



**COMO MITIGAR OS
RISCOS DA TRÍPLICE
CRISE PLANETÁRIA**

Ações na área do
saneamento básico

PAULO FERREIRA

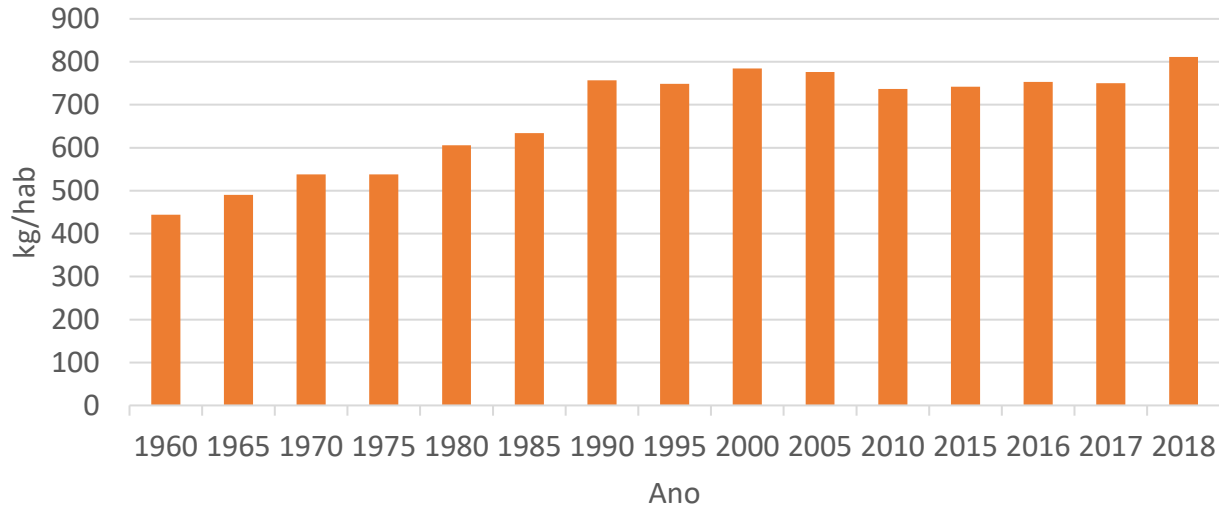
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Países que não reduziram significativamente a geração

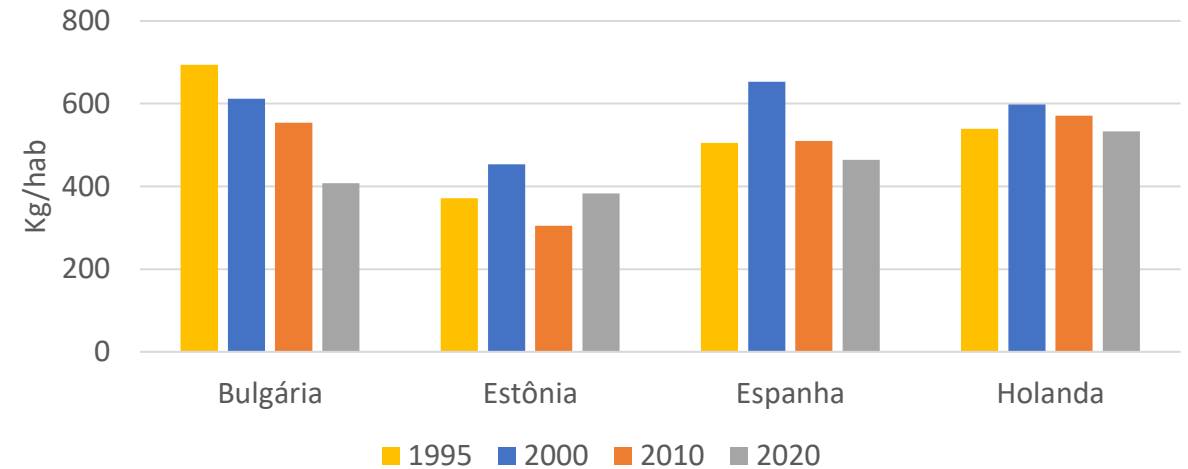
Estados Unidos da América



Fonte: USEPA (<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>)

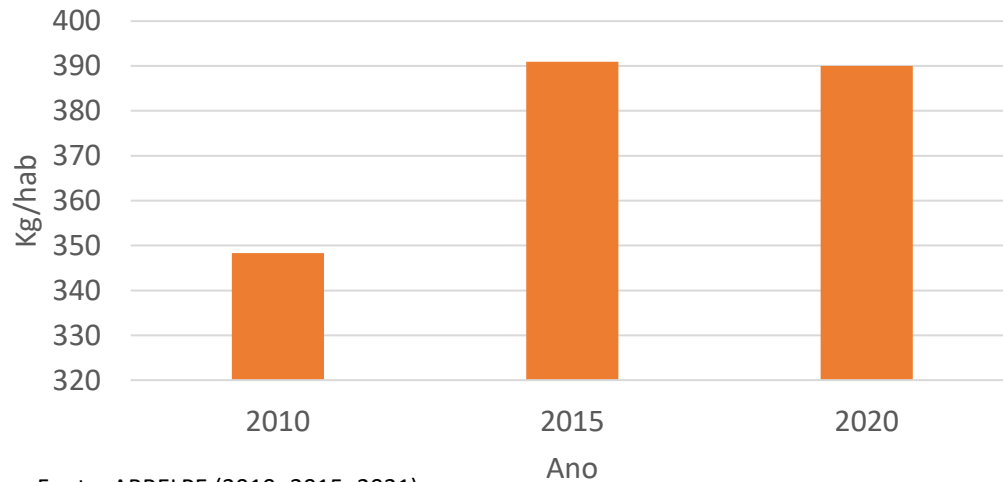
Países que reduziram significativamente a geração

Europa



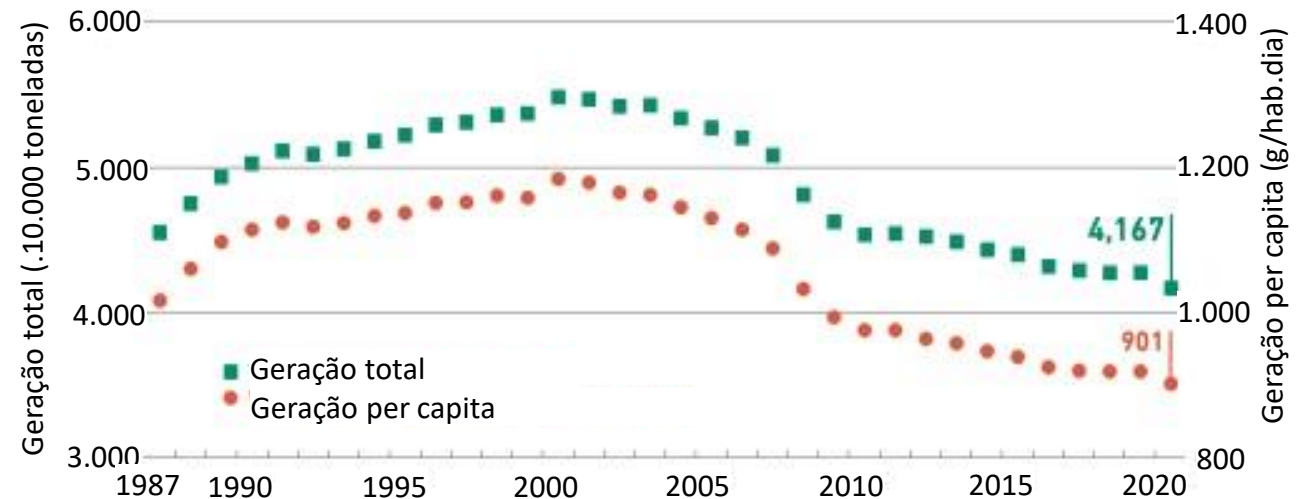
Fonte: EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc034/default/table?lang=en)

Brasil



Fonte: ABRELPE (2010, 2015, 2021)

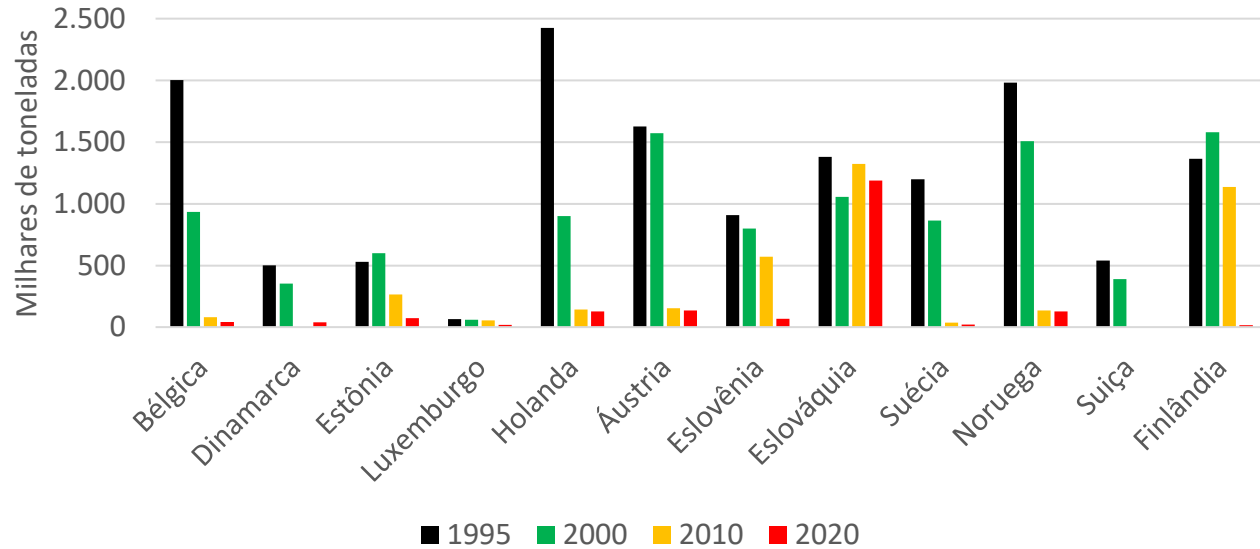
Japão



Fonte: JAPÃO (2022)

Europa

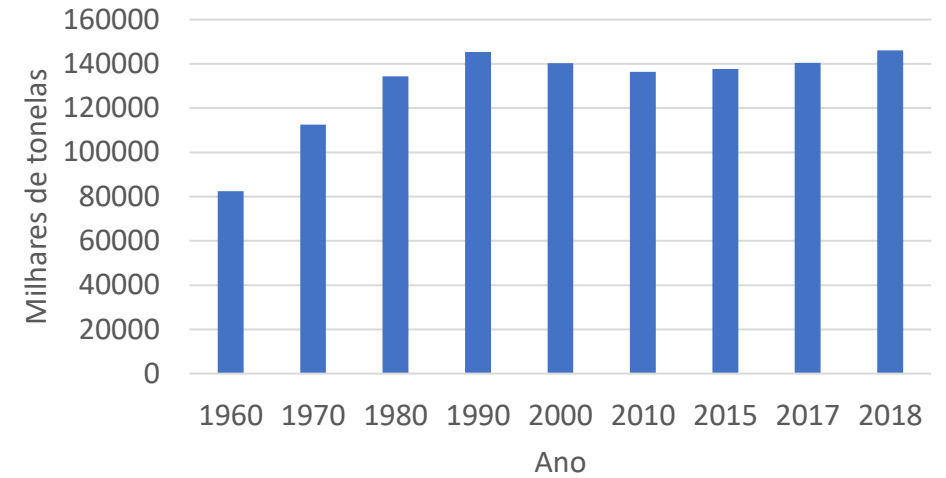
Quantidade de resíduos dispostos em aterro sanitário



Fonte: EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en)

Estados Unidos

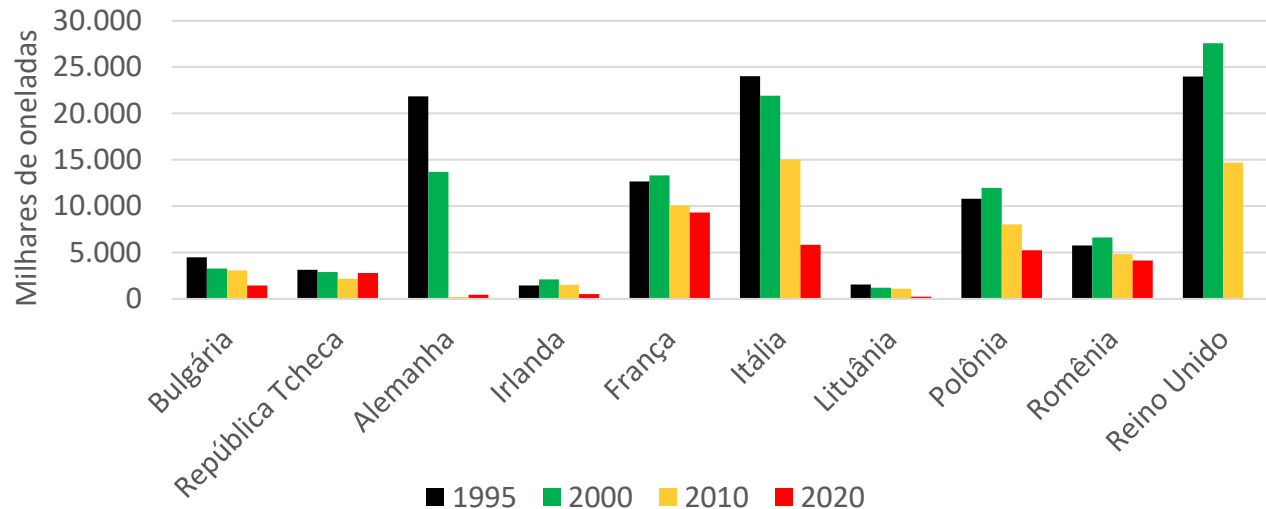
Quantidade de resíduos dispostos em aterro



Fonte: USEPA (<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>)

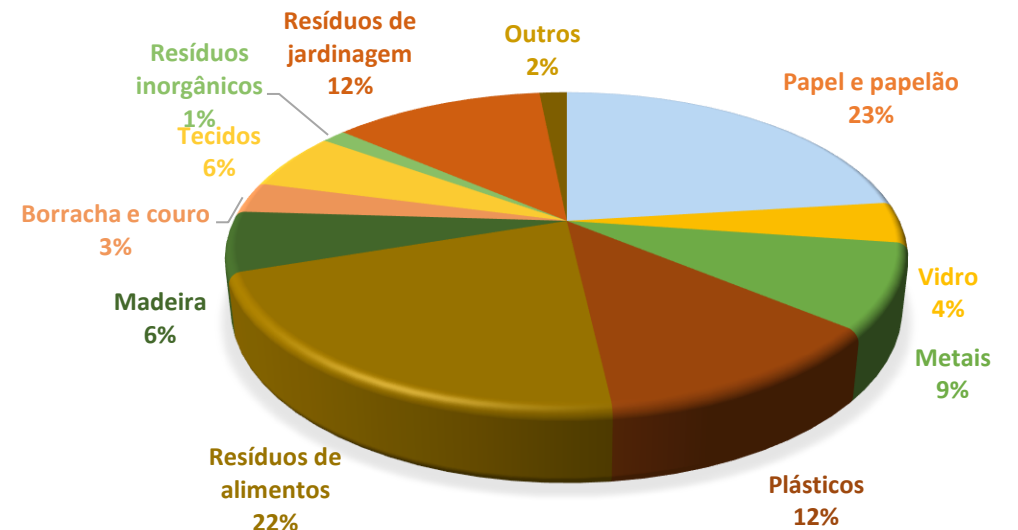
Europa

Quantidade de resíduos dispostos em aterro



Fonte: EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en)

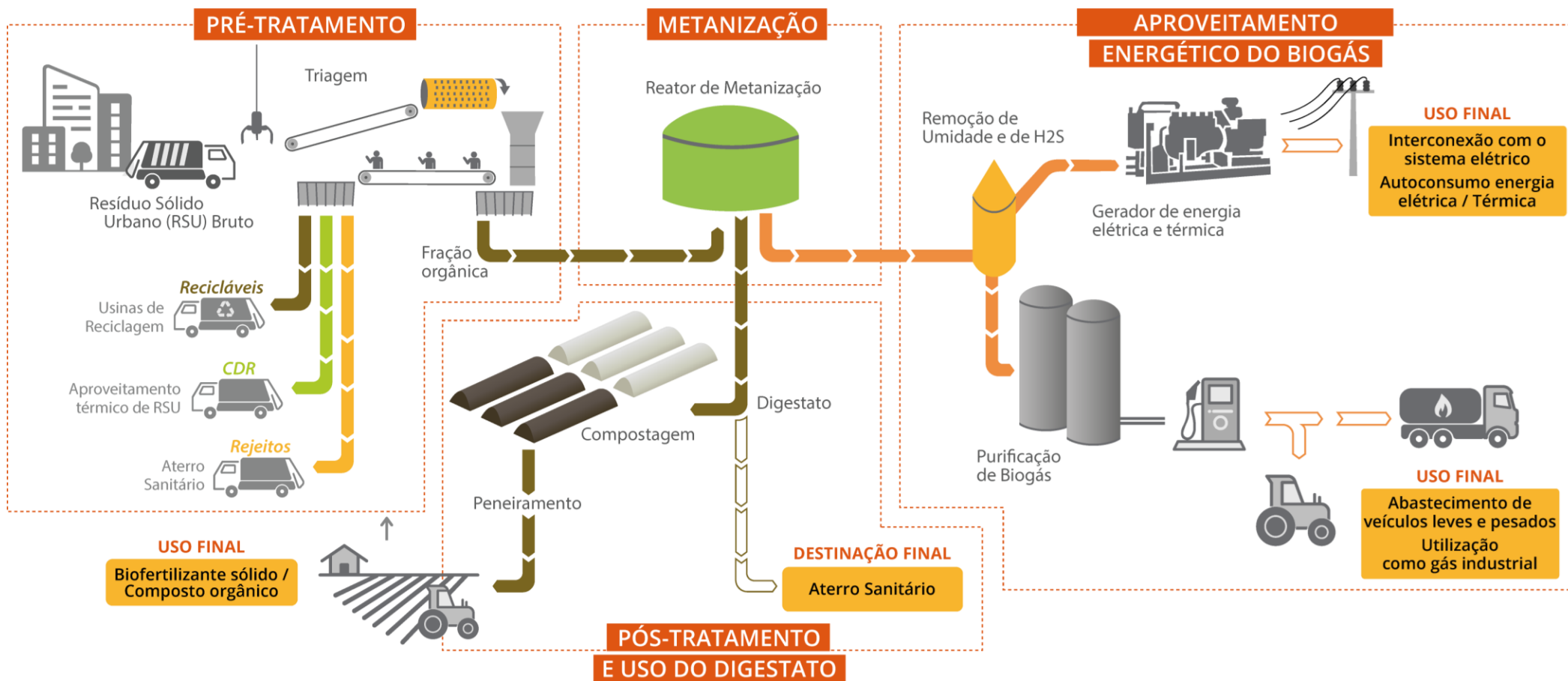
Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados nos EUA



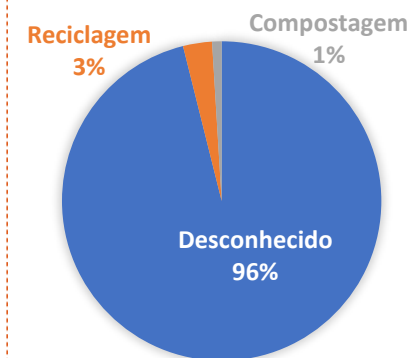
Fonte: USEPA (<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>)

TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO + ATERRO DE REJEITOS

Produção de materiais (reciclagem), energia e condicionador de solo

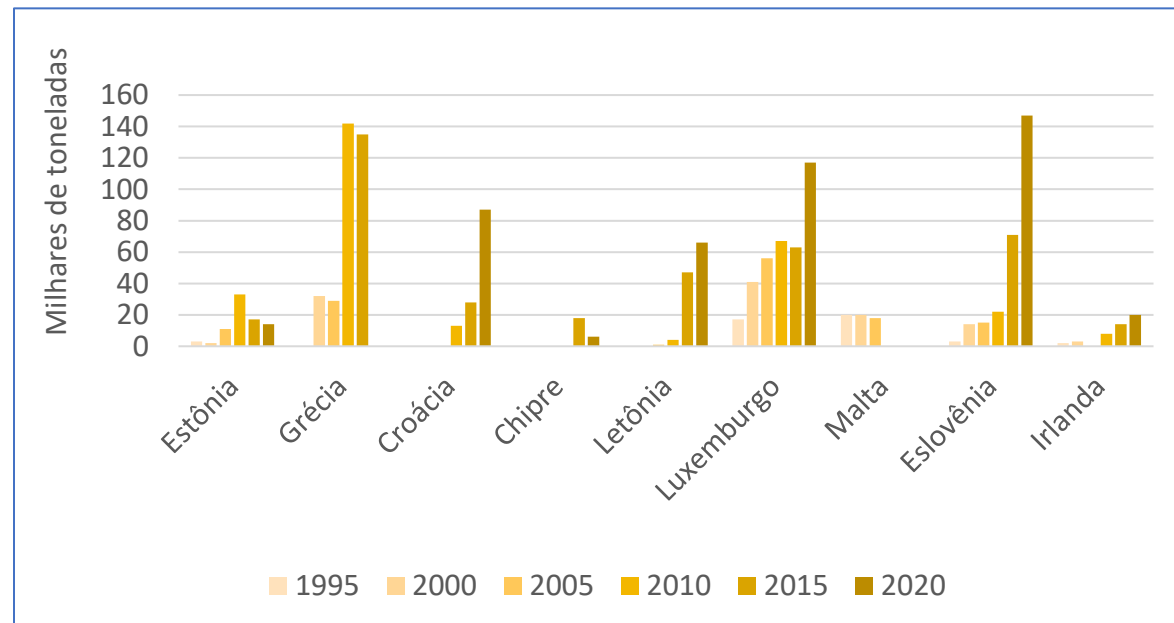
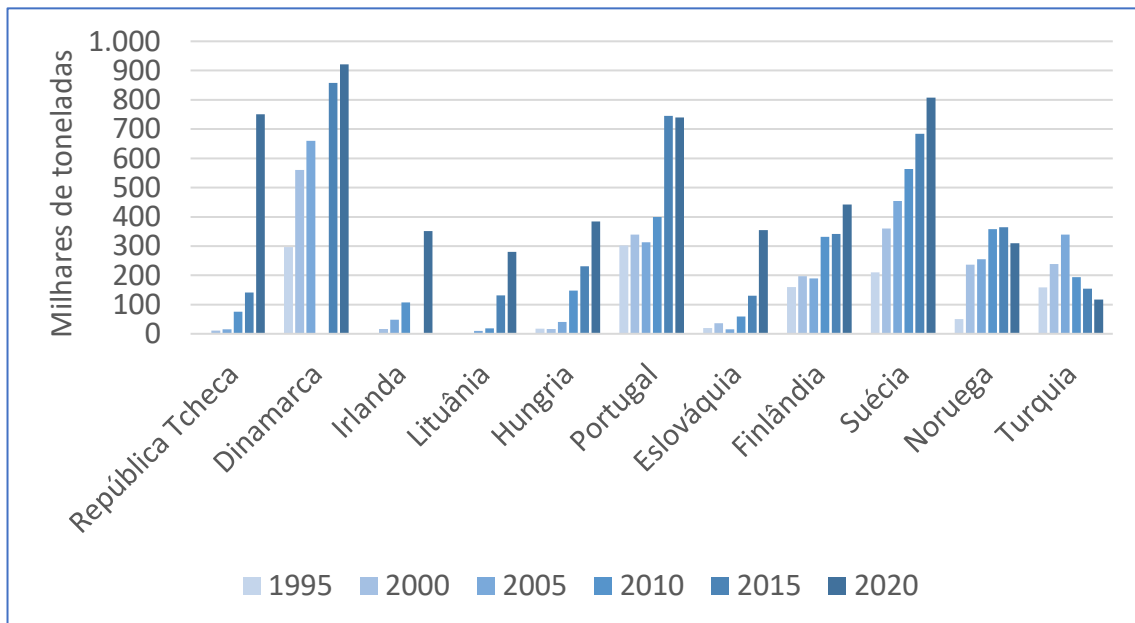
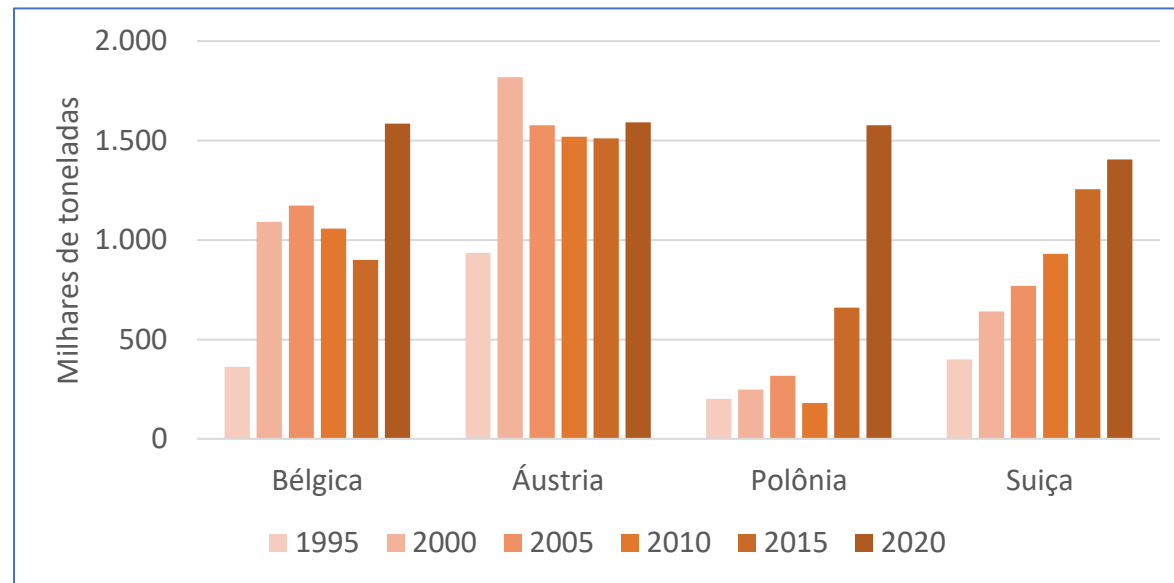
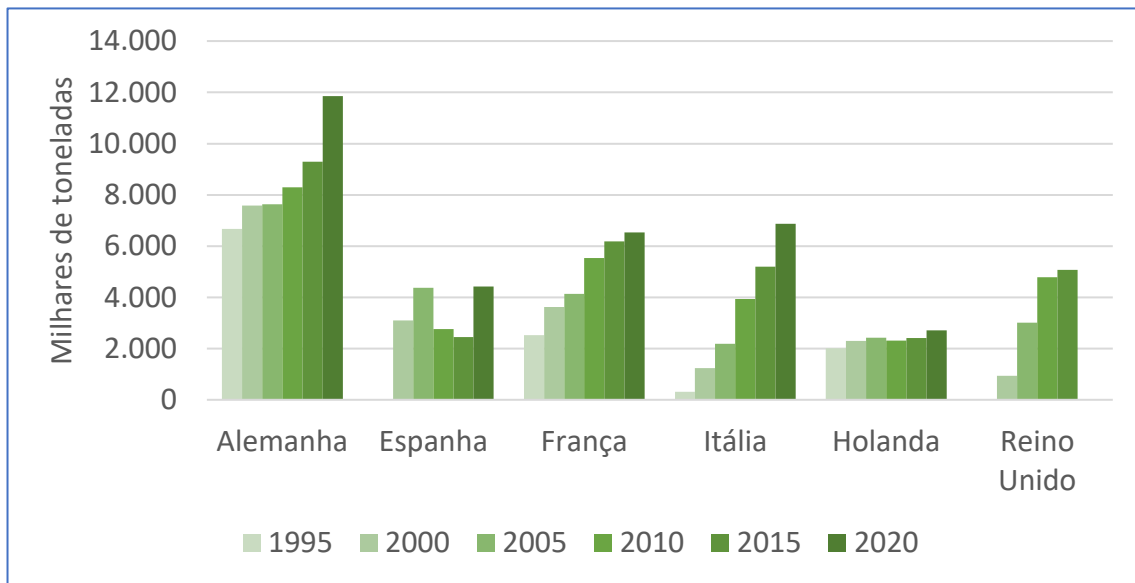


BRASIL



Fonte: SINIR
<https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/>

EVOLUÇÃO DO TRATAMENTO BIOLÓGICO (DIGESTÃO ANAERÓBIA E COMPOSTAGEM) NA EUROPA



Fonte: EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/enps_env_wastrt/default/table?lang=en)



ABASTECIMENTO DE ÁGUA

ETA como UNIDADE RECUPERADORA DE RECURSOS (URR)

Processo/operação unitária	Produtos químicos utilizados	Resíduo	Potenciais recursos que podem ser recuperados
Aeração de água subterrânea	N.A.	Lodo de ferro	Óxidos e hidróxidos de ferro
Coagulação, floculação, decantação	Sulfato de alumínio	Lodo de alumínio	Alumínio; Ácidos orgânicos
	Cloreto férrico; Sulfato de ferro	Lodo de ferro	Ferro; Ácidos orgânicos
	Hidróxido de cálcio; Carbonato de sódio; Soda cáustica	Lodo do abrandamento	CaCO ₃ , Mg(OH) ₂ ; Ácidos orgânicos
Filtração rápida (areia, carvão ativado, antracito)	N.A.	Água de lavagem dos filtros	Alumínio, ferro Manganês, compostos orgânicos Meio filtrante (p. ex. carvão ativado)
Filtração em membranas de baixa pressão (microfiltração/ultrafiltração)	N.A.	Água de lavagem dos filtros	Ácidos orgânicos
	Ácido cítrico Soda cáustica Cloro	Solução de limpeza	
Filtração em membranas de alta pressão (nanofiltração/osmose reversa)	Anti-incrustante Antivegetativo (antifouling) bissulfito de sódio	concentrado	Bissulfato de sódio Fosfonatos
	Ácido cítrico Soda cáustica	Solução de limpeza	
Troca iônica	Sais, bicarbonato de sódio e soda cáustica	Solução regeneradora	Ácidos orgânicos (húmicos e fúlvicos) Na ⁺ , NO ³⁻ , Cl ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺

^a Matéria orgânica é a principal causa de cor e turbidez

N.A. – não aplicável

Uso de resíduo de ETA como material suplementar na fabricação de cimento para redução dos gases de efeito estufa

Experiência:

- O calcário, que corresponde a 70 a 80% do total de matéria prima utilizada na produção do cimento, contém baixos teores de Al, Si e Fe. Há a necessidade de materiais suplementares, entre eles, o RETA
- Alemanha, na Inglaterra (Lafarge Cement UK) , Estados Unidos (Metropolitan Water na Califórnia e a Tulsa em Oklahoma) e no Japão (p. ex. Taiheiyo Cement Corporation)
- Menos de 20% RETA

Benefícios

- tem alto teor de sólidos;
- a composição química é semelhante aos materiais utilizados na fabricação de cimento
- RETAs de alumínio podem formar hidratos de cálcio e de alumínio, que tem potencial para prevenir a corrosão de estruturas de aço, devido ao cloro
- Aumento da resistência à compressão do concreto, que foi produzido com cimento no qual foi incorporado RETA na clinquerização (DAHOU *et al.*, 2018)

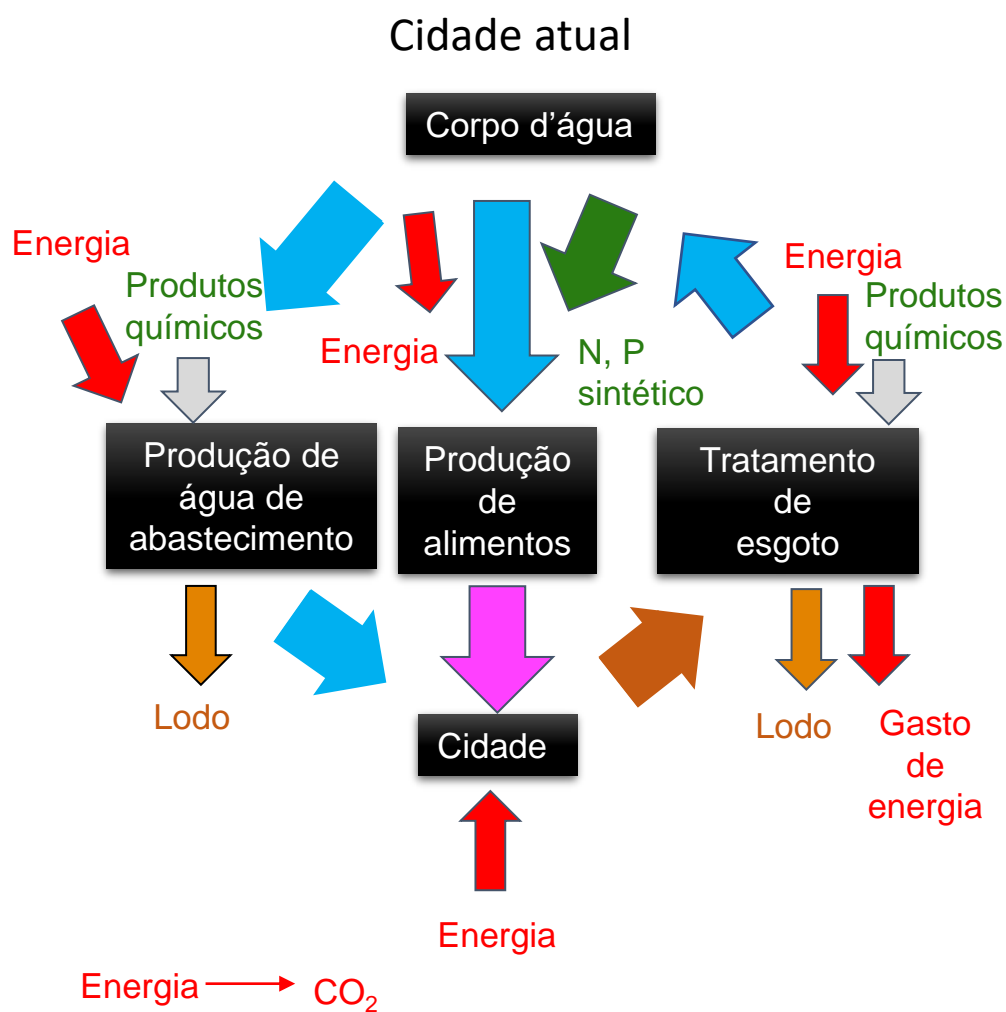
Desvantagens

- Cloro acima de 100 ppm no RETA corrói forno de cimento;
- presença de cloretos, sulfatos, sódio, permanganato de potássio, carvão ativado, metais pesados podem ocasionar problemas no processo;
- risco de geração de hidrogênio;
- expansão de alumínio;
- elevado teor de água;
- produção de óxidos de ferro provenientes de RETA férrico pode produzir uma cor indesejável ao produto final.



ESGOTAMENTO SANITÁRIO

ETE como UNIDADE RECUPERADORA DE RECURSOS (NUTRIENTES, MATÉRIA ORGÂNICA, ÁGUA)

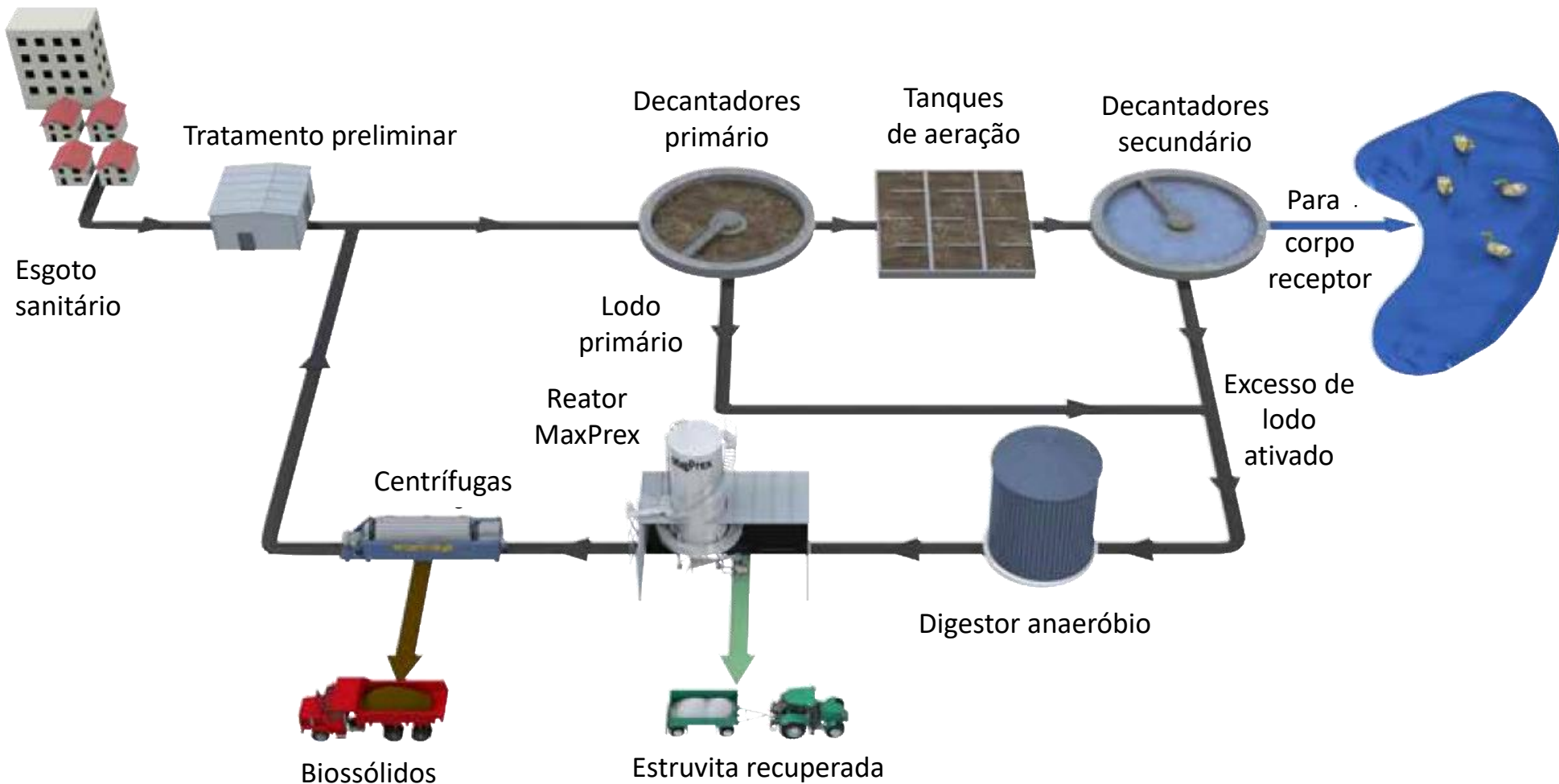


Recuperação de nutrientes do esgoto

AirPrex[®]/MagPrex[®]

Centrisys/CNP

- Reduz o consumo de polímero em até 30%
- Reduz os custos de disposição do lodo em até 20%
- Reduz a carga reciclada de fósforo em até 90%
- Reduz os custos de manutenção em até 50%
- Aumenta a receita de fertilizante em até 20%



Recuperação de nutrientes do esgoto como fonte de renda para população de extrema pobreza



Produção de estruvita a partir da urina no Nepal

Fonte: MEYER, R.; ETTER, B.; UDERT, K., 2011



Concentração de carbono do esgoto para geração de energia

Ulu Pandan Water Reclamation Plant, Singapura (escala piloto)



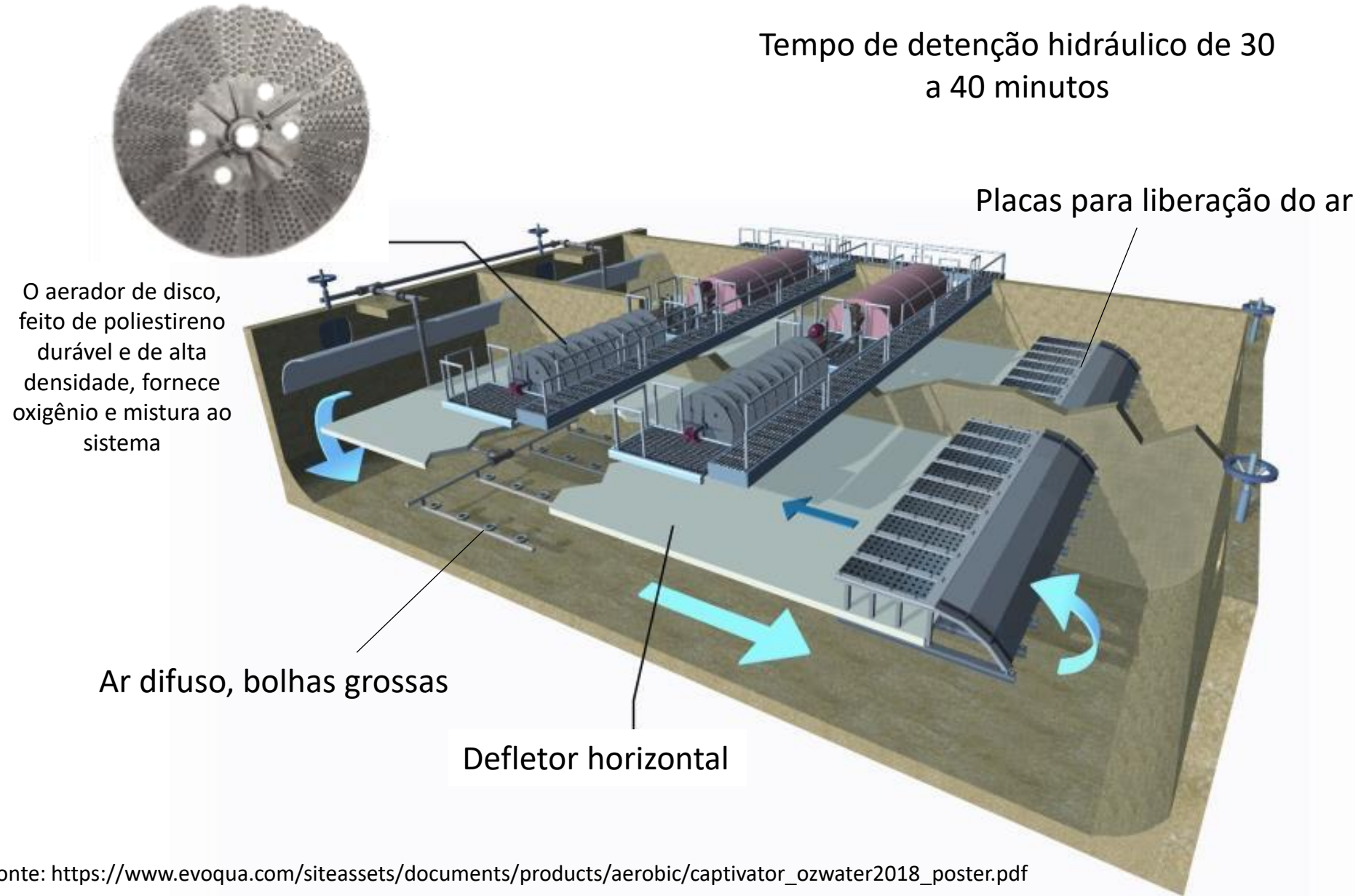
Agua Nueva Water Reclamation Facility, Arizona (escala real)
Startup: janeiro de 2014. Capacidade: 1,4 m³/s



Fonte: https://www.evoqua.com/siteassets/documents/products/aerobic/captivator_ozwater2018_poster.pdf

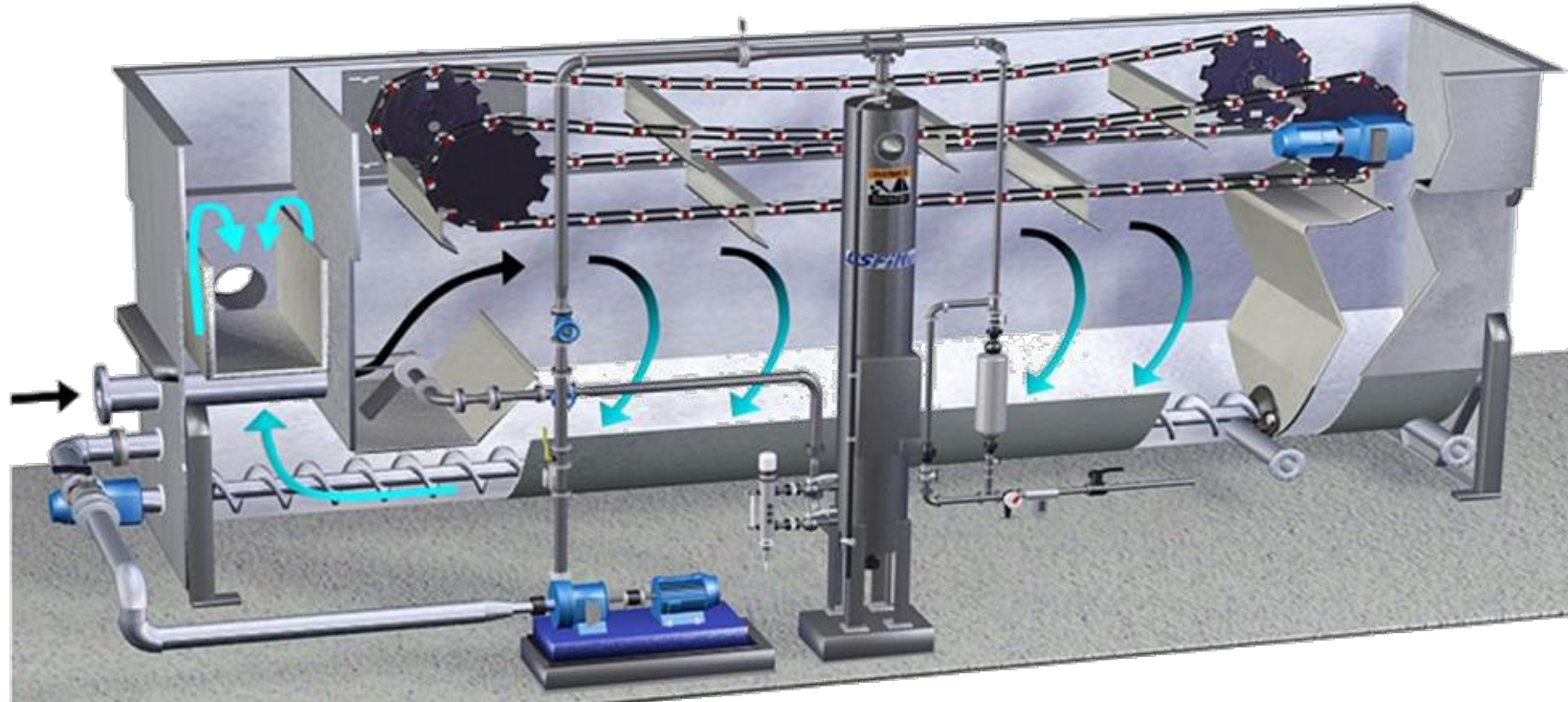
Tanque de contato/biossorção

Tempo de detenção hidráulico de 30 a 40 minutos



Flotador Evoqua®

- Entrada e saída do esgoto pelo mesmo lado, reduzindo os curto-circuitos



Velocidade de ascensão do floco no DAF = 12 m/h

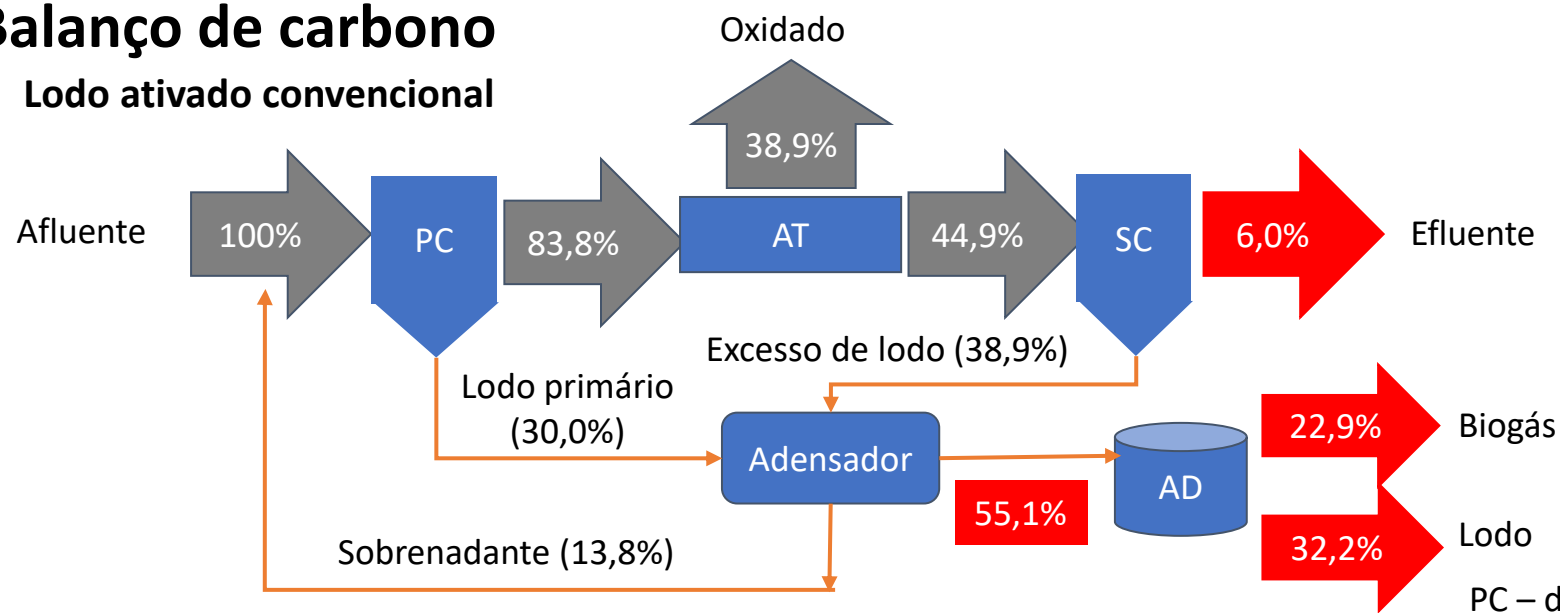
Não é necessária a adição de produtos químicos

Teor de sólidos do flotado: 4 a 6%

Remoção de 85% de sólidos em suspensão

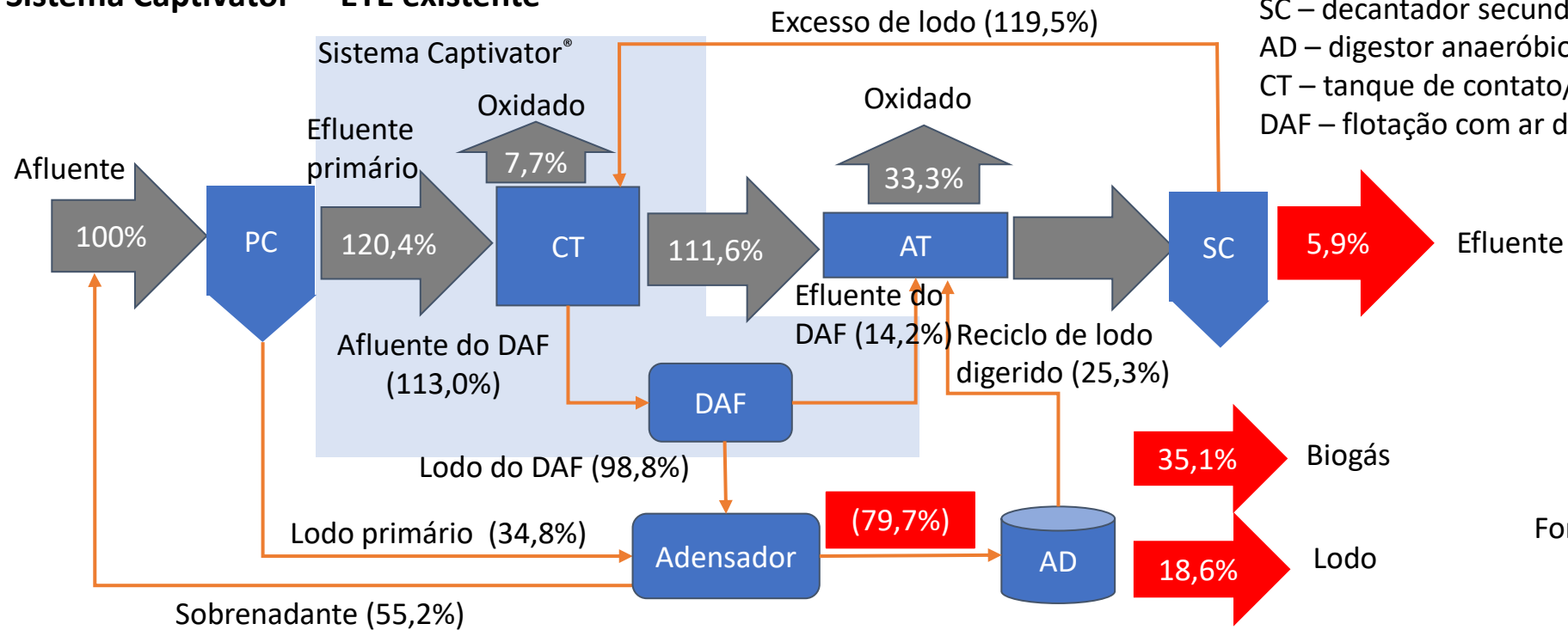
Balanço de carbono

Lodo ativado convencional



- PC – decantador primário
- AT – tanque de aeração
- SC – decantador secundário
- AD – digestor anaeróbio
- CT – tanque de contato/biossorção
- DAF – flotação com ar dissolvido

Sistema Captivator® - ETE existente



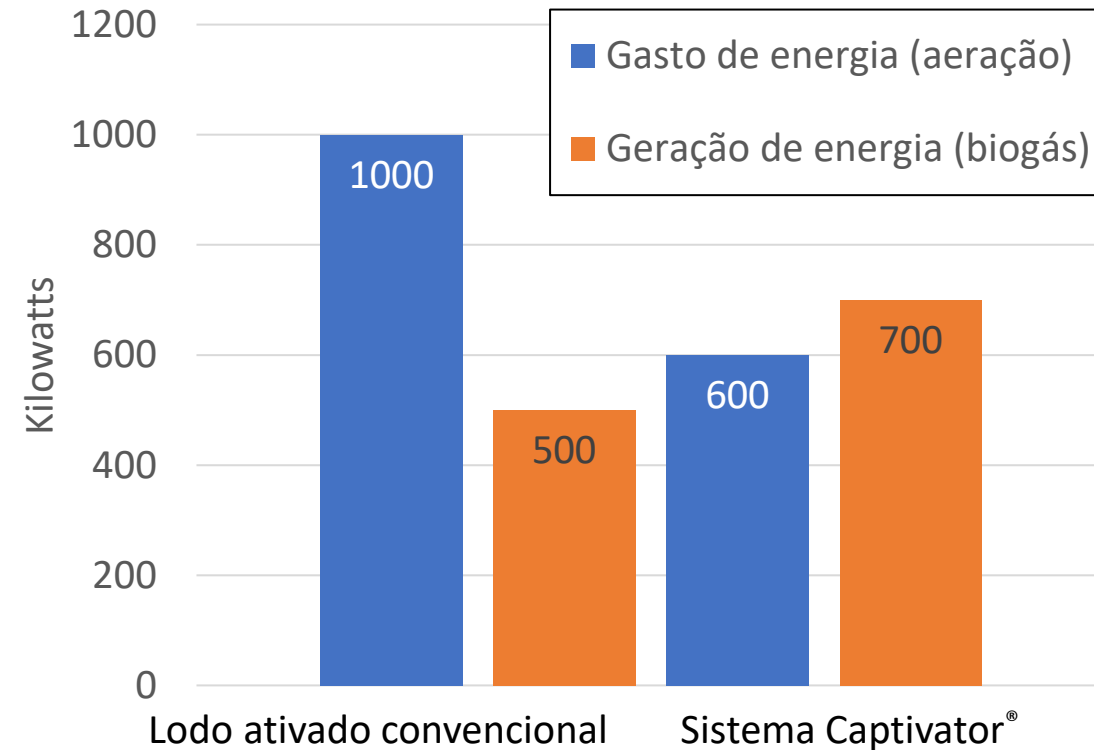
Fonte: DING *et al.* (2015)

Resultados obtidos no sistema de lodos ativados convencional e no sistema Captivator (escala real)

Parâmetro	Sistema Captivator	Lodo ativado convencional
Carga de DBO (kg/d)	126.000	126.000
Carga de SST (kg/d)	126.000	126.000
Carga de DQO (kg/d)	244.700	244.700
Carga de DQO biodegradável (kg/d)	200.000	200.000
Remoção de DBO no decantador primário/DAF (%)	55,3	29,3
Demanda de oxigênio no sistema de lodo ativado (kg/d)	57.600	90.500
Carga de DBO afluente ao digestor (kg/d)	68.200	37.400
Carga de SST afluente ao digestor (kg/d)	136.000	120.300
Carga de SSV afluente ao digestor (kg/d)	104.500	88.800
Remoção de SSV no digestor (%)	62,3	52,3
Produção de biogás (m3/d)	65.800	45.500
Quantidade de lodo produzido (kgSSSecos/d)	70.960	73.900

Fonte: WAUL *et al* (2016)

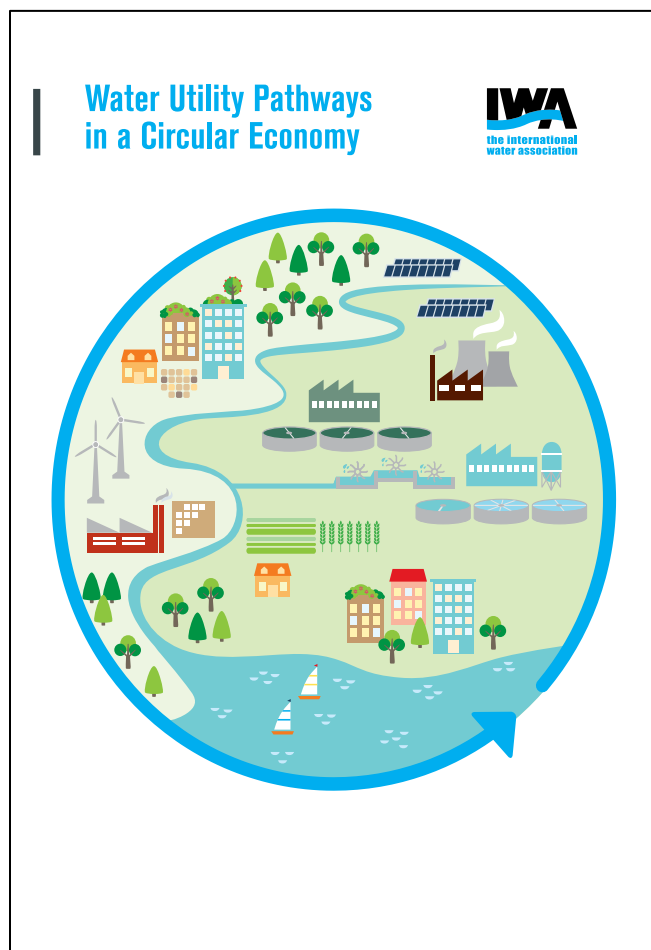
Sustentabilidade energética



Fonte:

https://www.evoqua.com/siteassets/documents/products/aerobic/captivator_ozwater2018_poster.pdf

Economia circular na indústria da água



Ano: 2016



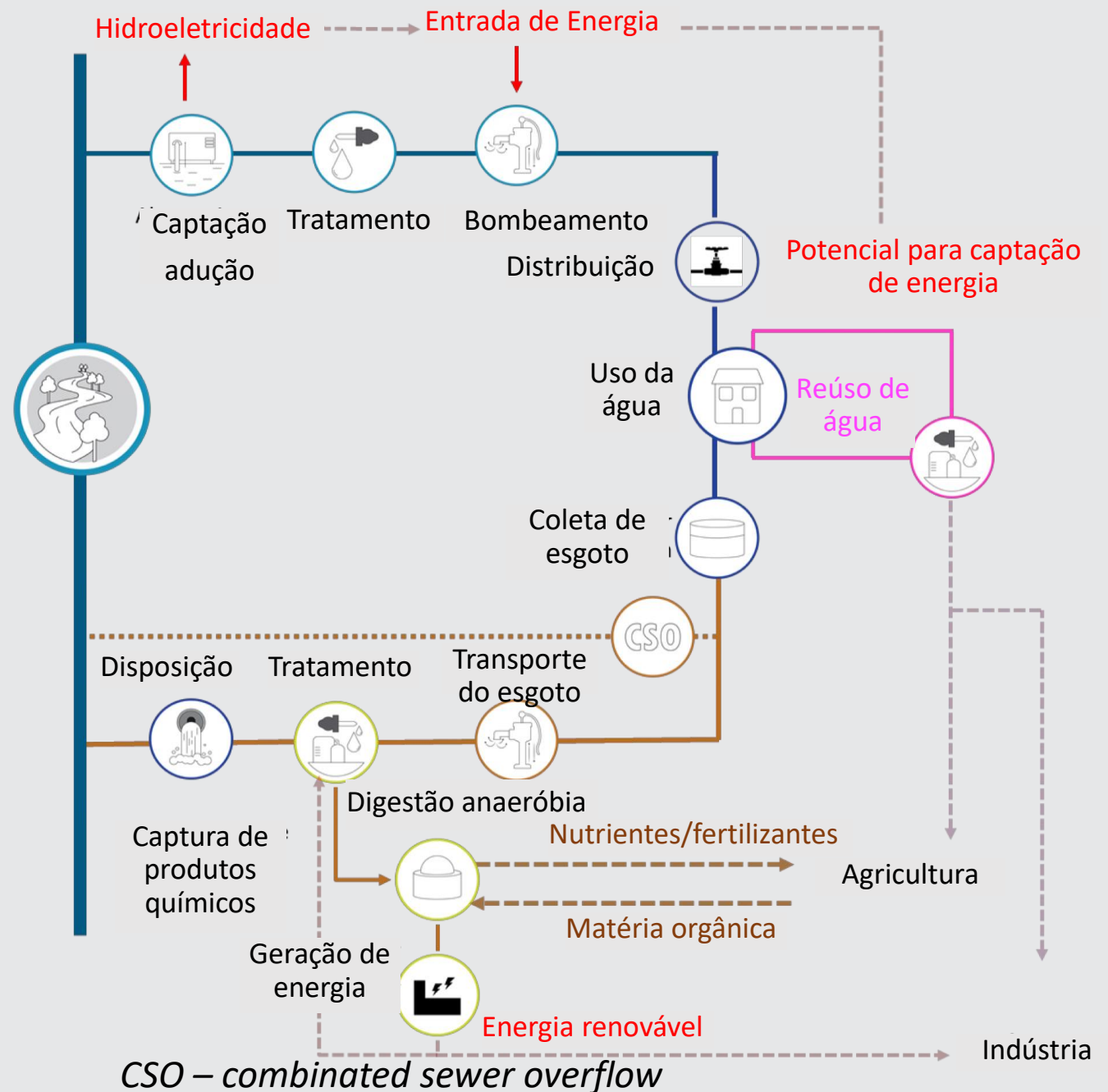
Ano: 2018



Potenciais iniciativas de economia circular na indústria da água

- Energia: reduzir o consumo de energia sendo mais eficiente no uso da água e gerar energia na ETE
- Água: Melhorar a eficiência dos sistemas, reúso, reduzir o consumo de energia, o que reduz a retirada de água pelas hidrelétricas
- Alimento: Fazendas urbanas verticais e usar os nutrientes do esgoto
- Indústria: implementar programas de eficiência energética, uso racional de água, reúso de água, utilizar energia renovável e remover água do ciclo produtivo.
- Utilizar subprodutos das ETAs e ETEs

Fonte: Arup et al (2018)



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

- ABRELPE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. São Paulo: ABRELPE, 2010
- _____. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015. São Paulo: ABRELPE, 2015
- _____. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. São Paulo: ABRELPE, 2021
- ARUP, S. T. **Water and circular economy. A white paper.** Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2018.
- BABATUNDE, A.; ZHAO, Y. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: An international review of beneficial reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 37, n.2, p. 129-64, 2007.
- DING, H-H. *et al.* Innovative use of dissolved air floatation with biosorption as primary treatment to approach energy neutrality in WWTPs. **Water Practice and Technology**, v. 10, n. 1, p. 133-142, 2015
- JAPÃO. **Annual Report on the Environment in Japan 2022.** Tokyo: Ministry of the Environment, 2022
- MEYER, R.; ETTER, B.; UDERT, K. **Low-cost struvite reactor. Operational manual.** Nepal: Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology and UN-Habitat– United Nations Human Settlements Programme, 2011
- MOKONYAMA, Simon; SCHALKWYK, Megan; RAJAGOPAL, Rachi. Guidelines and good practices for water treatment residues handling, disposal and reuse in South Africa. 2017.
- PAN, J.R.; HUANG, C.; LIN, S. Reuse of freshwater sludge in cement making. **Water Science & Technology**, v. 50, p. 183- 188, 2004.
- PIKAAR *et al.* Resource recovery from drinking water production facilities: what and how much is there? In: PIKAAR, I. *et al.* **Resources recovery from water. Principles and application.** London: IWA Publishing, 2022, p. 197-222
- VERSTRAETE, W.; VLAEMINCK, S. E. ZeroWasteWater: short- cycling of wastewater resources for sustainable cities of the future. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v.18, n. 3, p. 253-264, 2011.
- WAUL, C. *et al.* Shifting the energy balance with biologically enhanced primary treatment – how carbon diversion makes sense. In: Water Environment Federation Residuals and Biosolids, 2016, Milwaukee, Wisconsin. **Proceedings [...]** New York: Curran Associates, Inc, 2018, p. 945-960