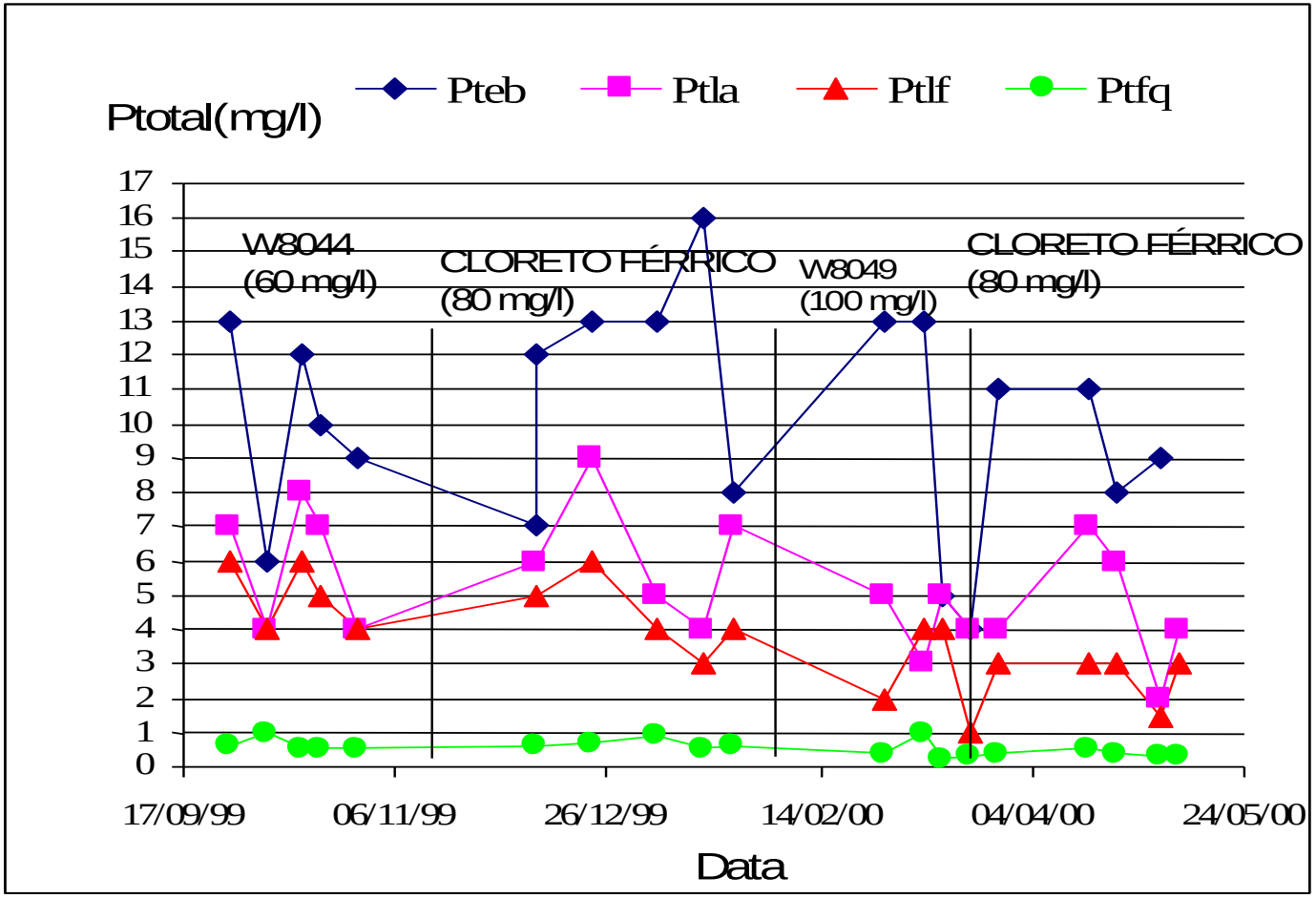
Perspectivas → Fábrica de Água de reuso + Energia




LAGOA
FACULTATIVA
PRIMARIA
ENTRADA
ENTRADA
SAIDA
H8
E8
B8
J5
G5
E5
C5
A5
H2
E2
B2
L J I H G F E D C B A
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1



Cloreto Férrico
GB
LA
LF
FQ


Ptotal(mg/l)
Pteb
Ptla
Ptlf
Ptfq
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
W8044
(60 mg/l)
CLORETO FÉRRICO
(80 mg/l)
W8049
(100 mg/l)
CLORETO FÉRRICO
(80 mg/l)
17/09/99
06/11/99
26/12/99
14/02/00
04/04/00
24/05/00
Data

Segurança energética?
Segurança hídrica?
Segurança alimentar?
23 05 2004 13:08

NEXUS

Água

Energia

Alimentos

Água

+

Energia

+

Alimentos

Bonn2011 Conference

The Water, Energy and Food Security Nexus

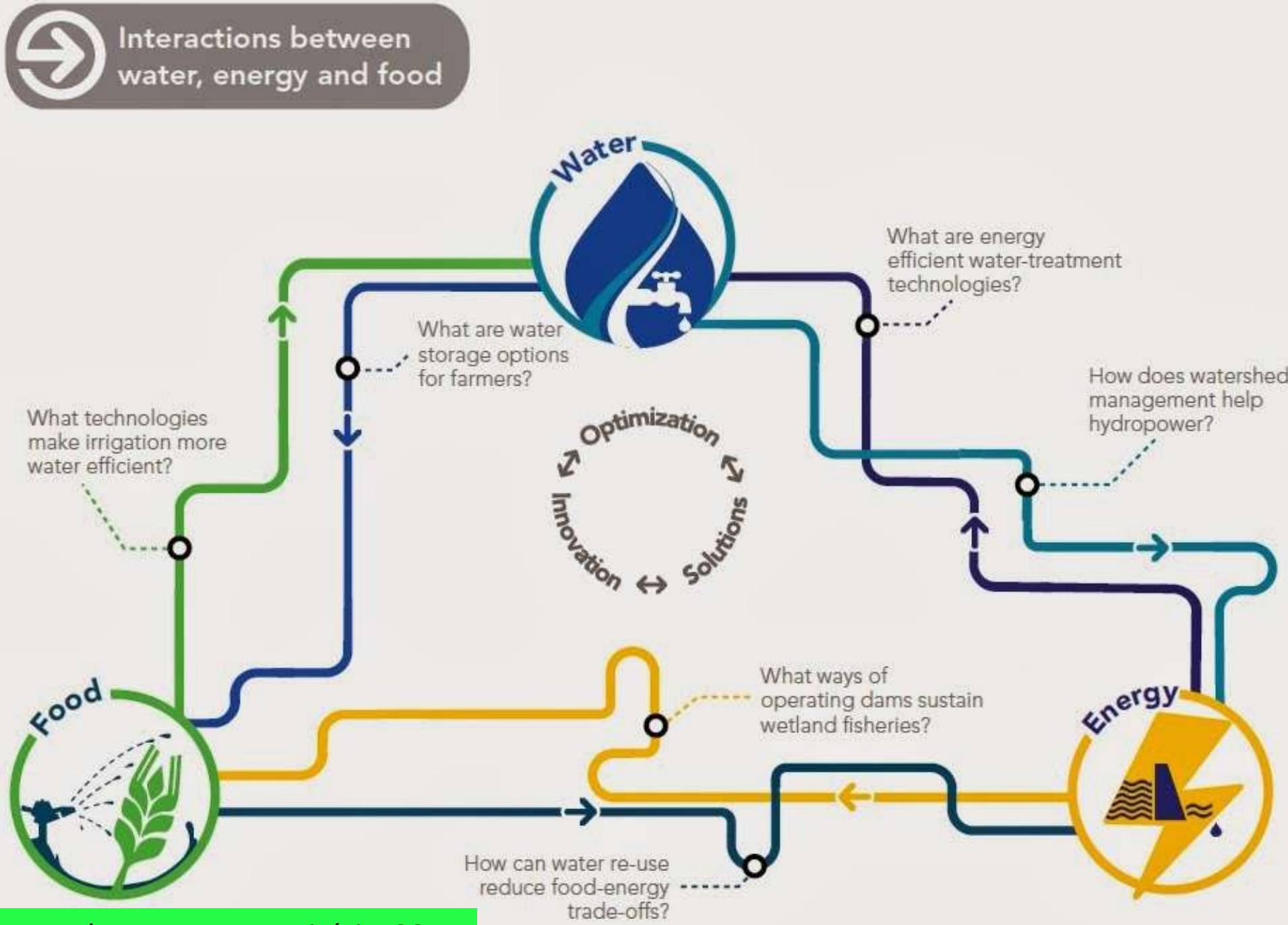
2011 → Conferência Internacional ***The Water Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy***.

NEXUS

food water energy

→ Como os três sistemas, energia, água e alimentos, se cruzam e se interconectam por ação humana.

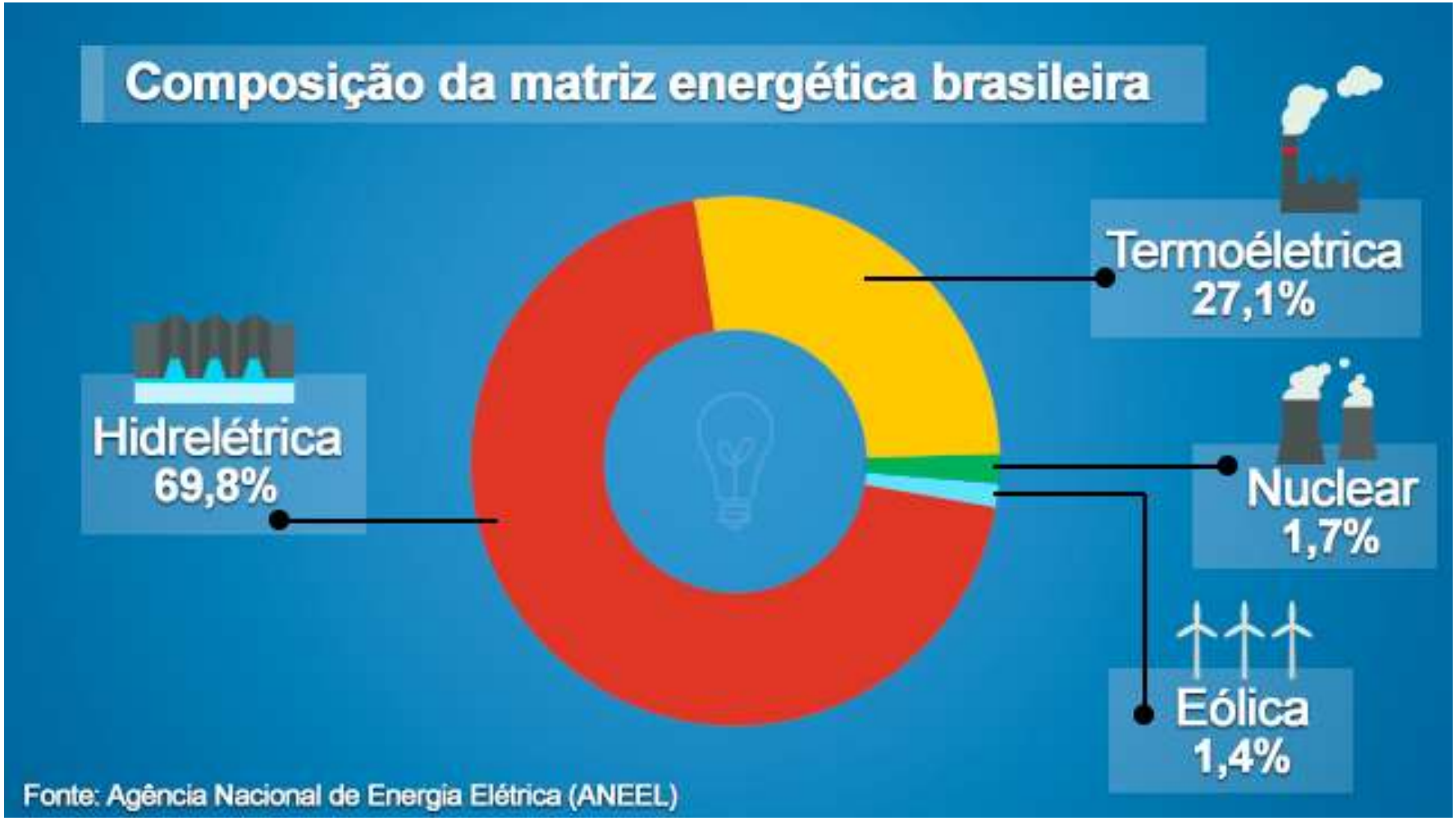
→ As ações relacionadas a um sistema podem afetar um ou ambos os sistemas.



Jornada URBENERE – Vitória, 2015

http://blogecoando.blogspot.com.br/2014/02/nexus-water-energy-and-food-security.html

Energia


Composição da matriz energética brasileira
Termoéletrica
27,1%
Hidrelétrica
69,8%
Nuclear
1,7%
Eólica
1,4%
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

Saneamento e Energia Elétrica

Consumo Anual de Energia Elétrica por Tipo de Sistema

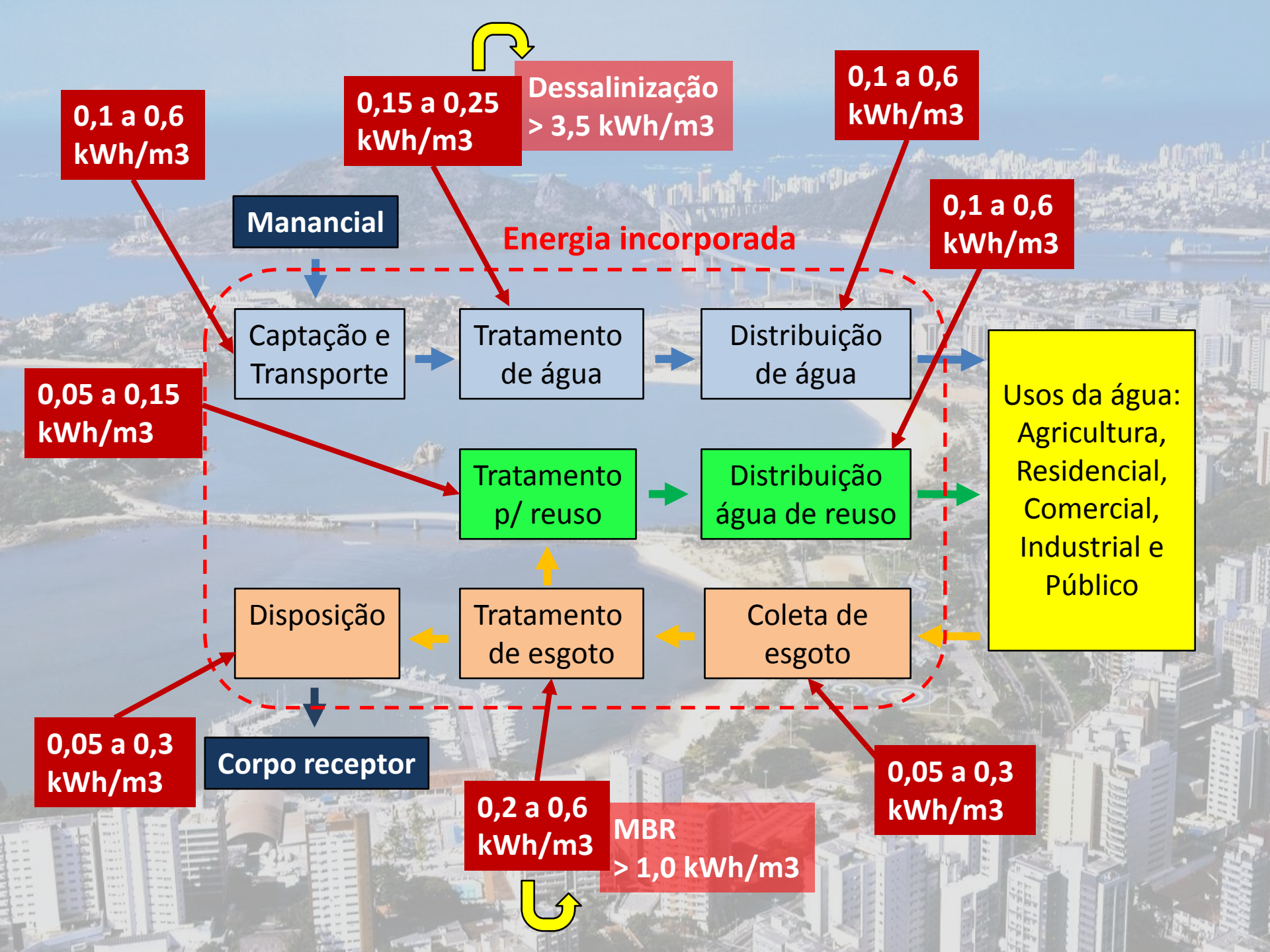
Sistemas de Água - TWh/ano	9,47
Sistemas de Esgotos - TWh/ano	1,12
Total - MWh/ano	10,59

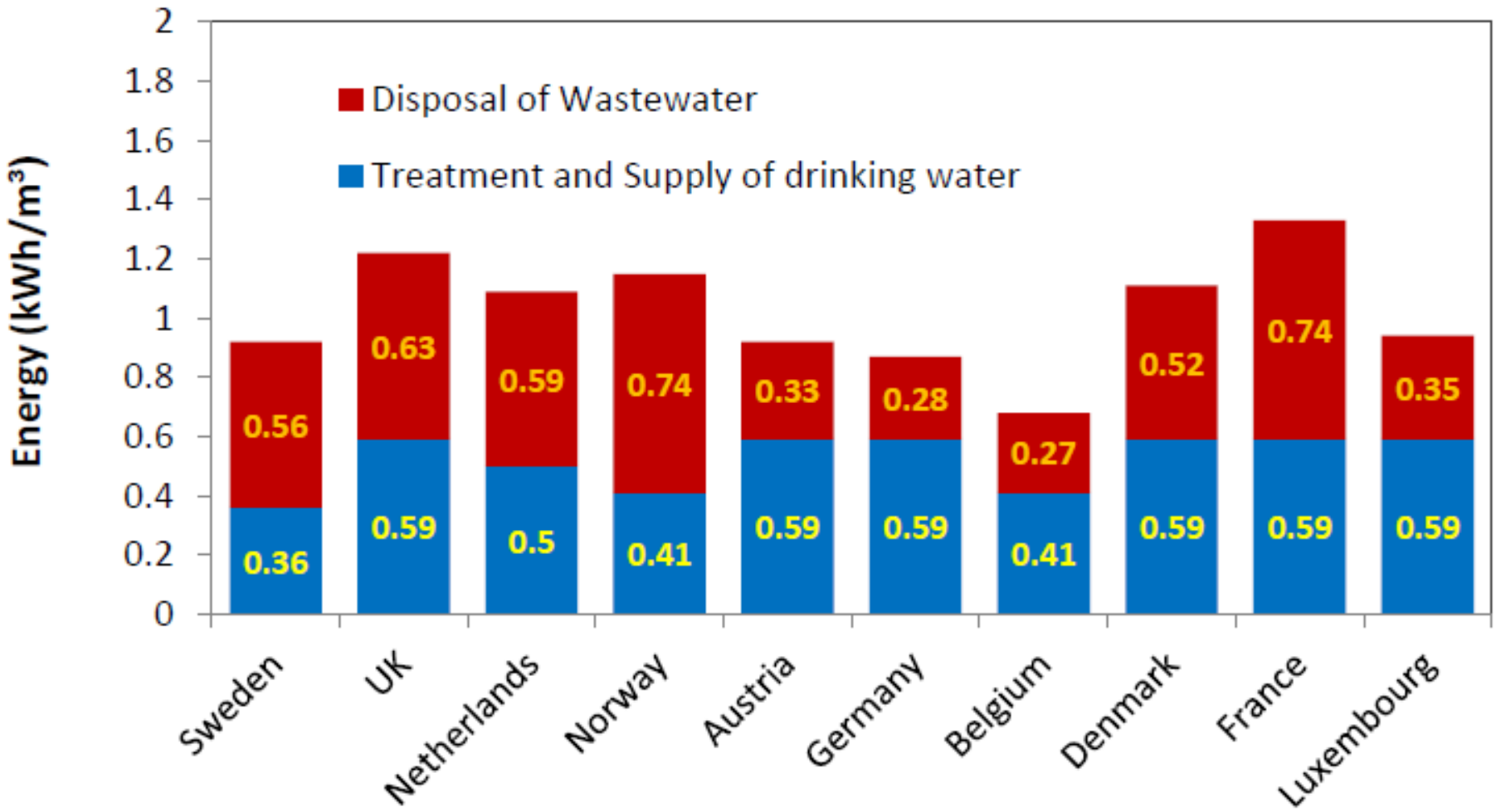
Fonte: SNIS, 2010, dados extrapolados a partir da amostra.

2,32% do consumo total do País (455,7 TWh em 2010, BEN 2011).

Obs.: No BEN o setor saneamento está considerado dentro do setor público. Com os dados do SNIS é possível separar a parcela de consumo que corresponde ao setor saneamento.

Airton S. Gomes

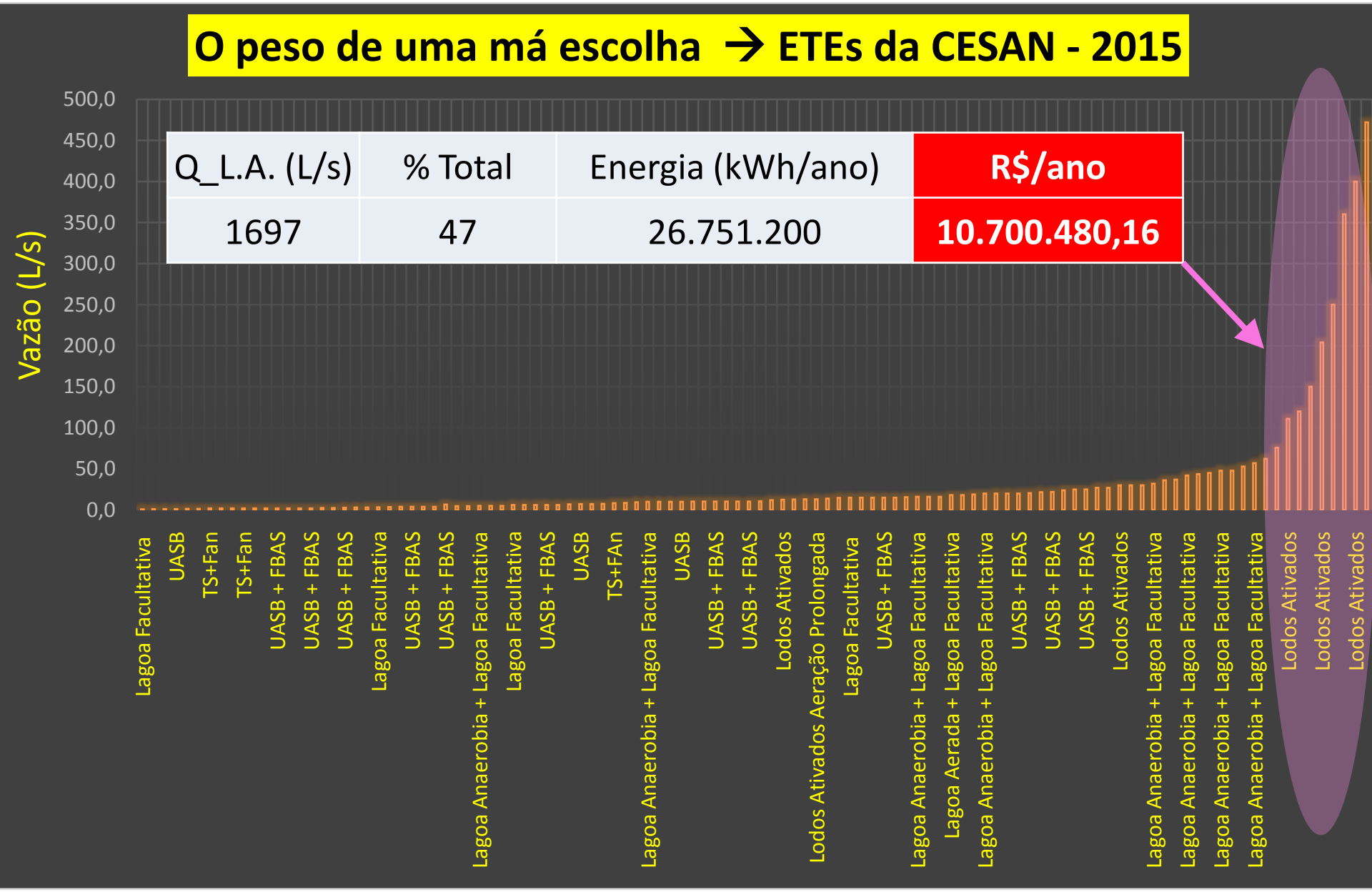

0,1 a 0,6 kWh/m3
0,15 a 0,25 kWh/m3
Dessalinização > 3,5 kWh/m3
0,1 a 0,6 kWh/m3
0,1 a 0,6 kWh/m3
Manancial
Energia incorporada
Captação e Transporte
Tratamento de água
Distribuição de água
Usos da água: Agricultura, Residencial, Comercial, Industrial e Público
0,05 a 0,15 kWh/m3
Tratamento p/ reuso
Distribuição água de reuso
Disposição
Tratamento de esgoto
Coleta de esgoto
0,05 a 0,3 kWh/m3
Corpo receptor
0,2 a 0,6 kWh/m3
MBR > 1,0 kWh/m3
0,05 a 0,3 kWh/m3



ÁGUA:
0,36 a 0,59kWh/m3

ESGOTO:
0,27 a 0,74 kWh/m3

O peso de uma má escolha → ETEs da CESAN - 2015



Q_L.A. (L/s)	% Total	Energia (kWh/ano)	R$/ano
1697	47	26.751.200	10.700.480,16

Consumo energético ~ 0,5 kWh/m3

Consumo energético ~ 0,5 kWh/m3

Concluindo ……

- O reuso urbano terá interesse aumentado
- Diretivas se transformarão em legislação
- Critérios definidos juntamente com os níveis e os processos de tratamento
- Tecnologia brasileira → viabilidade técnica e econômica → ainda em progresso ....
- Os poluentes emergentes serão cada vez mais considerados
- Marco legal insuficiente no Brasil

Ricardo Franci Gonçalves

franci@npd.ufes.br
fluir@fluir.eng.br

fones: (027)3244 7443, 3244 7535 e 9293 9991

Sugestão para leitura:

www.finep.gov.br → Programa PROSAB → Produtos

Livro: Uso Racional da água nas edificações