FENASAN 2026 - 37º. ENCONTRO TÉCNICO AESABESP/FENASAN

Fator de carga poluidora

Como oferecer plena sustentabilidade à universalização da coleta e tratamento de esgotos

Dra Dione Mari Morita
moritadione@gmail.com

20/10/2026 - Expo Center Norte - SP - Edição dos 40 anos da AESABESP

Sumário

01 Fundamentos da cobrança

02 Impactos dos ENDs no esgotamento sanitário

03 Critérios de recebimento de ENDs nos Estados Unidos

04 Saneamento regenerativo

05 Propostas para o recebimento de ENDs

Programa de recebimento de Efluentes não Domésticos (ENDs) da COPLASA (1991 e 1992)

1. Identificação das fontes ENDs 2. Estudo de recebimento 3. Estudo de tarifação

SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Universo cadastrado: 61.916 indústrias cadastradas na RMSP (1989).

Seleção: 3.444 fontes de interesse em 26 categorias prioritárias.

1.744 grandes poluidores; 1.200 caracterizados na 1ª fase do Projeto Tietê.

RISCO E LIMITAÇÕES DOS DADOS

Subcategorias extremamente perigosas nos setores metalúrgico, químico e farmacêutico. Esses setores somavam 32,6% dos grandes poluidores.

Inventários desatualizados, inconsistentes e não informatizados, com falta de dados reais.

Grandes poluidores por subsistema de tratamento

Subsistema	Barueri	ABC	Parque Novo Mundo	São Miguel	Suzano	Sistemas isolados	Total
Total	888	371	242	104	71	68	1.744
% do Total	**51%**	**21%**	**14%**	**6%**	**4%**	**4%**	

Fonte: COPLASA (1991).

Estudo de Tarifação (COPLASA, 1992)

1 Alocação dos custos aos componentes do sistema

Rede e ligações, coletores tronco
Interceptores, postos de recebimento
Unidades de tratamento, disposição final do lodo

→

2 Alocação dos custos às variáveis de cobrança

Vazão
DBO/DQO
Sólidos em suspensão totais

Reagrupamento de acordo com as condições de descarga

Componentes por condição de descarga (Sim: incluído, —: não incluído)

Condição i	Rede	Coletor tronco	Interceptor	Posto de recebimento	Tratamento	Disposição final
1	Sim	Sim	Sim	—	Sim	Sim
2	Sim	—	Sim	—	Sim	Sim
3	—	Sim	Sim	—	Sim	Sim
4	—	—	Sim	—	Sim	Sim
5	—	—	Sim	Sim	Sim	Sim
6	—	—	—	Sim	Sim	Sim

Fonte: COPLASA (1992)

Cálculo da conta mensal proposta pela Coplasa

$$CM_i = (P_i \times V \times K_i) \times \lambda + E + M$$

Base da cobrança

CM_i: conta mensal (Cr$/mês)
P_i: preço na condição de descarga i (Cr$/m³)
V: volume do efluente (m³/mês)
K_i: fator de poluição por condição de descarga i

Fator de poluição K_i

Para DBO

$$K_i = v_i + d_i \times (DBO_m/DBO_r) + r_i \times (SST_m/SST_r)$$

Para DQO

$$K_i = v_i + d_i \times (DQO_m/DQO_r) + r_i \times (SST_m/SST_r)$$

v_i, d_i e r_i: frações dos custos atribuídas à vazão, DBO/DQO e SST na condição de descarga i.
m - medida no monitoramento do END ($mg.L^{-1}$);
r – do esgoto doméstico ($mg.L^{-1}$);

Fonte: COPLASA (1992).

Referências do esgoto doméstico

DBO_r	265 mgO_2/L
DQO_r	450 mgO_2/L
SST_r	300 mg/L

Parcelas previstas na proposta de 1992

λ = 1 até eventual taxa do agente de bacia do Alto Tietê.

E: ressarcimento por poluentes não tratados, vinculado a eventuais pagamentos do agente de bacia.

M: ressarcimento dos gastos de monitoramento.

Cobrança por toxicidade: postergada para uma segunda etapa

Toxicidade na cobrança: precedente do Rio de Janeiro (1986)

Tarifa por volume de END, com acréscimo I (%) calculado pelas concentrações, limites de tolerância e pesos de toxicidade.

$$I = \sum \frac{C_i}{LT_i} . PT_i$$

I – Acréscimo à tarifa básica (%)

C_i – Concentração no END ($mg.L^{-1}$)

LT_i – Limite de tolerância ($mg.L^{-1}$)

PT_i – Peso de toxicidade (adimensional)

Fiscalização exercida pela FEEMA/CEDAE

Exemplos selecionados da tabela original

PARÂMETRO	LIMITE DE TOLERÂNCIA	PESO DE TOXICIDADE
Mercúrio Total	0,01 $mg.L^{-1}$ Hg	10
Hidrocarbonetos Halogenados	0,05 $mg.L^{-1}$ (p/composto)	10
Hidrocarbonetos Alifáticos Halogenados Voláteis tais como: Tricloroetano, Diclorometano, Tricloroetileno e Tetracloroetileno	0,1 $mg.L^{-1}$ (p/composto)	08
Pesticidas Organo Fosforados e Carbamatos	0,1 $mg.L^{-1}$ (p/composto)	08
Chumbo Total	0,5 $mg.L^{-1}$ Pb	08
Cianetos	0,2 $mg.L^{-1}$ CN	07
Sulfeto de Carbono	1,0 $mg.L^{-1}$	04

Fonte: ESTADO DO RIO DE JANEIRO (1986) .

Comunicado 06/1993 da SABESP: fatores de carga e cobrança

Base:

- Custos dos sistemas da RMSP, da Baixada Santista e do Interior
- K_1 baseado em **452 amostras de ENDs**, com medianas e, em alguns casos, médias (SABESP, 1991).

REDE COLETORA

$$\mathbf{CM = P_t \times V \times K_1}$$

$$K_1 = 0{,}79 + 0{,}13.\left(\frac{DQO}{450}\right) + 0{,}08.\left(\frac{SST}{300}\right)$$

V: maior valor entre o volume de água fornecido e o efluente lançado na rede (m^3).

K_1 por concentração (1,00 a 4,55 na matriz) ou por atividade. Exemplos: metalurgia 1,03 e couro e peles 2,06. Exceção do K_1: madeira e mobiliário usam dados da Coplasa

DBO, DQO e SST em mg/L.

CAMINHÃO

$$\mathbf{C_c = 0{,}5 \times P \times V_c \times K_2}$$

$$K_2 = 0{,}26 + 0{,}38.\left(\frac{DBO}{300}\right) + 0{,}36.\left(\frac{SST}{300}\right)$$

$$K_2 = 0{,}26 + 0{,}38.\left(\frac{DQO}{450}\right) + 0{,}36.\left(\frac{SST}{300}\right)$$

V_c: volume transportado (m^3).

K_2: fator de carga para postos de recebimento.

CM e Cc: cobrança (R$/mês).

P e P_t: preço por faixa de consumo (R$/m³)

Fontes: COPLASA (1992) e SABESP (1993 e 2019)

Alocação dos custos: comparação histórica de 1993 e 2019

Regiões	Percentuais de custo (%) em 1993			Percentuais de custo (%) em 2019		
	Volume	DQO	SST	Volume	DQO	SST
RMSP	78	14	8,0	**58**	**22**	**20**
Baixada Santista	**75**	**12,5**	**12,5**	**75**	**12,5**	**12,5**
Interior	**85**	**7,5**	**7,5**	**85**	**7,5**	**7,5**

Ponderando os percentuais de 2019 pelas **receitas de esgoto das respectivas regiões**, obteve-se a fórmula única do Comunicado 03/2019:

$$K_1 = 0{,}63 + 0{,}19.\left(\frac{DQO}{450}\right) + 0{,}18.\left(\frac{SST}{300}\right)$$

Valores recomendados dos coeficientes v, d e r da tarifa pela **Coplasa** e custo médio incremental de longo prazo dos serviços

CONDIÇÃO DE DESCARGA		v	d	r	CUSTO MÉDIO INCREMENTAL DE LONGO PRAZO	
Nº	UNIDADES UTILIZADAS				Cr$ 1000/m³	US$/m³
1	Rede, coletor tronco, interceptor, tratamento e disposição final	**0,5757**	**0,2169**	**0,2074**	1,4388	0,97
6	Posto de recebimento, tratamento e disposição final	0,2626	0,3769	0,3605	0,65	0,44

Fonte: COPLASA (1992) .

Fórmulas propostas pela HagaPlan para o cálculo de K_1 e K_2

- $$K_1 = a + b\left(\frac{DQO}{500}\right) + c\left(\frac{SST}{175}\right) + d\left(\frac{Sulfato}{1000}\right) + e\left(\frac{Sulfeto}{1{,}0}\right) + f\left(\frac{OG}{150}\right) + g\left(\frac{Cianeto}{0{,}2}\right) + h\left(\frac{Fenol}{5{,}0}\right) + i\left(\frac{Fluoreto}{10{,}0}\right) + j\left[\left(\frac{NTK}{NTK_{esgoto}}\right) + \left(\frac{P_{total}}{P_{total\ do\ esgoto}}\right)\right] + k\left(\frac{As}{1{,}5}\right) + l\left(\frac{Cd}{1{,}5}\right) + m\left(\frac{Pb}{1{,}5}\right) + n\left(\frac{Cu}{1{,}5}\right) + o\left(\frac{Cr^{6+}}{1{,}5}\right) + p\left(\frac{Hg}{1{,}5}\right) + q\left(\frac{Se}{1{,}5}\right) + r\left(\frac{Ag}{1{,}5}\right) + s\left(\frac{Cr_{total}}{5}\right) + t\left(\frac{Zn}{5}\right) + u\left(\frac{St}{4}\right) + v\left(\frac{Ni}{2}\right) + x\left(\frac{Fe_{solúvel}}{15}\right)$$

a – Referente à parcela (%) do custo total que corresponde à coleta de esgoto;

b – Referente à parcela (%) do custo total que corresponde ao tratamento da matéria orgânica da fase líquida (DQO);

c – Referente à parcela (%) do custo total que corresponde ao tratamento e disposição dos resíduos sólidos (tratamento da fase sólida);

a + b + c = 1, ou seja, 100% do custo do serviço de esgoto;

d, e ,f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, x – coeficientes adicionais a serem definidos no processo de negociação para os "Casos Especiais" e os Grandes Consumidores.

- $$K_2 = 0{,}19\left(\frac{DQO}{500}\right) + 0{,}19\left(\frac{SST}{175}\right)\ ou\ K_2 = 0{,}19\left(\frac{DBO}{230}\right) + 0{,}19\left(\frac{SST}{175}\right)$$

Fonte: HAGAPLAN (2010) .

Fórmulas sem K

Descarga em rede

- $Preço\ END = 1{,}85.C_{DQO} + 0{,}74.C_{SSF}$
- $CM = [Tarifa\ SABESP + Preço\ END].V$
- CM – conta mensal (R$/mês)
- C_{DQO} = Concentração de DQO ($kg.m^{-3}$) ;
- C_{SSF} = Concentração de sólidos em suspensão fixos ($kg.m^{-3}$);
- V = volume micromedido mensal de água calculado para esgoto (m^3/mês).

Descarga via caminhão

- $CM = [F.Tarifa\ SABESP + Preço\ END].V_D$
- Sendo F = 0,38 e V_D = volume descartado pelo caminhão (m^3)

Exemplos selecionados de atividades e efluentes

CNAE (IBGE)	Ramos de atividade	Preço (R$/$m^3$)
27(11)	Indústria Metalúrgica	21,13
24(20)	Indústria Química	56,25
21(21)	Indústria de Produtos Farmacêuticos	23,67
15(26)	Indústria de Produtos Alimentares	48,70
	Lixiviado de aterro sanitário	7,85
	Caixa de Gordura	1.336,07

Fonte: HAGAPLAN (2010) .

Impactos dos ENDs no sistema de coleta e transporte esgoto

Consequências negativas relacionadas ao recebimento de ENDs provenientes de indústrias perigosas no sistema de coleta e transporte de esgoto

Corrosão	Inflamabilidade	Explosividade	Vapores tóxicos	Incrustação

Explosão provocada por despejo com hexano em Louisville, Kentucky, em 1981

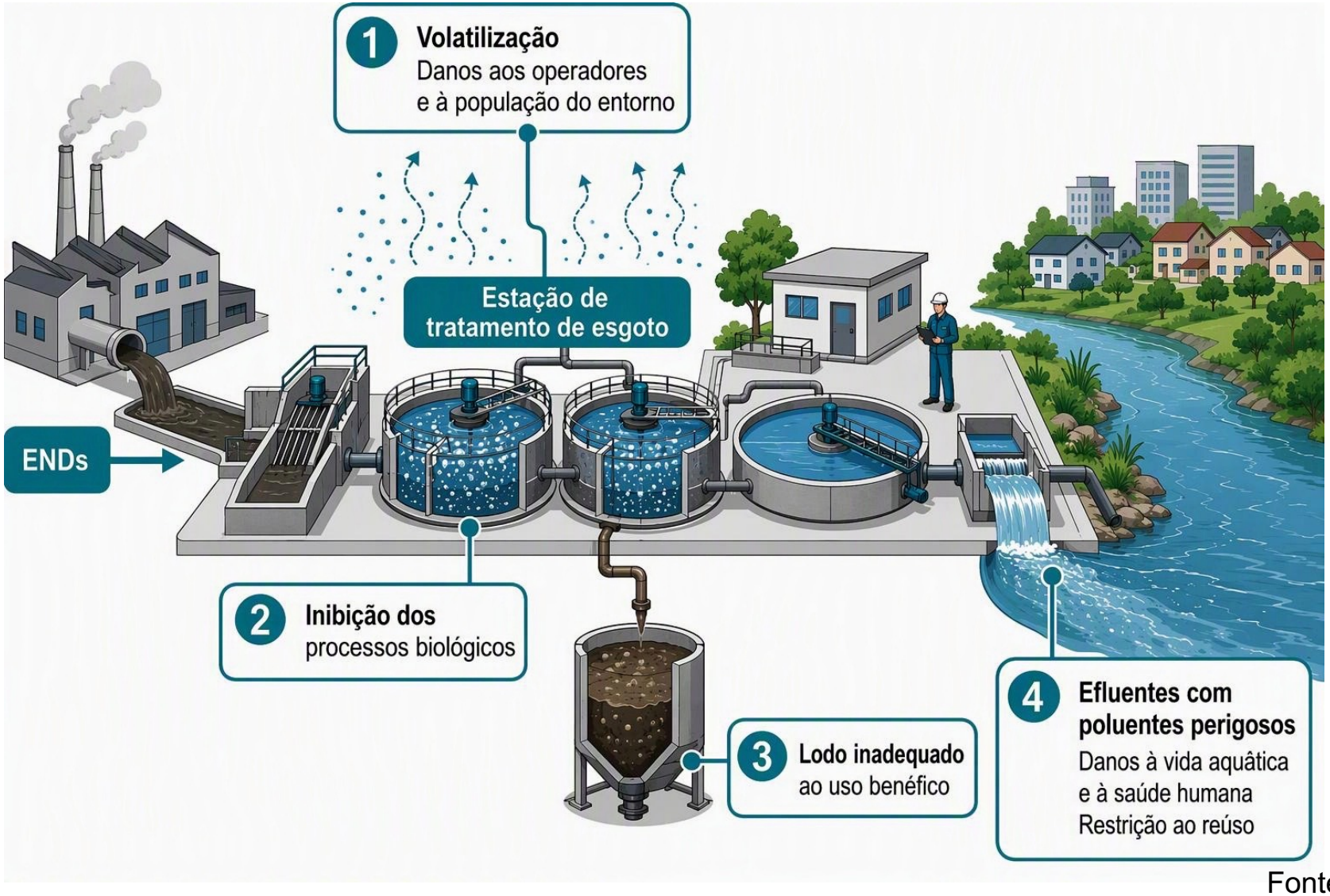


Corrosão Provocada por H_2S



Há mais de 30 anos, a USEPA mostrou que é mais vantajoso economicamente aplicar os conceitos de produção mais limpa às indústrias perigosas do que implantar modificações na ETE para reduzir a toxicidade (USEPA, 1993).

Impactos do lançamento de ENDs oriundos de indústrias perigosas na ETE, qualidade do lodo, no reúso e no corpo d'água



Fonte: autora

Situação atual

Manancial não preservado



ETA convencional



Cidade



Esgoto doméstico + água de infiltração

Resíduos da ETA ou concentrado da membrana, contendo Poluentes perigosos concentrados

Indústrias, comércio e serviços



ENDs



Poluentes não removidos



Lodo

Lixiviado



Corpo d'água

ETE convencional

Aterro sanitário

Fonte: autora

Efeito da evolução dos sistemas produtivos sobre a tarifa

Alteração das características do esgoto doméstico

Produção de alimentos





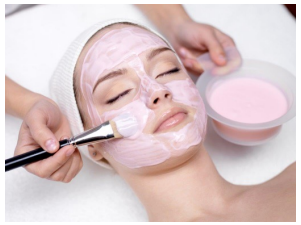
Lavagem de roupas





Higiene e cosméticos





Produtos de limpeza





Medicamentos





Produção leiteira



Fonte: MICHELS et al (2019) .

Efeito da evolução dos sistemas produtivos sobre a tarifa

Exemplo: implantação de um programa de conservação de água em uma indústria

Variável	Indústria A existente	Indústria A após implantação de um programa de conservação da água	Redução na conta
Volume (m^3)	V	0,1 V	56,7%
DQO ($mgO_2.L^{-1}$)	450	4500	
SST ($mg.L^{-1}$)	300	3000	
$K_1 = 0,63 + 0,19.\left(\frac{DQO}{450}\right) + 0,18.\left(\frac{SST}{300}\right)$	1,0	4,33	
Tarifa = P.V.K_1	P.V	0,433 P.V	
$K_1 modificado = 0,26 + 0,38.\left(\frac{DQO}{450}\right) + 0,36.\left(\frac{SST}{300}\right)$	1,0	7,66	23,4%
Tarifa = P.V.K_1 modificado*	P.V	0,766 P.V	

* Considerou-se K_1 modificado = K_2

Fonte: PROCTOR & REDFERN INTERNATIONAL LIMITED (2000)

Critérios de recebimento de ENDs no sistema de esgoto sanitário nos Estados Unidos

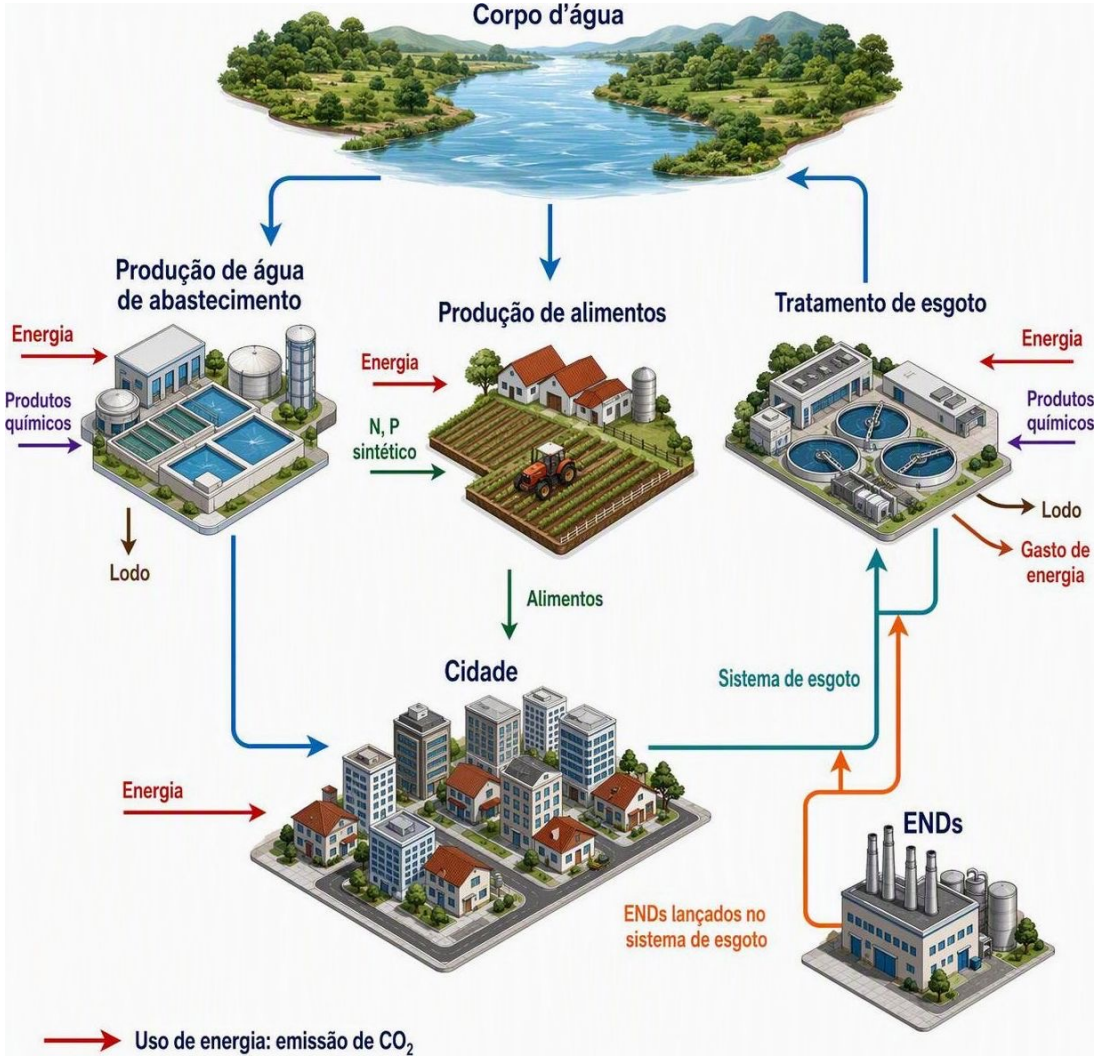
		Base Conceitual	Questões práticas
Programa de pré-tratamento	**Descargas proibidas**	• Recomendações genéricas para que os ENDs não causem prejuízos ao sistema de coleta e transporte de esgoto, inibição nas ETEs ou danos à saúde e segurança dos operadores	• ENDs que apresentam as características estipuladas como proibidas pela USEPA não podem ser lançados no sistema de esgoto sanitário
	Padrões por categoria industrial	• Padrões nacionais, uniformes, baseados na melhor tecnologia disponível e economicamente suportável, por categoria industrial	• A USEPA fixou os padrões de lançamento para fontes novas e existentes, enquadradas em 51 categorias industriais.
	Limites locais	• Controle das fontes de poluição através da limitação de cargas de poluentes específicos. Estas cargas são obtidas levando-se em consideração normas e padrões pré-estabelecidos e eficiências de remoção na estação	• Para aplicação desta metodologia, é necessário o conhecimento de todas as fontes potenciais, já interligadas ou não ao sistema de coleta e a caracterização completa dos respectivos efluentes.
	Programa de redução da toxicidade refratária	• Testes realizados com micro-organismos encontrados comumente nos sistemas biológicos de tratamento ou representativos do corpo d'água receptor, visando avaliar o impacto do lançamento do efluente não doméstico.	• Permite avaliar o efluente como um todo pelos efeitos sobre os organismos-teste e que já traduzem o resultado final das ações aditivas, sinérgicas e antagônicas das substâncias biodisponíveis que o compõem

Fonte: ESTADOS UNIDOS (2025)

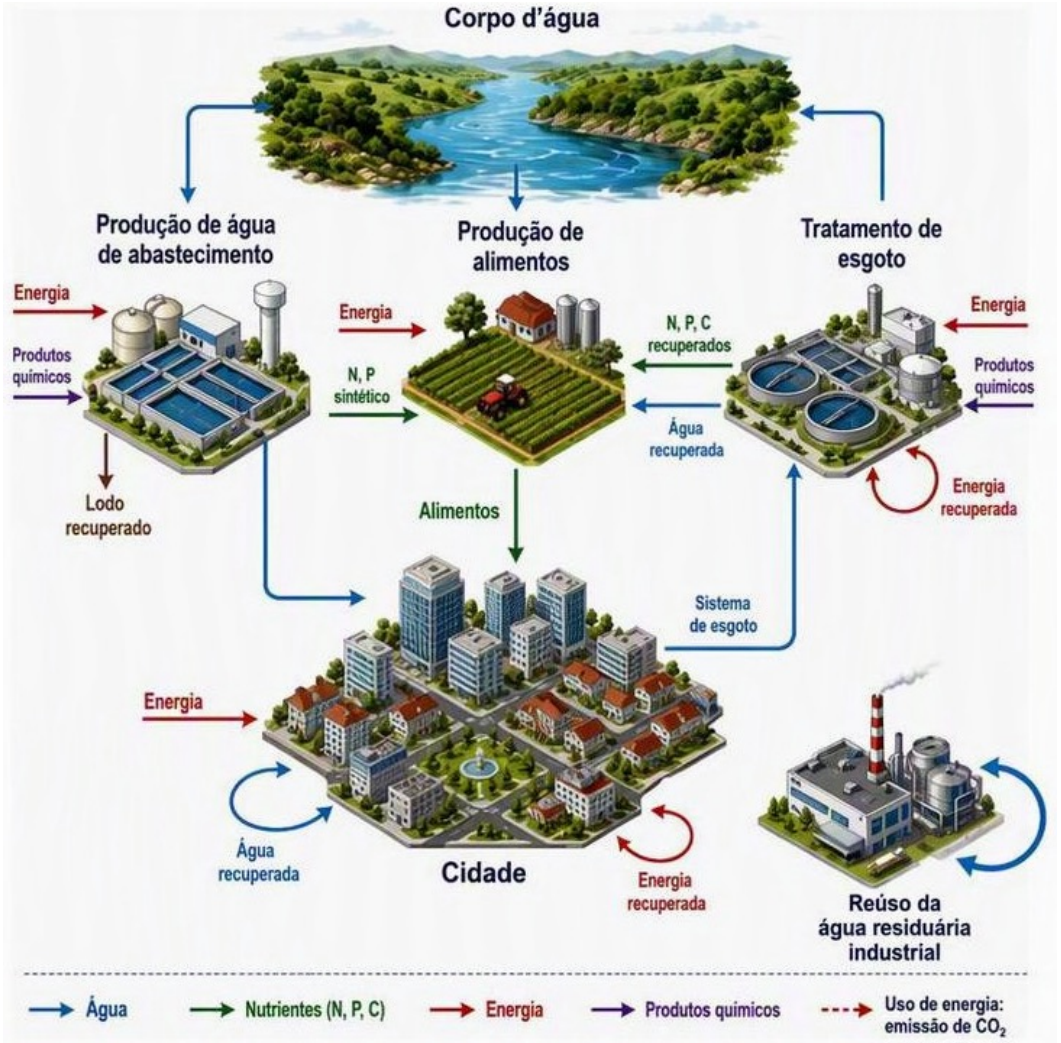
.

SANEAMENTO REGENERATIVO

Cidade atual



Cidade do futuro



Fonte: adaptado de VERSTRAETE E VLAEMINCK (2011). KOOTTATEP ET AL. (2019)

.

Saneamento regenerativo na prática

A **Agua Nueva (EUA)**, inaugurada em 2014, foi uma das primeiras ETEs a adotar **pré-concentração de carbono** em escala real, com capacidade de **1,4 m³/s**.

Hoje, mais de **100 ETEs no mundo** recuperam **fósforo** por meio da produção de **estruvita** (GANESAPILLAI et al, 2026), com destaque para:

- **ETE Stickney (Chicago)**: uma das maiores ETEs do mundo, com capacidade máxima para tratar **63,1 m³/s**, inaugurou, em 2016, uma instalação para recuperar fósforo na forma de estruvita, para capacidade nominal de 9000 t/ano.
- **ETE Marselisborg (Dinamarca):** inaugurou, em 2019, a maior unidade de recuperação de fósforo dos países nórdicos.

Projetos de demonstração tecnológica:

- **Phario (Países Baixos):** projeto piloto concluído de produção de PHA a partir de lodo de esgoto, com continuidade no PHA2USE e em iniciativas posteriores de ampliação de escala.
- **SCEPPHAR (Itália)** na ETE Carbonera (174 L/s): demonstração do processo SCEPPHAR para recuperação de PHA e estruvita no projeto SMART-Plant, concluído em 2020

Propostas para recebimento de ENDs

Curto prazo

- Política de aceitação de ENDS
- Modernização do cadastro de fontes
- Critérios por ETE
- Modernização do monitoramento e rastreabilidade
- Custos médios incrementais e quantificação dos impactos dos ENDs já recebidos

Médio prazo

- Integração de dados e revisão tarifária
- Metodologias de aceitação de ENDs
- Viabilidade de constituição de uma subsidiária dedicada ao pré-tratamento de efluentes industriais

Longo prazo

- Revisão regulatória por jurisdição
- Licenciamento do pré-tratamento dos ENDs pelos órgão ambientais
- ETES com recuperação de recursos.
- Fomentar pesquisas e formação de profissionais no tema

"ENDs devem ser aceitos de forma seletiva: cargas que gerem receita, sem comprometer a rede, a ETE nem a saúde da população. Essa governança sustenta a viabilidade financeira e a universalização dos serviços"

Referências bibliográficas citadas

- COPLASA S.A. – ENGENHARIA DE PROJETOS. **Programa de recebimento de efluentes não domésticos no sistema de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório final. Ordens de serviço no 1 e no. 2. São Paulo: COPLASA. 1991
- _____ **Programa de recebimento de efluentes não domésticos no sistema de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório final. Ordem de serviço no 3. São Paulo: COPLASA. 1992
- SABESP (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO). Superintendência de Planejamento Econômico-Financeiro da Diretoria Financeira. **Subsídios para um programa de recebimento de efluentes não domésticos na área de concessão da SABESP**. São Paulo. Julho 1991.
- ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto no 8.975 de 15 de maio de 1986, aprova o regulamento dos serviços públicos de controle, coleta e destino dos despejos industriais do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 16/05/1986, p. 10-12. Disponível em: https://biblioteca.pge.rj.gov.br/bnportal/en/search/14050?exp=%22Minuta%22%2Fassunto. Acesso: 17/03/2025
- ESTADOS UNIDOS. Office of Research and Development. **Guides to pollution prevention. Municipal pretreatment programs**. Washington, DC: USEPA. 1993. 39p. (EPA/625/R-93/006).
- ____. **40 CFR Part 403. General pretreatment regulations for existing and new sources of pollution**. Washington: US Government Publishing Office, 2025. Disponível em: https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-N/part-403. Acesso em:15 março 2025.
- HAGAPLAN. **PREND – Prestação de serviços de consultoria técnica para melhoria da cobrança e do Programa de Recebimento de Efluentes não Domésticos para o sistema de esgotamento sanitário da Diretoria Metropolitana e de Sistemas Regionais – U.N. Tratamento de Esgoto Metropolitana – MT, Diretoria – M**. São Paulo: HagaPlan, 2010.
- KOOTTATEP, T.; COOKEY, P.E.; POLPRASERT, C. **Regenerative Sanitation: A New Paradigm for Sanitation 4.0.** London: IWA, 2019.
- MICHELS, K. B., et al. Urinary excretion of sex steroid hormone metabolites after consumption of cow milk: a randomized crossover intervention trial. **The American Journal of Clinical Nutrition,** v.109, n.2, p. 402–410, 2019.
- PROCTOR & REDFERN INTERNATIONAL LIMITED. **Sewer use control demonstration project in the Barueri sewershed: final report**, São Paulo, Brazil. v. 1 e v. 2, Ontario (Canadá): Proctor & Redfern International Limited. 2000
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY ____. **National Pretreatment Program, 1973-2003: thirty years of protecting the environment**. Washington:USEPA, 2003
- 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.
- GANESAPILLAI, M.; VINAYAK, A. K.; TIWARI, A.; DARDA, A.; CHINDALIA, K.; CHELLAPANDI, T. Beyond the flush: a review of wastewater circular systems. **npj Clean Water**, v. 9, n. 1, p. 1, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41545-026-00557-8. Acesso em: 13 out. 2026.