Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos
Associação dos Engenheiros da Sabesp

37ETC-07301

DO RESÍDUO AO RECURSO: REVISÃO DAS ROTAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO E VALORIZAÇÃO DE LODOS DE ETAs E ETEs NO CONTEXTO DA ECONOMIA CIRCULAR

Mirella Pessôa Diniz

Concremat Engenharia e Tecnologia

CONTEXTO E DESAFIO

A universalização do saneamento amplia a geração de lodos e exige soluções sustentáveis para o seu gerenciamento.

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

GESTÃO CONVENCIONAL
(Desafio atual)



Lodos de ETAs e ETEs



Transporte



Disposição final
(aterros sanitários)

Custos significativos
de tratamento, condicionamento, transporte e disposição final

Riscos ambientais
associados à contaminação do solo e corpos hídricos

Emissões de GEE
relacionadas ao transporte, tratamento e degradação do resíduo em aterros

Perda de recursos
de matéria orgânica, energia, nutrientes e materiais com potencial de uso

VALORIZAÇÃO E ECONOMIA CIRCULAR
(Nova perspectiva)



POTENCIAIS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS
- Redução potencial de emissões de GEE
- Menor demanda por recursos naturais
- Valorização de resíduos

POTENCIAIS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS
- Geração de produtos de valor agregado
- Redução de custos de destinação
- Novas oportunidades de mercado

POTENCIAIS BENEFÍCIOS SOCIAIS
- Geração de empregos e renda
- Desenvolvimento regional
- Contribuição para a universalização do saneamento

A valorização dos lodos de ETAs e ETEs representa uma oportunidade estratégica para o setor de saneamento, ao integrar soluções técnicas viáveis, geração de valor e benefícios ambientais e sociais, no contexto da economia circular.

LODOS DIFERENTES, POTENCIAIS DISTINTOS

Os lodos de ETA e ETE apresentam características distintas, o que influencia nas rotas tecnológicas e nas possibilidades de valorização.

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

LODO DE ETA
(Resíduo predominantemente mineral)



Composição	Predominância de partículas minerais (argilas, óxidos e hidróxidos de metais), com baixa fração orgânica.
Matéria orgânica	Baixo teor.
Coagulantes	Presença de coagulantes (ex.: Al e Fe).
Granulometria	Predominantemente fina.
Características gerais	Elevada estabilidade, baixo potencial de biodegradação e maior teor de inertes.

LODO DE ETE
(Resíduo predominantemente orgânico)



Composição	Predominância de matéria orgânica, com presença de fração mineral.
Matéria orgânica	Alto teor.
Nutrientes	Rico em nutrientes (N e P).
Contaminantes	Potencial presença de contaminantes (metais pesados, micropoluentes, patógenos), variável conforme a origem.
Umidade	Elevado teor de umidade e maior biodegradabilidade.

As diferenças nas características dos lodos de ETA e ETE condicionam a seleção das rotas tecnológicas e os potenciais de valorização, sendo fundamental a caracterização de cada lodo para definição das alternativas mais adequadas

ROTAS DE VALORIZAÇÃO E APLICAÇÕES POTENCIAIS

Os lodos de ETA e ETE podem ser valorizados por diferentes rotas tecnológicas, resultando em produtos com aplicações em diversos setores.

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

LODO DE ETA
(predominantemente mineral)



Lodo de ETA
(aspecto geralmente mineral, com coloração clara, podendo variar conforme a água bruta e os produtos utilizados no tratamento).

Rota	Processo	Produto potencial	Aplicação potencial
Recuperação de coagulantes	Extração química (ácida ou alcalina); separação e recuperação	Sais de alumínio e ferro (ex.: sulfato de alumínio, cloreto férrico)	Reuso no próprio tratamento de água ou em outras aplicações industriais.
Materiais de construção	Secagem e tratamento térmico; incorporação em matriz cerâmica/ cimentícia	Tijolos, blocos, cimento, geopolímeros	Construção civil e obras de infraestrutura.
Materiais adsorventes	Ativação química e/ou térmica (carbonização e ativação)	Carvão ativado, adsorventes porosos	Tratamento de água e efluentes, controle de contaminantes (ex.: metais, cor, micro poluentes).
Uso em solos (condicionado)	Condicionamento e avaliação de qualidade	Corretivo ou condicionador de solo	Uso em solos (condicionado aos requisitos ambientais e agronômicos).

LODO DE ETE
(geralmente com maior fração orgânica)



Lodo de ETE
(aspecto geralmente orgânico, com coloração escura, podendo variar conforme o processo de tratamento e a origem do esgoto).

Rota	Processo	Produto potencial	Aplicação potencial
Digestão anaeróbia	Degradação biológica em condições anaeróbias (sem oxigênio)	Biogás (CH_4 e CO_2) e digestato	Geração de energia térmica e elétrica; uso do digestato (condicionado á qualidade).
Pirólise	Tratamento térmico em atmosfera com pouco ou nenhum oxigênio (300–700 °C)	Biochar, bio-óleo e gases combustíveis (syngas)	Uso agrícola (condicionado), energia, materiais e insumos industriais.
Carbonização hidrotérmica (HTC)	Processo termoquímico em meio úmido (180–250 °C e alta pressão)	Hidrochar, bio-óleo e fase líquida rica em orgânicos	Uso em solos (condicionado), materiais e energia.
Recuperação de nutrientes	Precipitação química (ex.: estruvita) e/ou outros processos (ex.: recuperação de amônio)	Estruvita ($MgNH_4PO_4$), compostos de nitrogênio e fósforo	Fertilizantes e corretivos de solo (condicionado aos requisitos aplicáveis).
Outras rotas	Processos biológicos, térmicos ou químicos conforme o objetivo	Bioplásticos, ácidos graxos, biossólidos estabilizados	Materiais, produtos químicos, uso em solos e outras aplicações (condicionado).

As rotas apresentadas representam possibilidades identificadas na literatura, cuja viabilidade depende da caracterização do lodo, da escala, das condições de processo, da qualidade do produto, dos requisitos regulatórios e da existência de mercado.

DA GESTÃO LINEAR À ECONOMIA CIRCULAR

A valorização dos lodos de ETA e ETE integra o saneamento a cadeias produtivas, promovendo o uso eficiente de recursos e reduzindo impactos ambientais.

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

GESTÃO CONVENCIONAL
(MODELO LINEAR)



Geração de lodos (ETA/ETE)



Transporte



Disposição final (aterros sanitários e outras formas de destinação)

- Perda de recursos com potencial de uso
- Custos de transporte e destinação final
- Emissões de GEE (transporte e degradação)
- Riscos ambientais (lixiviação, contaminação)
- Perda de oportunidades econômicas e sociais

ROTAS DE VALORIZAÇÃO
(conforme características do lodo)



Lodo de ETA (predominantemente mineral)

- **Recuperação de coagulantes** (extração química)
- **Materiais de construção** (tratamento térmico e/ou incorporação em matriz cimentícia/geopolimérica)
- **Materiais adsorventes** (ativação química e/ou térmica, conforme a formulação)

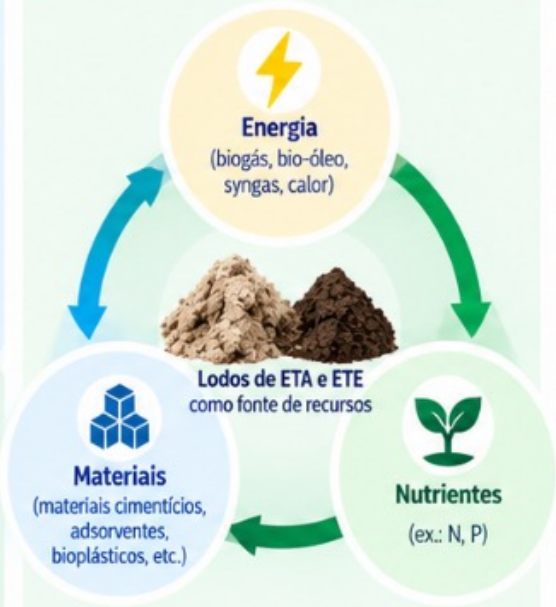


Lodo de ETE (geralmente com maior fração orgânica)

- **Digestão anaeróbia** (degradação biológica em condições anaeróbias)
- **Pirólise / Carbonização hidrotérmica** (tratamento térmico)
- **Recuperação de nutrientes** (precipitação química, ex.: estruvita, e outros processos)

A escolha da rota depende da composição do lodo, das características da estação e dos requisitos técnicos, ambientais, econômicos e regulatórios.

ECONOMIA CIRCULAR
(recuperação de recursos e geração de valor)



Integração com cadeias produtivas
Saneamento, construção civil, agricultura e indústria, conforme requisitos aplicáveis.

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS
(dependentes da rota e do contexto)

AMBIENTAIS
- Potencial de redução de emissões de GEE
- Menor uso de recursos naturais
- Valorização de resíduos
- Menor necessidade de disposição em aterros

ECONÔMICOS
- Geração de produtos de valor agregado
- Redução de custos de destinação final
- Novas oportunidades de mercado
- Desenvolvimento de cadeias produtivas

SOCIAIS
- Geração de empregos e renda
- Inclusão produtiva (ex.: agricultura, construção)
- Desenvolvimento regional
- Contribuição para a universalização do saneamento

CONTRIBUIÇÃO PARA POLÍTICAS PÚBLICAS
- Apoio às metas de saneamento
- Contribuição para a gestão de resíduos
- Fomento à economia circular
- Alinhamento aos compromissos ambientais e climáticos

Benefícios potenciais, condicionados à rota tecnológica, à viabilidade técnica e econômica, à segurança ambiental e aos requisitos regulatórios.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Da disposição final à geração de valor: a valorização dos lodos de ETE é viável e estratégica, mas sua implementação em larga escala ainda depende da superação de barreiras e de ações integradas.

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e

PRINCIPAIS CONCLUSÕES



- **Lodos de ETE são fontes relevantes** de recursos.
- **Diversas rotas tecnológicas** podem ser aplicadas.
- **Contribuem para** a transição do modelo linear para a economia circular.
- **Geram benefícios** ambientais, econômicos e sociais (condicionados à viabilidade).

PRINCIPAIS GARGALOS
PARA A IMPLEMENTAÇÃO EM LARGA ESCALA

- **Custos e viabilidade econômica**
  Alto investimento, incertezas de mercado e retorno.
- **Marco regulatório e segurança jurídica**
  Ausência de diretrizes específicas e critérios harmonizados.
- **Aspectos técnicos e operacionais**
  Variabilidade do lodo e necessidade de pré-tratamentos e controle de qualidade.
- **Mercado e logística**
  Demanda ainda incipiente e desafios logísticos para escoamento.
- **Integração institucional**
  Baixa articulação entre atores da cadeia e falta de políticas de incentivo.

O QUE É NECESSÁRIO AVANÇAR

- **Aprimoramento regulatório**
  Diretrizes específicas e critérios para uso seguro dos produtos.
- **Pesquisa e inovação**
  Otimização das rotas e demonstração de viabilidade em escala real.
- **Incentivos e modelos de financiamento**
  Mecanismos que reduzam riscos e atraiam investimentos.
- **Desenvolvimento de mercados**
  Estruturação de cadeias produtivas e compras públicas sustentáveis.
- **Integração setorial**
  Articulação entre saneamento, meio ambiente, agricultura, energia e indústria.



Com **planejamento, inovação e governança integrada,** a valorização dos lodos de ETE pode se consolidar **como uma solução estratégica para o saneamento e para a economia circular no Brasil.**

Obrigada!

Encontro Técnico AESABESP
37º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos
Associação dos Engenheiros da Sabesp

Mirella Diniz

mirella.silva@concremat.com.br

Whatsapp: (21) 97303-2955

@mirella.engenharia

CONCREMAT
engenharia e tecnologia

Uma empresa do grupo

中国交建
CHINA COMMUNICATIONS CONSTRUCTION