

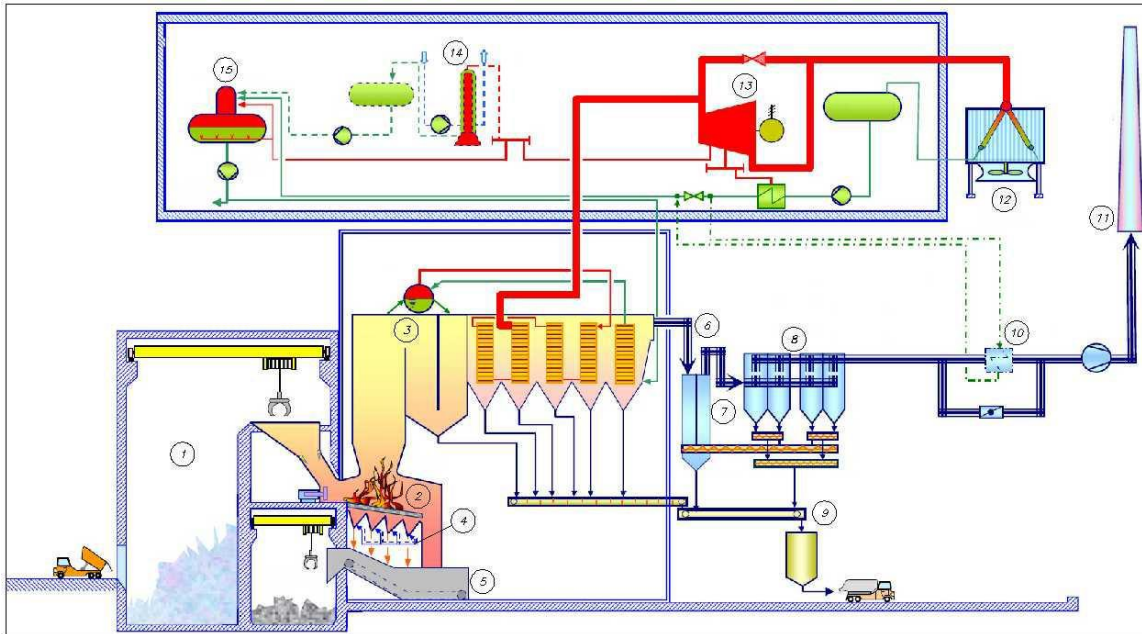
# Tratamento térmico de Resíduos: incineração, gaseificação e pirólise

**Ademar Hakuo Ushima**

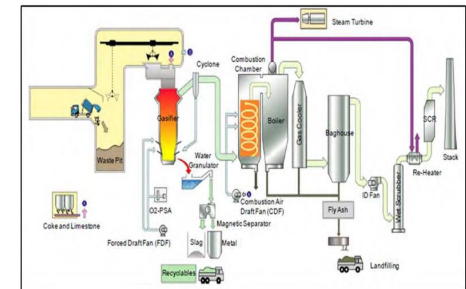
Laboratório de Engenharia Térmica

Setembro 2019

# Tratamento térmico de Resíduos: incineração, gaseificação e pirólise



Incineração



Gaseificação



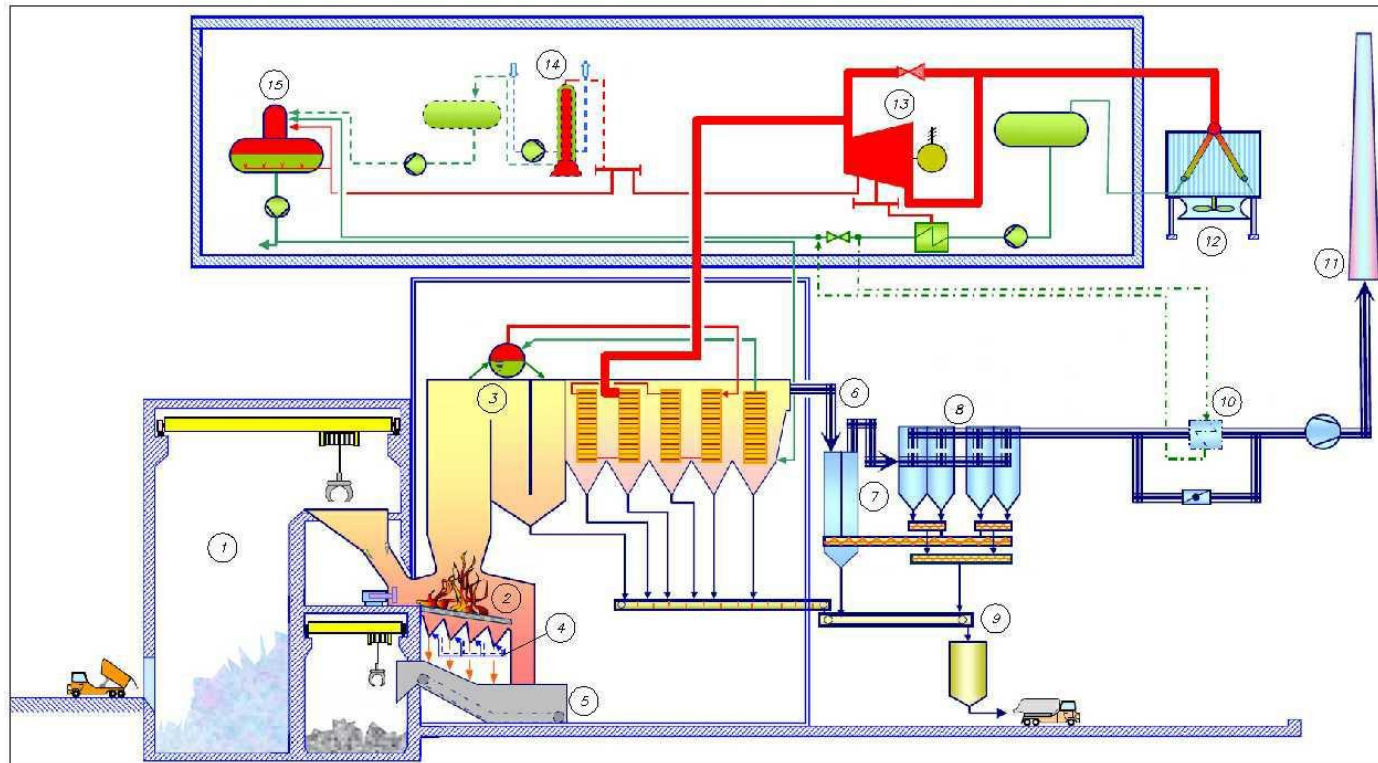
Pirólise

# INCINERAÇÃO

# INCINERAÇÃO

A Unidade de Tratamento de Resíduos e Geração de Energia (UTR) realiza o tratamento térmico (combustão) do lixo que não pode ser reaproveitado, com recuperação do seu conteúdo energético na forma de energia elétrica e/ou vapor.

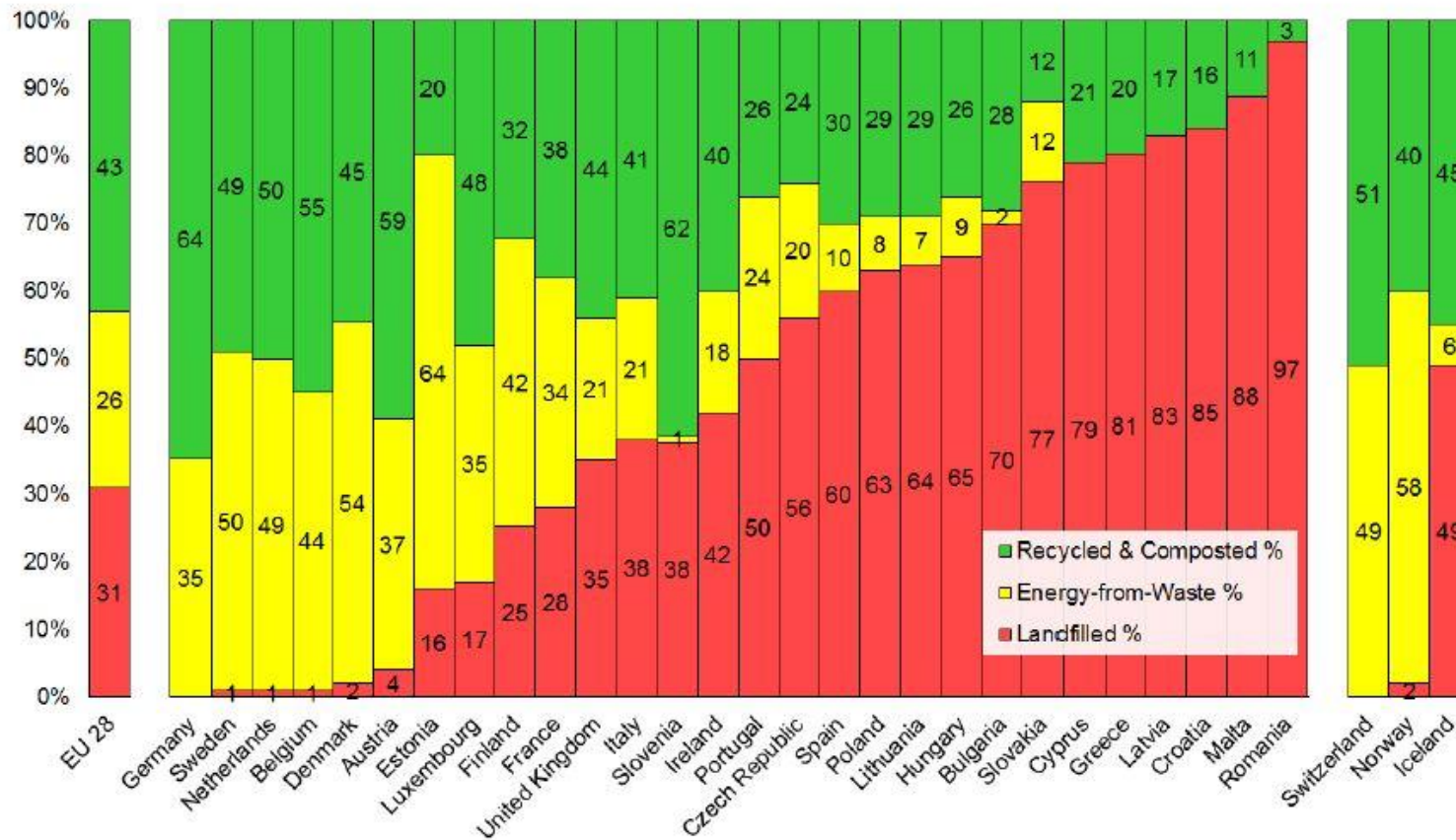
## Fluxograma Básico de uma UTR



1. Área de recebimento, estocagem e manipulação de resíduos
2. Grelhas móveis
3. Caldeira para geração de vapor
4. Distribuição de ar primário
5. Removedor de escórias (cinza pesada).
6. Injeção de reagente para tratamento dos gases
7. Reator para tratamento dos gases
8. Filtros para retenção de cinza leve
9. Silo para cinza leve.
10. Lavador de gases
11. Chaminé
12. Torre de resfriamento
13. Turbogenerador a vapor
14. Trocador de calor
15. Tanque de alimentação de água

# Mitos e verdades sobre a incineração

## a. A incineração vai reduzir a reciclagem de resíduos



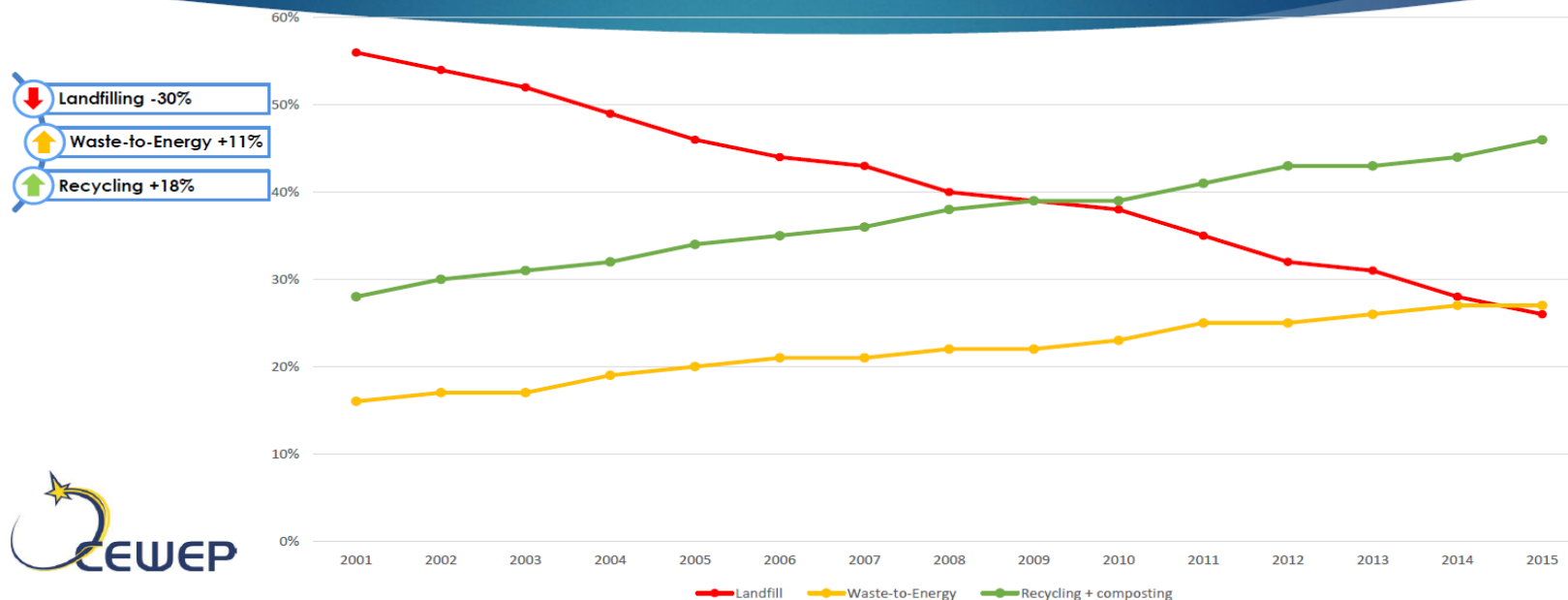
Em geral, países que mais incineram são os que mais reciclam !!!!

# Variação da taxa de reciclagem, incineração com recuperação de energia e aterro na Comunidade Européia de 2001 a 2015

1

## Municipal waste treatment trends 2001-2015 EU 28

Graph by CEWEP,  
Source: EUROSTAT 2017



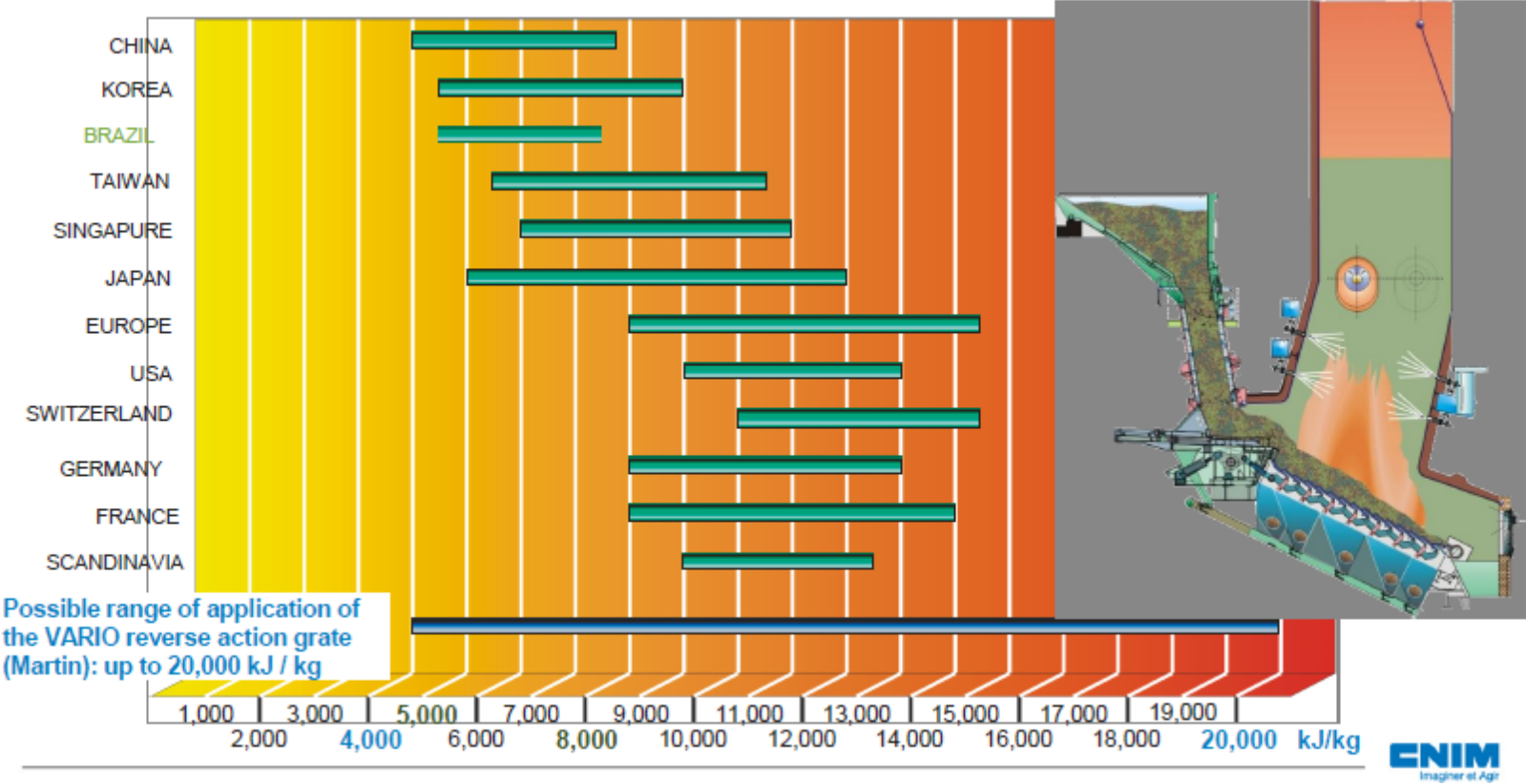
Reciclagem e incineração estão aumentando. Aterro caindo.

**b. A elevação da reciclagem vai reduzir o conteúdo energético dos resíduos, inviabilizando a sua incineração.**

- **O aumento da reciclagem, pode aumentar o PCI dos RSUs**, porque reduz a fração de material inerte (metais, vidros etc.), aumentando a fração combustível e não reciclável (alimentos, papéis higiênicos, fraldas, tetrapack , embalagens contaminadas etc.)
- Pesquisa realizada na França, pela French Energy and Environmental Agency (ADEME) em 2009, de 1993 (quando a reciclagem era inexistente) a 2007 (quando a taxa de reciclagem atingiu 34%), o PCI do RSU francês subiu de 7,5 a 9,3 MJ/kg, apesar de se observar um ligeiro aumento na fração orgânica, de 59,2 % a 65,8 %.



c. O conteúdo energético do RSU brasileiro é muito baixo para a incineração, necessitando de combustível auxiliar.



PCI adotado no projeto do incinerador a ser instalado em Barueri é de 6,7 MJ/kg, base úmida,

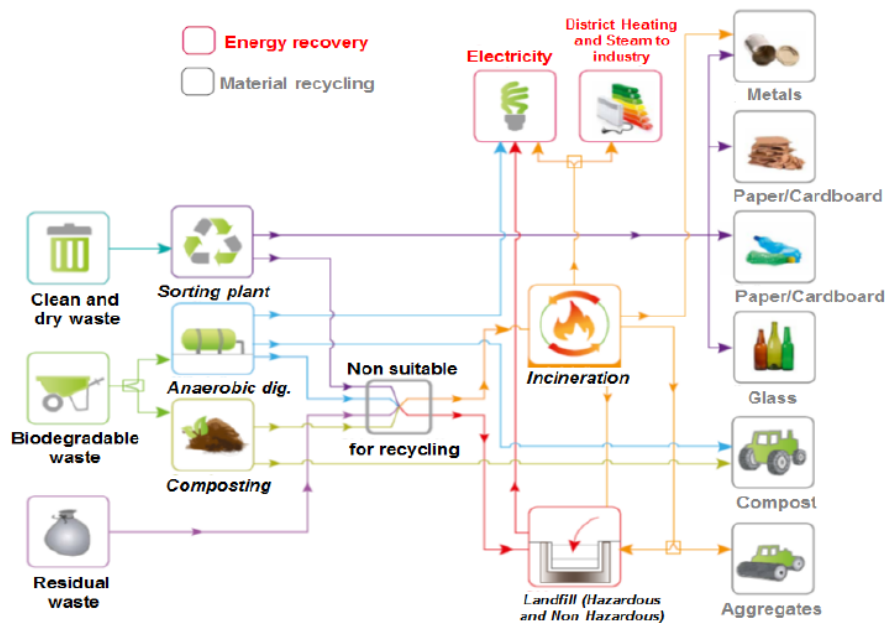
## **d. As plantas de incineração com recuperação de energia são uma ameaça à saúde das comunidades vizinhas e à população em geral**

- Os padrões atuais de emissão de poluentes exigidos dos incineradores com recuperação de energia, em geral, são muito mais restritivos e abrangentes do que os exigidos de equipamentos de combustão de combustíveis fósseis e biomassas;
- Nos sistemas de controle de incineradores, esses poluentes têm de ter monitoração contínua, além de incluir outros poluentes, como HCl, HF e hidrocarbonetos totais;
- A lista de poluentes monitorados de forma descontínua também é muito mais ampla do que para os combustíveis fósseis, envolvendo dioxinas e furanos e substâncias inorgânicas (Cd, Tl, Pb, Hg e seus compostos, Ni, Cr etc.);
- Além disso, os incineradores contam com dispositivos de segurança e intertravamentos, que interrompem automaticamente a sua operação no caso de ultrapassagem dos limites de emissões estabelecidos pelos órgãos ambientais.

e. É possível zerar o material enviado para aterros somente utilizando a reciclagem, compostagem e biodigestão, sem a necessidade da incineração.

• Os sistemas de reciclagem de RSU, apresentam limitações técnicas e econômicas que impedem o aproveitamento total do RSU.

Ex: Se a coleta seletiva atingir 60 % do RSU; 70 % desse material for corretamente separado e finalmente 80 % desse material tenha mercado, **somente haverá a reciclagem de 34 % do RSU** ( $0,60 \times 0,70 \times 0,80 = 0,34$ ).



## **f. As cinzas geradas pelos incineradores são contaminadas e agridem o meio ambiente.**

- Existem dois tipos de cinzas geradas em incineradores de grelha. As **cinzas volantes**, recolhidas no sistema de tratamento de gases, que representam cerca de **2 a 3 % do material incinerado (1 % em volume)**, e as **cinzas de fundo**, recolhida ao final da grelha, que representam de **10 a 20 % em massa do RSU incinerado (metais, vidros, cerâmicas, pedras etc.)**.
- Os metais ferrosos (ferro e aço, representam cerca de 6 a 10 % da cinza de fundo), podem ser vendidos para produtores de aço. Metais não ferrosos (alumínio, cobre e zinco, representam cerca de 1 a 2% das cinzas de fundo) podem ser refinados e reciclados.
- O restante apresenta níveis de contaminação semelhantes aos encontrados em solos na Europa e pode ser utilizado como areia e agregado na construção de estradas, cobertura de aterros sanitários, na preparação de asfalto e concreto etc. O uso desse material é regulamentado na Europa e cerca de 80% é utilizado na construção de estradas e ruas na França. Na Holanda, 100% da cinza de fundo é reciclado, na Alemanha 60% e na Dinamarca mais de 70%.
- **As cinzas volantes, por estarem contaminados com resíduos perigosos (dioxinas e furanos, metais pesados etc.), necessitam de tratamentos especiais para inertização desses poluentes (em geral mistura com cimento) antes da sua disposição em aterros controlados.**

**g. Incineradores modernos produzem mais gases de efeito estufa que fontes queimando combustíveis fósseis e aterros.**

- Para a "United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)" a incineração de RSU com recuperação de energia é uma tecnologia incluída no escopo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e passível de receber certificados de crédito de carbono.
- Estudos indicam que a incineração de RSU com geração de energia elétrica leva a uma redução de emissão de gases de efeito estufa, quando comparado com a geração da mesma quantidade de energia elétrica via queima de carvão mineral e aterro da mesma quantidade de RSU, mesmo com aproveitamento de 50% do gás metano gerado no aterro.

## h. A incineração vai eliminar empregos na cadeia atual de tratamento de RSU

- Estudo da Comissão Europeia de 2005, conclui que a incineração gera de 2 a 4 vezes mais empregos que aterros e, **quando associada a uma política de gerenciamento integral de RSU, tende a elevar significativamente o total de mão de obra empregada no tratamento de RSU em relação à situação atual**, principalmente em países com pouca coleta seletiva como o Brasil.

## i. O número de incineradores no mundo está caindo

- O número de incineradores no mundo está na realidade aumentando, bem como a taxa de reciclagem de resíduos. O que está caindo é a taxa de aterramento de resíduos;
- A China, que atualmente está empenhada em reduzir drasticamente a poluição atmosférica, vem implantando na última década, de forma acelerada, incineradores com recuperação de energia, contando atualmente com mais de 200 unidades em funcionamento e mais 40 em construção. Na China cerca de 34 % do RSU está sendo incinerado, sendo o restante aterrado, em sua maioria.

## Waste-to-Energy in Europe in 2013

- Waste-to-Energy Plants operating in Europe (not including hazardous waste incineration plants)
- Waste thermally treated in Waste-to-Energy plants in million tonnes

429 incineradores

82,1 milhões t RSU

Data supplied by CEWEP members unless specified otherwise  
 \* From EUROSTAT  
 \*\* Includes plant in Andorra



info@cewep.eu | www.cewep.eu



Como se pode verificar nos mapas, na maioria dos países houve aumento do número de incineradores, principalmente na Alemanha. Nos poucos em que houve redução no número (Itália e França, por exemplo) ocorreu aumento na quantidade incinerada, indicando um aumento de capacidade dos incineradores remanescentes.

## Waste-to-Energy in Europe in 2017

- WtE Plants operating in Europe (not including hazardous waste incineration plants) : 492

- Waste thermally treated in WtE plants (in million tonnes): 96

Data supplied by CEWEP members and national sources

\* Includes plant in Andorra and SAICA plant





# Informações adicionais sobre incineração

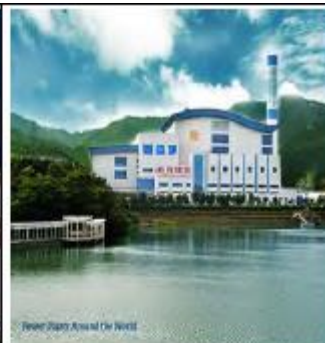
Fotos de alguns incineradores em operação no mundo



Cleveland, Teeside, UK



Marchwood, Hampshire, UK



Shenzen, China



Bobligen, Germany



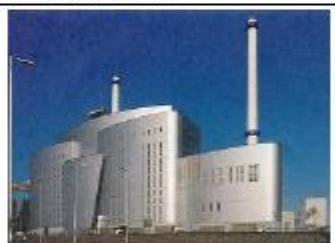
Esbjerg, Denmark



Hengelo, The Netherlands



Pali, Taipei, Taiwan



Rotterdam, The Netherlands



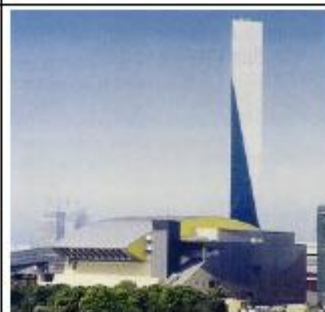
St Ouen, Paris, France



Hirano, Osaka, Japan

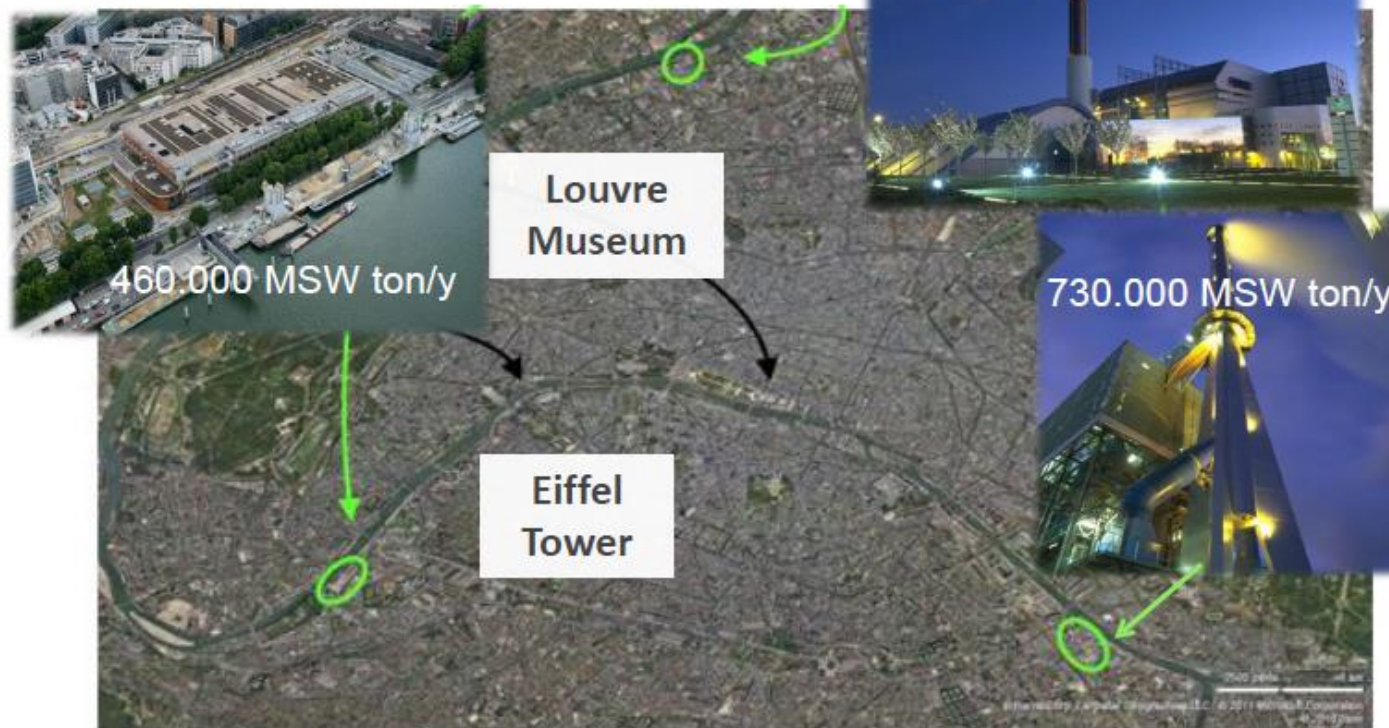


Isle of Man, UK



Tokyo, Japan

# Incineradores em operação em Paris



**Incineração é uma das alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos que, apesar de ser uma opção cara, contribui com a melhoria do meio ambiente.**

## Vantagens

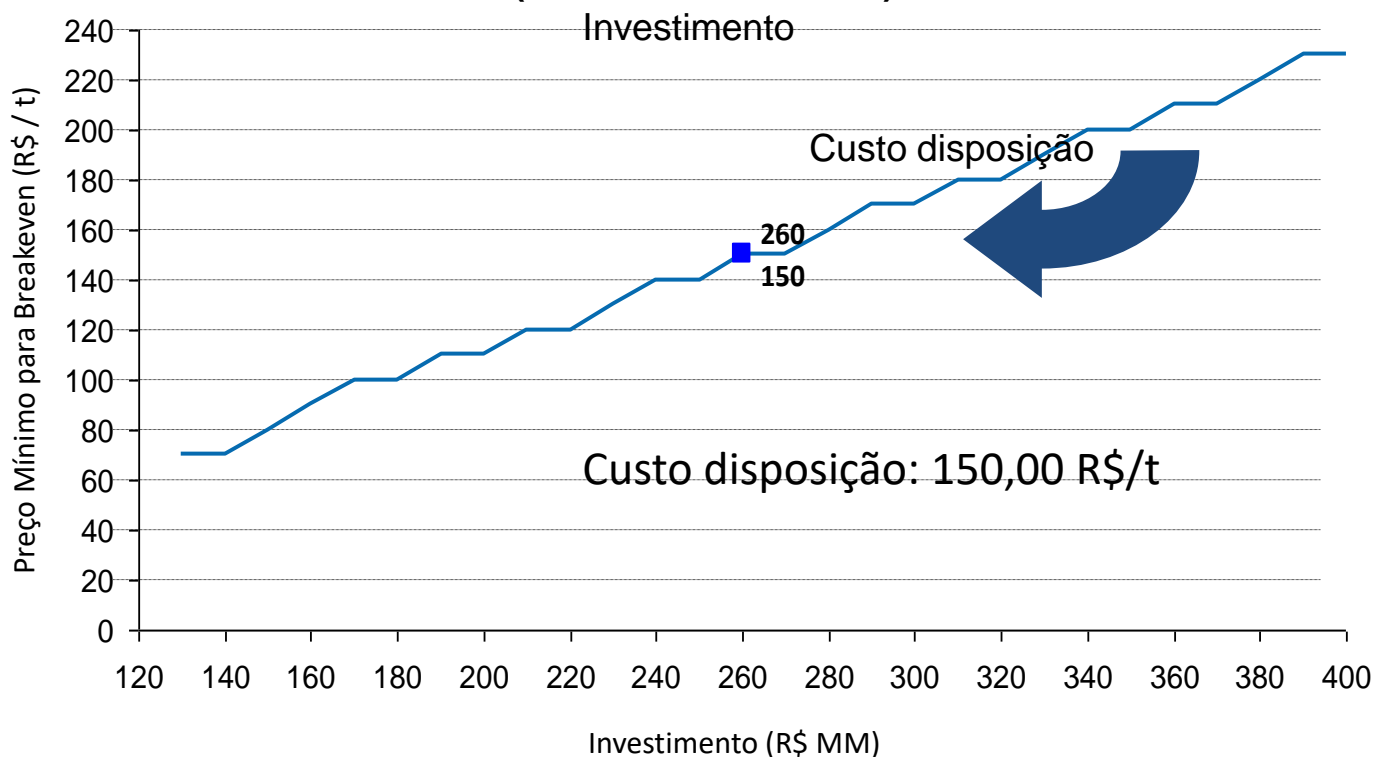
- redução significativa de: área de disposição de resíduos, transmissão de doenças, geração de gás metano, formação de efluentes líquidos, contaminação do solo e lençóis d'água, odores indesejáveis e outros passivos ambientais significativos
- resíduos incinerados não necessitam de pré-tratamento
- proporciona grande redução de volume e massa (90 e 70%, respectivamente), aumentando a vida útil dos aterros
- reduz custo de transporte, pois pode ser instalado próximo da fonte geradora
- permite recuperar energia dos resíduos (vapor e energia elétrica) com maior eficiência , comparativamente a outros métodos de disposição, como biodigestão
- gera empregos diretos e indiretos qualificados e pode agregar benefícios sociais locais, quando integrada com plantas de triagem, de reciclagem e de biodigestão, gerando empregos adicionais

## DESVANTAGENS

- alto CAPEX frente às demais técnicas de destinação
- alto OPEX em virtude das condições de operação
- **custo de disposição maior do que de aterro sanitário, para a maioria dos municípios do país**

**Viabilidade Econômica:** análise de sensibilidade do custo de disposição de RSU para um incinerador com capacidade de 250 mil t/ano (preço de venda de E. Elétrica 200R\$/MWh; WACC 7,9% e impostos) não mostra viabilidade econômica em relação a aterros sanitários, atualmente. (ano de referência: 2013); CAPEX: 260 MM R\$.

### Análise de Sensibilidade – Investimento vs. Preço de disposição de RSU (Curva de Breakeven)



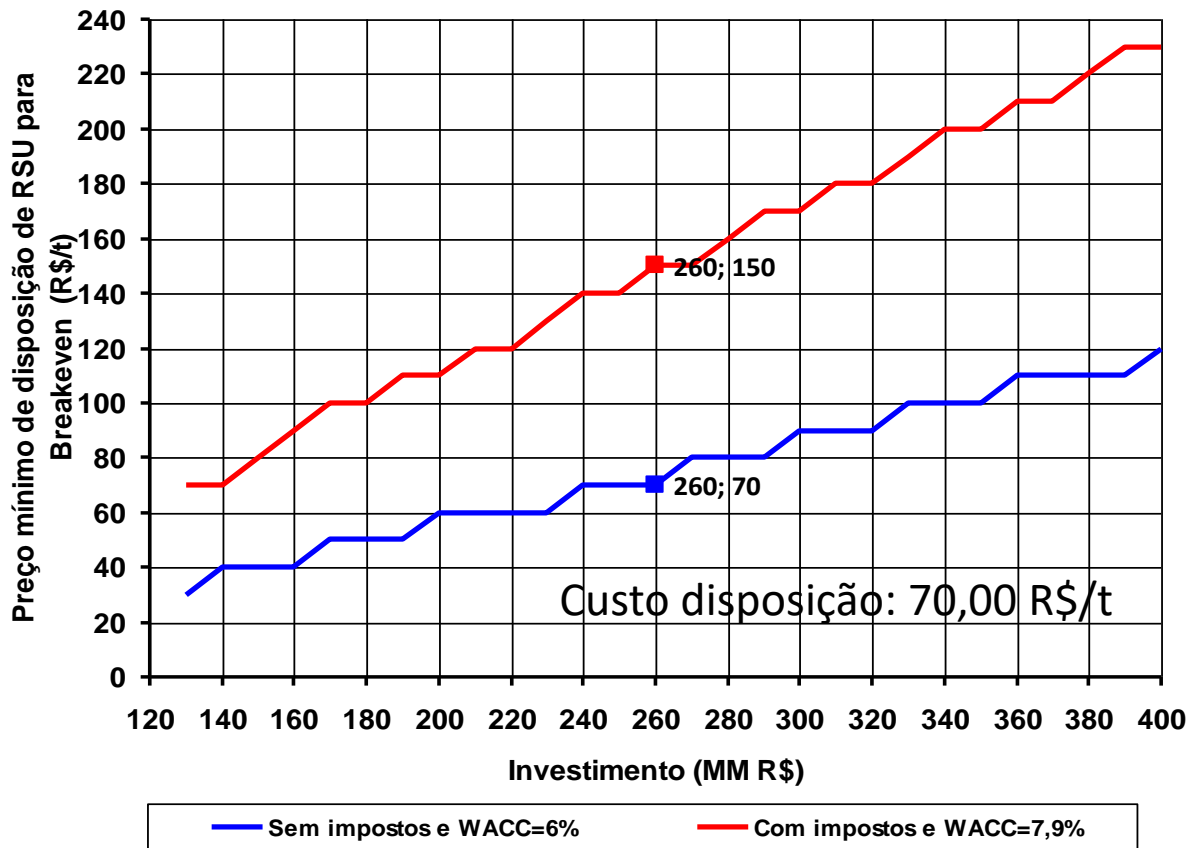
#### Custo de Disposição R\$/t (coleta+aterro)

- Aparecida do Norte: 100
- Caraguatatuba, Ubatuba, Ilhabela e São Sebastião: 150 (Somente no Verão)
- Maringá: 80
- São Bernardo do Campo: 72
- Santo André: 65

Fonte: Municipal Solid Waste Incineration – A Decision Maker’s Guide, The World Bank; Waste Incineration – European Commission; Plano de Negócios Referência SJC.

**Alternativas:** as UTRs podem se viabilizar a partir de **isenção fiscal total e WACC menor**, podendo chegar a R\$ 70/t, tornando-se competitivo com os aterros sanitários atuais

### Análise de Sensibilidade – Investimento vs. Preço RSU (Curva de Breakeven)



### Soluções

Implantação de políticas públicas incentivando o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (isenção de impostos e taxas de retorno de capital menores; legislação restringindo aterro de resíduos com elevado teor orgânico, preço diferenciado para energia elétrica gerada em UTRs etc.)

# Desenho representativo da Unidade de incineração de Barueri: Operadora FOXX-HAZTEC; Projeto: Keppel Seghers no Brasil



Data prevista de início: outubro 2019

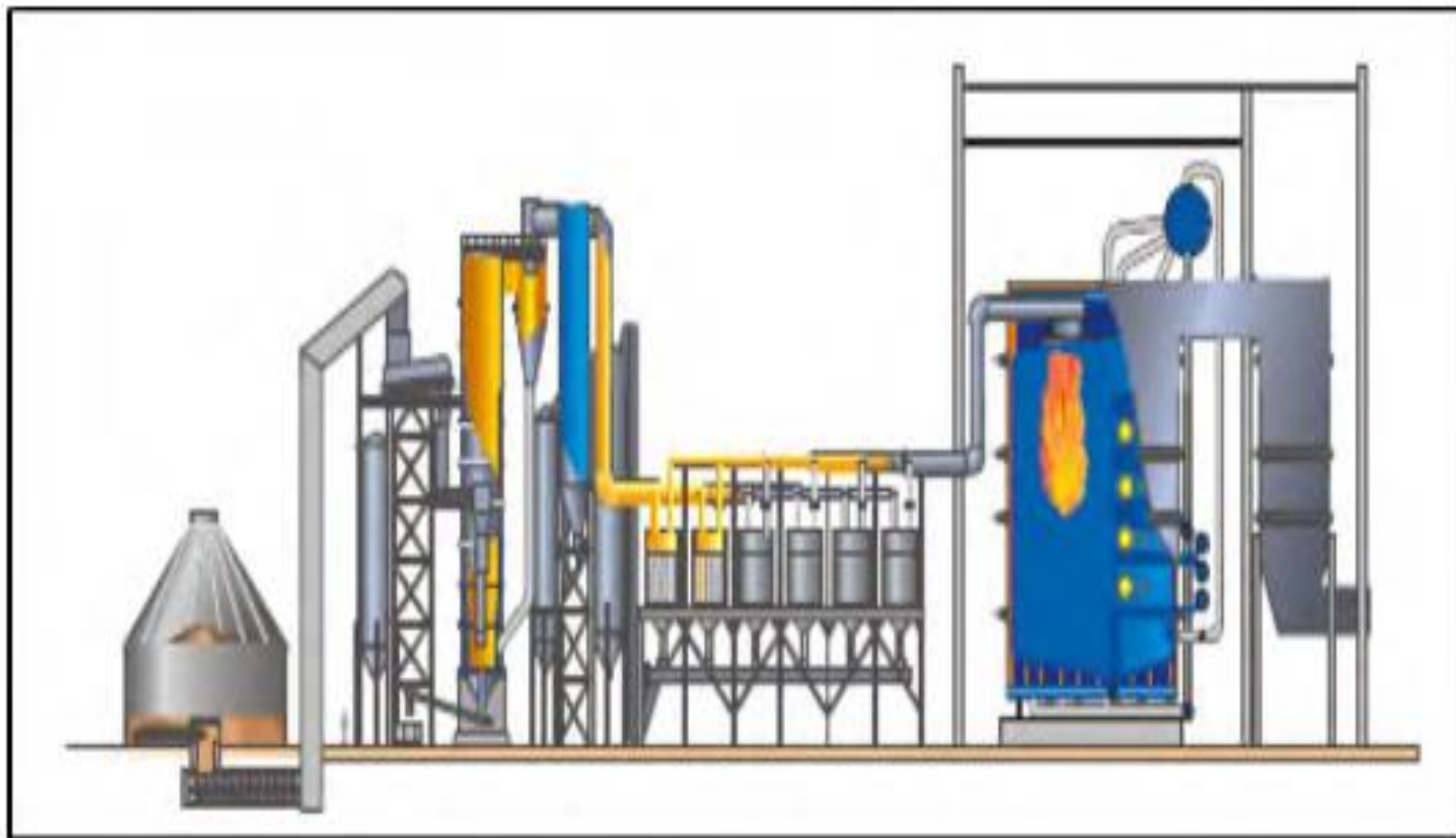
Data conclusão: 2021

# GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS





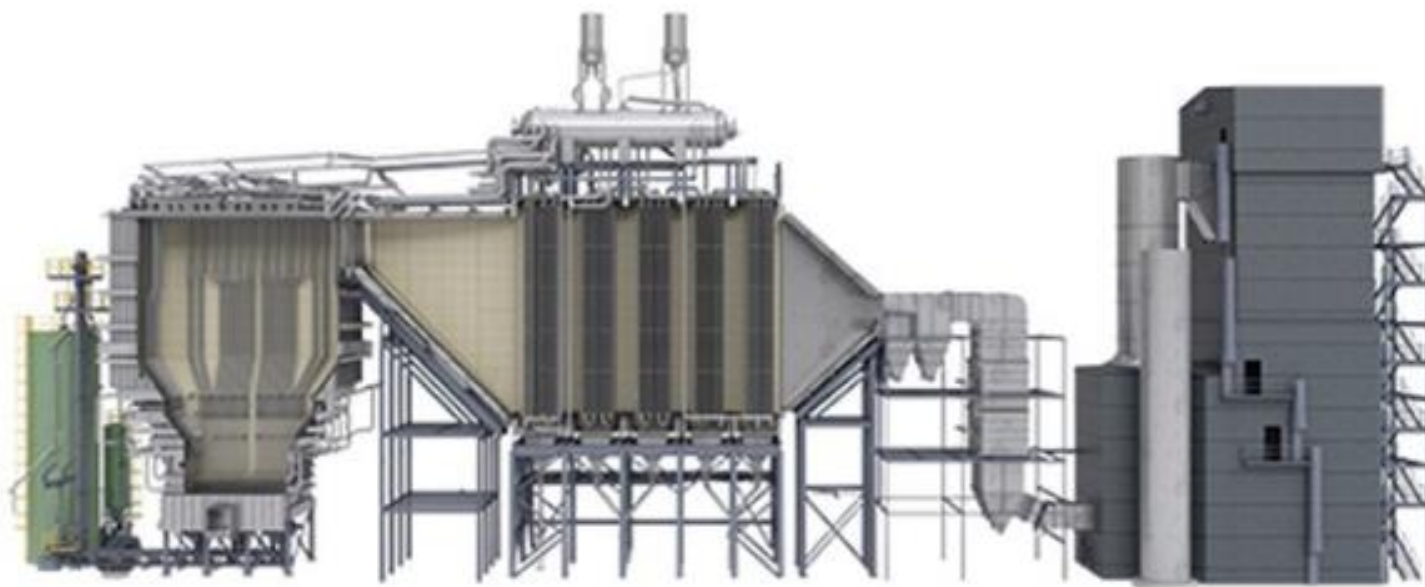
# Gaseificadores leito fluidizado de CDR



Source: Metso Power

~600 t/dia de CDR; 2 linhas; 50 Mwe + 90 MWth

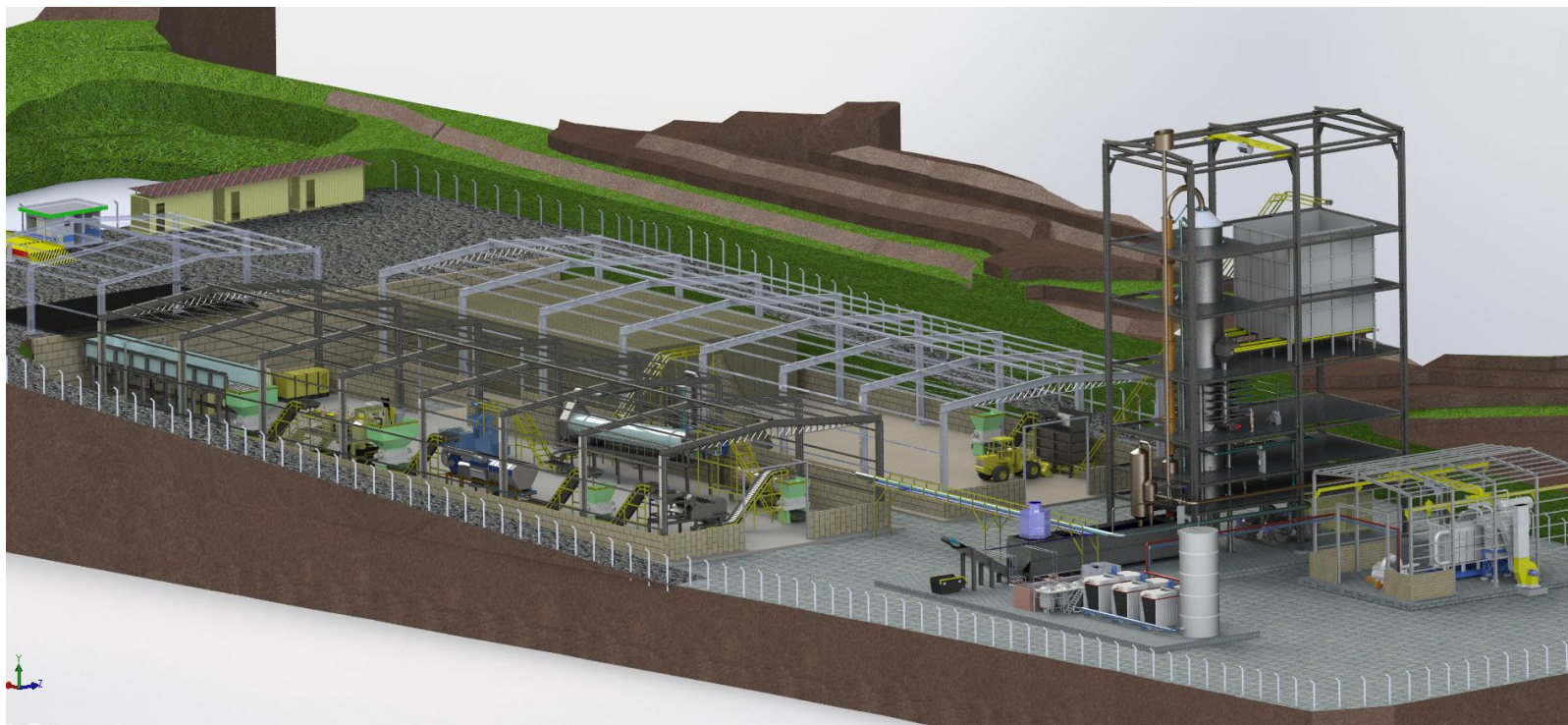
# Gaseificadores leito fluidizado de CDR



OUTOTEC® ADVANCED STAGED GASIFIER

# Boa Esperança – MG - FURNAS

Fonte: Carbogas



60 t/dia de RSU; 1 MWe; invest. ~ R\$ 30 milhões;

Fase final montagem e comissionamento

**Equipamentos para testes de  
incineração, gaseificação e  
pirólise de resíduos do IPT**

# Reator de leito fluidizado em escala de bancada para testes de incineração instalado no IPT em 2017

## Características

- Leito fluidizado;
- Capacidade: até 5 kg/h;
- Sistema de alimentação contínua de combustível sólido.

## Entregáveis

- Testes de combustão (incineração) para atendimento as demandas das empresas no reaproveitamento de resíduos sólidos para fins energéticos;
- Caracterização dos resíduos sólidos antes e após a incineração;
- Estimativa do rendimento energético e medição de emissões gasosas e sólidas (gases ácidos, dioxinas e furanos, metais pesados etc.).



# Aparato experimental do IPT em escala laboratorial para testes de gaseificação e pirólise em leito fluidizado borbulhante

Equipamento em escala laboratorial contínuo para avaliar a gaseificação e pirólise de resíduos: capacidade ~1,5 kg/h (ar, oxigênio+vapor d'água, nitrogênio)



# OBRIgADO!

[adidas@ipt.br](mailto:adidas@ipt.br)

Tel.: 11 3767.4283