

CDR como ferramenta para a Gestão Sustentável de RSU

Espa. Enga. Adva. Christiane Pereira
chrdiasp@tu-bs.de
12.11.2021



- Primeira Universidade Tecnológica na Alemanha – fundada em 1745
- Orçamento de 2020: 380 milhões de euros sendo 30% de origem de terceiros
- 18.566 estudantes, sendo 18 % estrangeiros e 41 % mulheres.
- 3.800 colaboradores
- 330 cooperações internacionais com universidades e centros de pesquisa em 50 países





O ProteGEEr é um projeto de cooperação técnica entre o Brasil e a Alemanha para promover uma gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos urbanos, articulada com as políticas de proteção do clima.

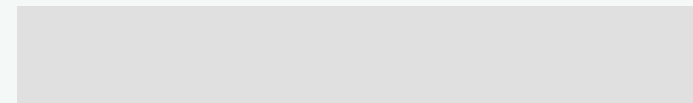
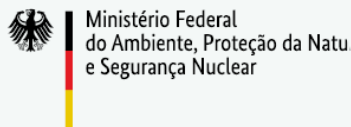
www.protegeer.gov.br
www.teach4waste.com



UNIVERSIDADE FEDERAL
 DE SANTA CATARINA



POR ORDEM DO



- 1. GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RSU**
- 2. SETOR CIMENTEIRO**
- 3. COPROCESSAMENTO**
- 4. CDR**
- 5. POTENCIALIDADE DE MERCADO**
- 6. EQUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA**
- 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**



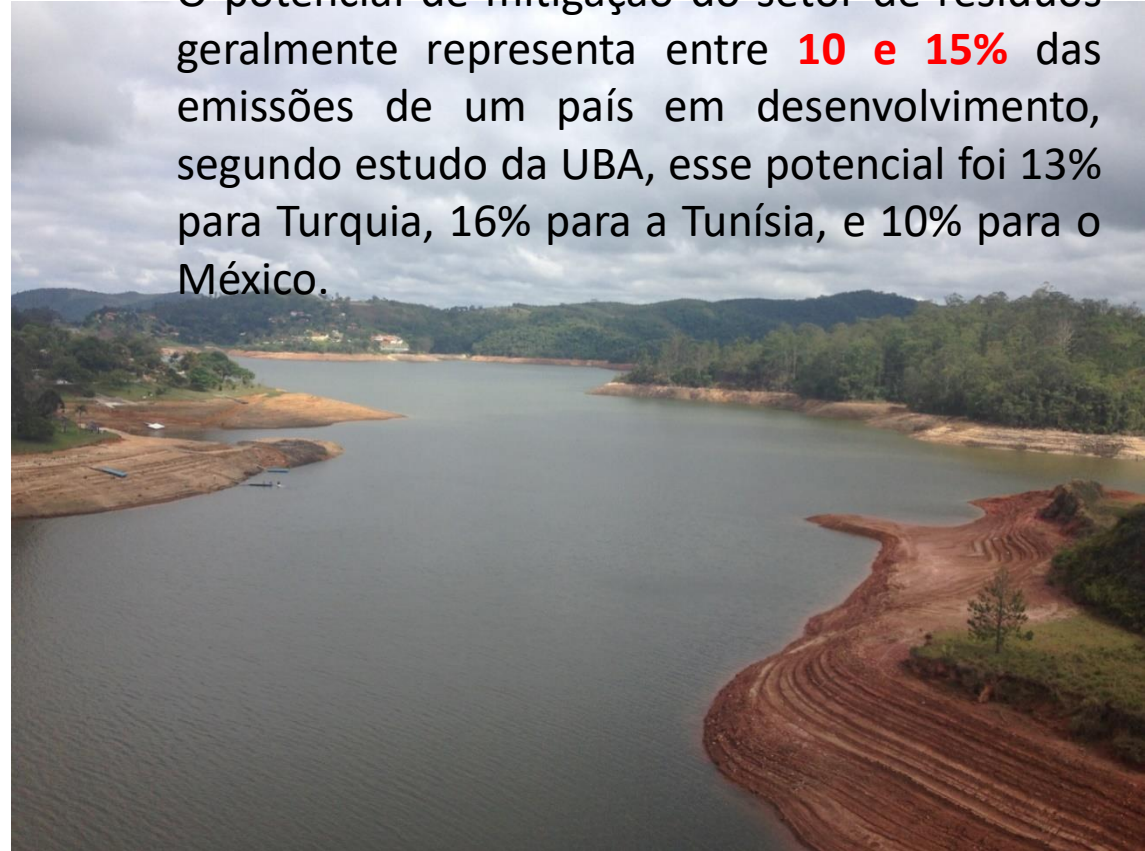
1. GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RSU



O setor de resíduos gerou, no ano de 2018, cerca de 929 milhões de tCO₂, isto representa cerca de 5% das emissões de GEE do Brasil (considerando 2% por parte de esgotos sanitários).

Da parcela específica de resíduos sólidos, a maior parte da emissão de GEE é derivada da disposição final em aterros e lixões.

O potencial de mitigação do setor de resíduos geralmente representa entre **10 e 15%** das emissões de um país em desenvolvimento, segundo estudo da UBA, esse potencial foi 13% para Turquia, 16% para a Tunísia, e 10% para o México.



Justificativa para a valorização de RSU: CDR



ECONÔMICAS	AMBIENTAIS	SOCIAIS
Custos elevados para pós-encerramento de aterros	Redução dos impactos ambientais	Geração de empregos verdes: inclusão social
Resíduos em recursos	Preservação dos recursos naturais	Sensibilização ambiental: mudança nos hábitos de consumo e descarte
Incremento no preço da energia	Demanda por composto	Compromissos societários
Racionalização de custos	Diversificação da matriz energética	Desenvolvimento de capacidades

Evolução do Tratamento de RSU na Europa

Municipal waste landfilled, incinerated, recycled and composted, EU-27, 1995-2019

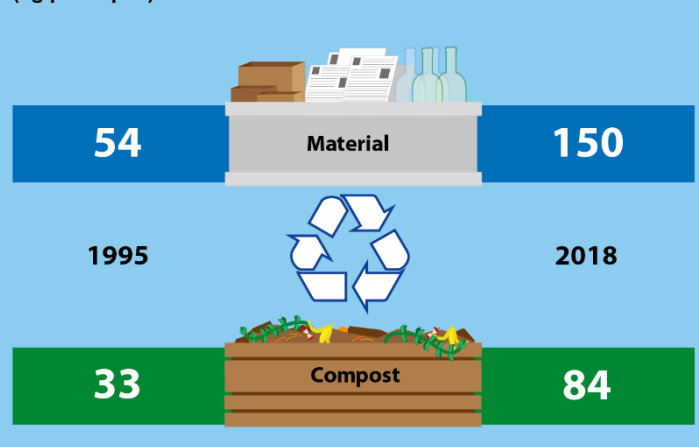
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Change 2019/1995 (%)	
million tonnes																											
Landfill	121	117	117	114	113	112	107	104	99	93	88	88	87	83	82	79	74	67	63	59	57	54	53	52	53	-56	
Incineration	30	30	33	33	34	36	37	39	39	41	45	48	49	51	52	53	55	54	56	57	57	58	59	59	60	102	
Material Recycling	23	26	30	32	37	38	40	43	43	43	46	47	52	53	54	55	56	58	56	59	63	65	66	67	68	195	
Composting	14	16	17	18	19	23	23	24	24	26	26	27	28	30	30	29	29	30	31	33	33	36	38	38	39	176	
Other	10	13	12	11	12	11	12	12	12	13	16	13	11	10	7	6	6	6	5	4	4	5	6	6	4	-59	
kg per capita																											
Landfill	286	276	276	266	263	262	250	241	229	215	202	202	199	190	186	178	167	153	142	134	127	121	118	116	119	-58	
Incineration	70	71	77	78	79	84	87	90	90	95	103	111	112	116	117	121	125	122	127	128	128	131	132	132	134	91	
Material Recycling	54	62	69	75	85	87	92	100	100	100	105	109	119	120	123	125	128	130	128	134	141	146	148	149	152	182	
Composting	33	38	41	42	45	53	54	57	57	59	59	61	64	69	67	66	66	69	71	73	75	82	85	84	87	162	
Other	24	31	28	26	28	27	26	27	26	31	37	30	23	23	17	13	13	14	10	9	9	10	13	13	10	-58	

Note: estimated by Eurostat.

Source: Eurostat (online data code: env_wasmun)

Considerar que incineração nesta tabela engloba tanto a incineração denominada mass burning quanto em plantas de forças

Recycling of municipal waste in the EU, 1995-2018 (kg per capita)



eurostat

Reciclagem de materiais e recuperação energética são intervenções complementares

Fonte: Eurostat (2018)
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics

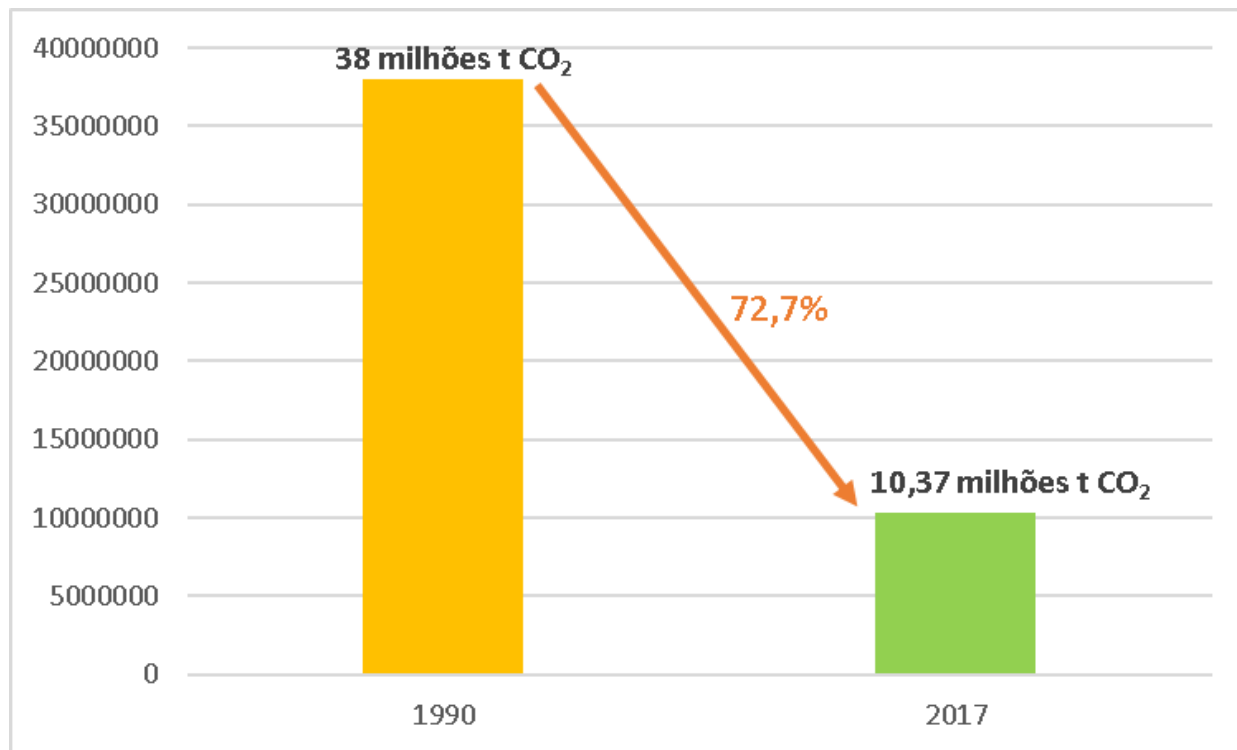
ec.europa.eu/eurostat

Metas da União Europeia para 2030



Atualmente na Europa 48% dos resíduos municipais são reciclados e compostadas, 24 % aterrados e **27 % recuperados energeticamente**. Na Alemanha são aterrados 11 % da geração total de RSU.

Redução das emissões de GEE na Alemanha



4,4 % da energia primária da Alemanha é oriunda da recuperação energética dos resíduos

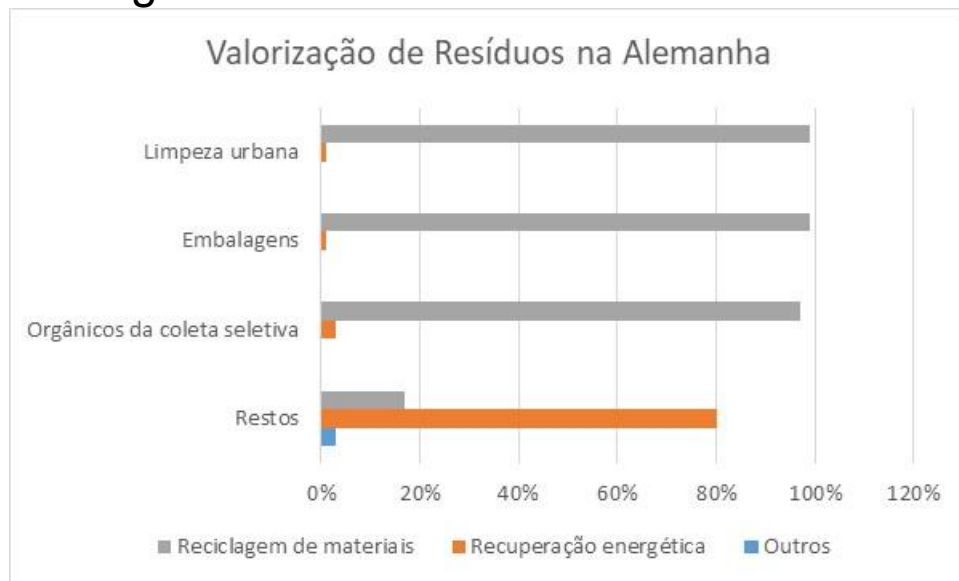
Diretiva de aterros impede aterramento de resíduos in natura desde 2005

Fonte: Klimaschutz in Zahlen BMU 2018
https://www.srh-events.hamburg/export/sites/hamburg_trend/hamburg_trend/galleries/hamburgtrend_docs/2020/vortraege/

Energieerzeugung-aus-Abfallen-Stand-und-Potenziale-in-Deutschland-bis-2030.pdf

- 100 plantas de incineração e planta de força 26,3 Mio t/a
- 52 plantas de TMB (iniciou há 30 anos) 5,5 Mio t/a
- 34 plantas de coprocessamento (63% dos CDRs) 3,6 Mio t/a
- 1242 plantas de tratamento biológico 15,8 Mio t/a

sendo 844 plantas de compostagem de RSD/verdes e 125 biodigestores para orgânicos de RSU

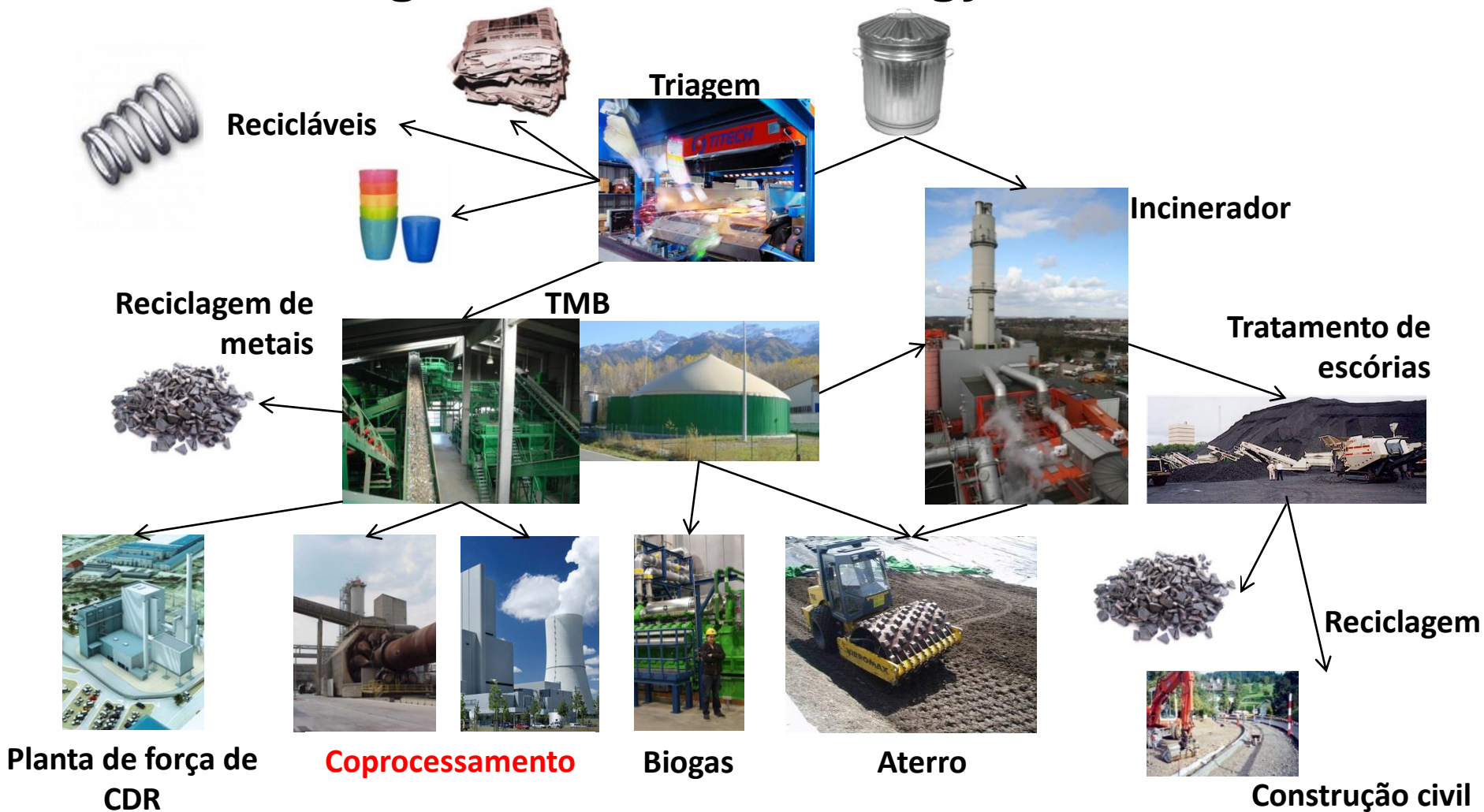


2.430 plantas de recuperação energética em todo o mundo

Na Europa há 570 plantas de TMB com capacidade para 55 Mio t/a, e ainda 120 plantas para o período de 2017 a 2025 (10 Mio t/a).

Recuperação energética total na Alemanha ocorreu em 2015 a partir de 300 plantas produzindo 25 TWh de energia a partir de 48 Mio t/a.

Conceito Integrado: Waste to energy



2. SETOR CIMENTEIRO



Fonte: ABCP

24 grupos produtores

100 fábricas

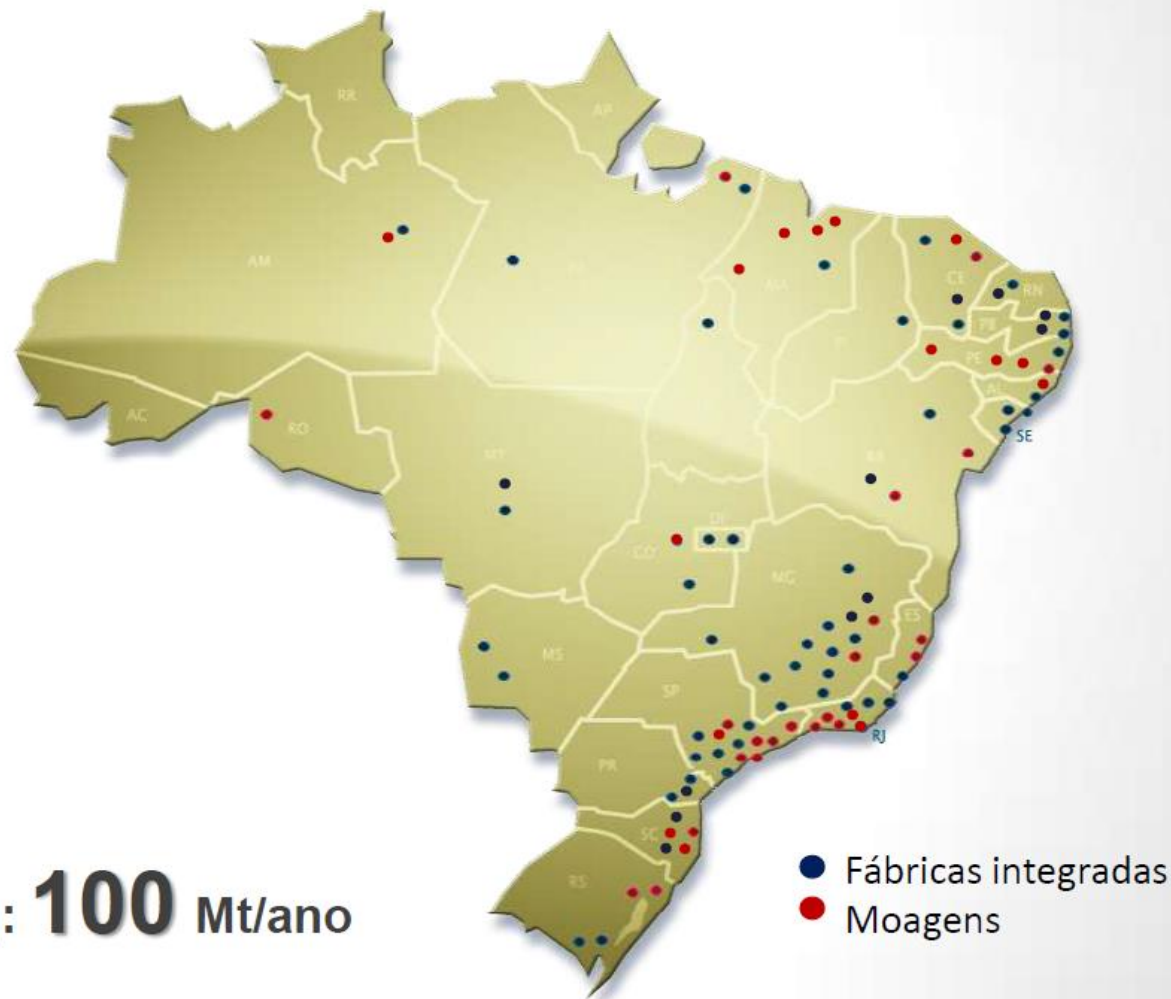
- 62 integradas
- 38 moagens

Produção 2018: **53** Mt

2016: **58** Mt

2014: **71** Mt

Capacidade Instalada (2018): **100** Mt/ano



Fonte: SNIC

61 fábricas com potencial
38 fornos licenciados para coprocessamento

Venda de Cimento no Brasil



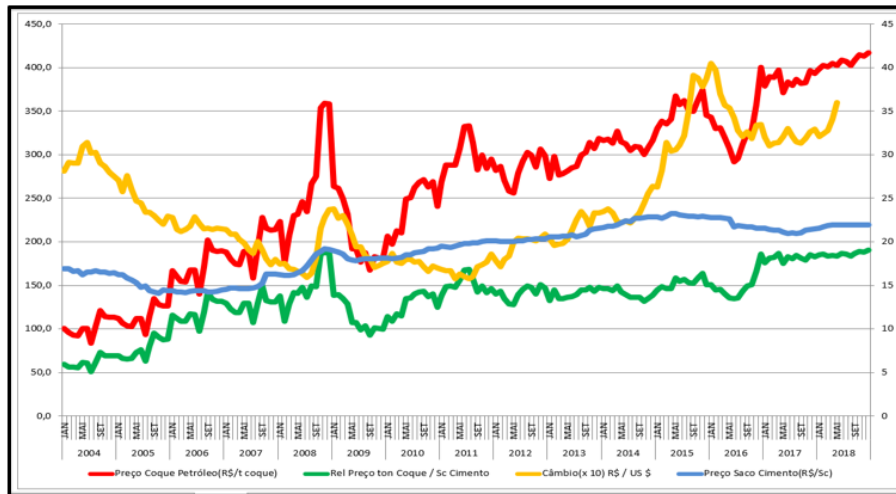
Fonte: SNIC 2017



Contextualização Mercado Cimento no Brasil

- De acordo com a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, existem **hoje 24 Grupos Cimenteiros em atuação no Brasil**, com 100 fábricas de cimento e uma **Capacidade Instalada de Produção total de 102Mton/ano**.
- Em função da retração na economia em 2017, houve um **Excesso de Capacidade no Setor de aprox. 50%**.
- Em 2018, o SNIC trabalha com a expectativa de retração adicional entre -1,0 e -2,0% e estima-se que existam hoje 7 a 10 fábricas paralisadas por questões de demanda retraída do mercado.

Para as Cimenteiras é **FATOR CRÍTICO DE COMPETITIVIDADE** encontrar uma **ALTERNATIVA DE EXPOSIÇÃO** ao COQUE DE PETRÓLEO



- Nos últimos 15 anos:
 - O **Preço Cimento** Aumentou 30%
 - O **Preço PetCoque** Aumentou 425% + efeito do câmbio
 - A **Relação Preço Venda Cimento vs Preço Petcoque** **Quadruplicou**

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)



<https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative>

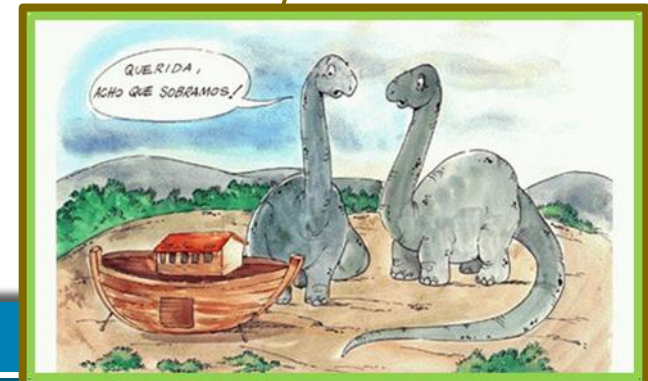
A **Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (CSI)** é um esforço global, sob o guarda-chuva do **WBCSD**, que reúne **25 grandes cimenteiras** com operações em mais de 100 países

Low Carbon Technology Partnership Initiative (LCTPi) – Cement

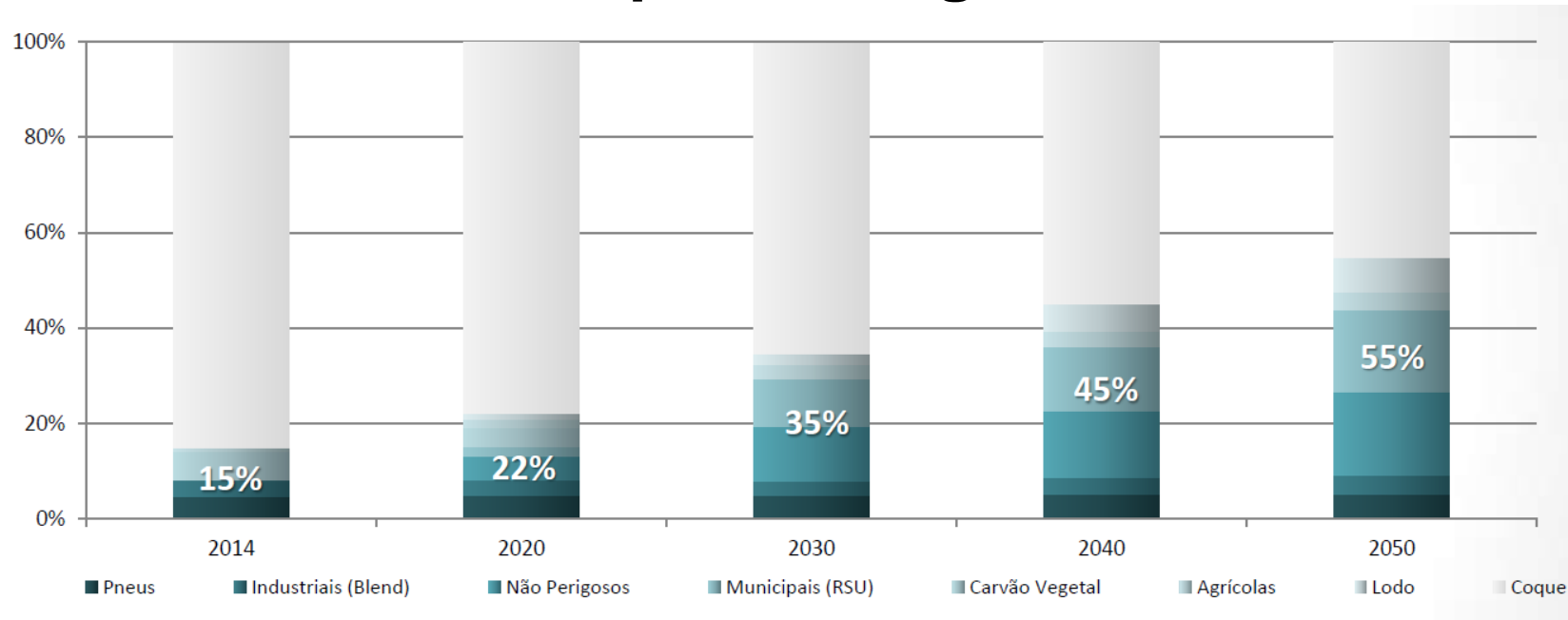
Ambição: Reduzir Emissões CO₂ em 20 ~ 25% até 2030 (Base 2015)

Key Partners: International Energy Agency (IEA), International Finance Corporation (IFC) and National Trade Associations (ABCP no Brasil)

A Sociedade e a Natureza requerem urgência e isso é uma Grande Oportunidade



Roadmap Tecnológico do Cimento



Esta projeção está baseada principalmente na utilização dos resíduos sólidos urbanos e dos lodos das estações de tratamento de efluentes.

	ano 2020	2030	2040	2050
Roadmap				
Projeção	% 22%	35%	45%	55%
Realizado	% 23%			
	ano 2019			

3. COPROCESSAMENTO



Fonte: ABCP

Emissões de GEE segundo estratégias de gestão de RSU

Aumento das
Emissões de GEE

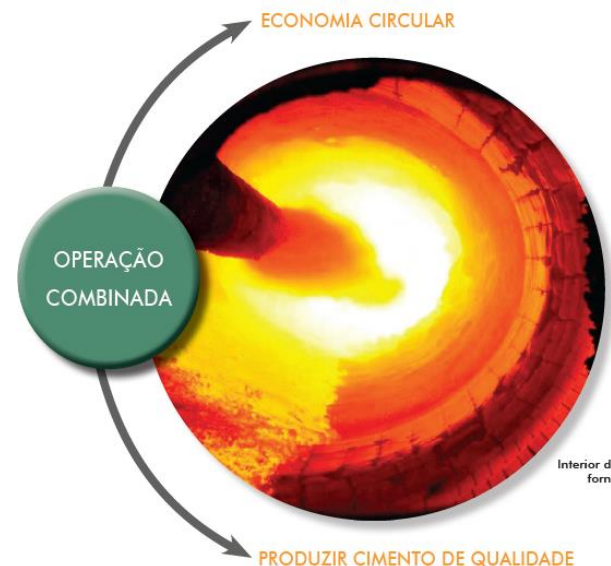


- ❖ Processo consolidado na Europa, Estados Unidos e Japão há 50 anos.
- ❖ Na União Europeia representa cerca de 35% do consumo total de energéticos.
- ❖ No Brasil, a atividade teve início na década de 90, nas regiões Sul e Sudeste, tendo sido regulamentada pelos órgãos ambientais do RS, PR, SP e MG e, em âmbito nacional, pela Resolução CONAMA 264/99 e representa 9% da matriz de combustíveis utilizados na indústria do cimento.
- ❖ Novos marcos legais federais e estaduais como CONAMA 499/20, ABNT NBR 16849/2020, IN PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 274/2019, entre outras, visam fomentar a recuperação energética.

Os fornos de cimento reúnem as condições adequadas e necessárias para a destruição de resíduos por meio do coprocessamento.

- ❖ Altas temperaturas e longo tempo de residência
- ❖ Alta turbulência dos gases
- ❖ Ambiente alcalino e oxidante
- ❖ Estabilidade térmica
- ❖ Utilização de tecnologias e instalações existentes
- ❖ Destruição total, sem geração de novos resíduos

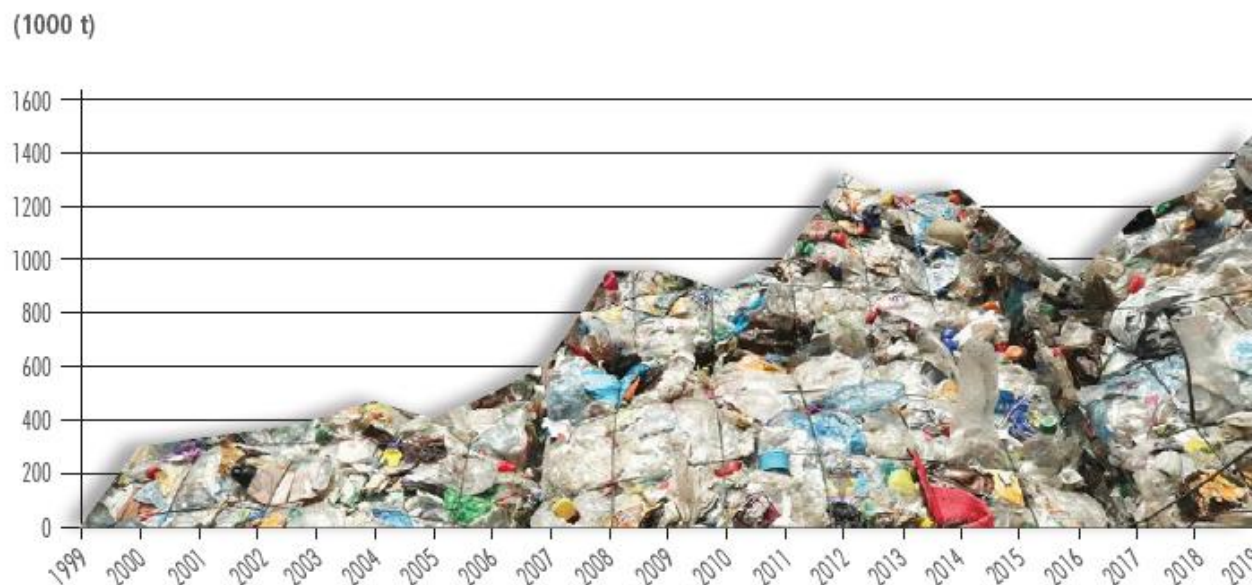
- ❖ Os fornos da indústria do cimento, pelas altíssimas temperaturas alcançadas no seu interior (até 2.000°C), representam uma alternativa amplamente difundida e reconhecidamente adequada e segura para a destruição térmica de resíduos industriais e passivos ambientais.
- ❖ Esse processo, permite, ainda que parcialmente, reduzir o uso de combustíveis tradicionais não renováveis, como o coque de petróleo, o óleo combustível e o carvão mineral.



- ❖ Tecnologia de destinação sustentável e ambientalmente adequada para os resíduos gerados de diversas origens. Tem como principal objetivo **eliminar os resíduos nos fornos de cimento sem gerar novos passivos ambientais**, contribuindo para a preservação de recursos naturais, por substituir matérias primas e combustíveis tradicionais no processo de fabricação do cimento.

Fonte: SNIC e ABCP

Em 2019,
atingiu-se o
patamar de
1.466 milhões
de toneladas
de resíduos
coprocessados.



Ambiental

- Preserva recursos naturais
- Reduz emissões dos gases que causam efeito estufa
- Diminui o passivo ambiental
- Possibilita o crescimento de outras tecnologias adequadas de destinação

Social

- Gera empregos diretos e indiretos
- Contribui para a erradicação dos lixões e melhoria da saúde

Econômico

- Aumenta a vida útil de aterros sanitários
- Diminui custos de energia térmica

Fonte: ABCP

Materiais mais utilizados no coprocessamento

Matérias-Primas Alternativas



Solos de remediação: Sinistros, tombamentos, passivos ambientais, com ou sem contaminação com TPH



Resíduo de gasto do cuba – RGC / Pó de varredura (Corretivo de alumínio)



Lodo de ETE



Carepa de ferro (Corretivo de ferro)

Combustíveis Alternativos



Pneumáticos inservíveis – Pneus Inteiros e Pneus Picados



Blend de resíduos triturados



Blend de resíduos líquidos e pastosos

Insumo Energético Biomassas



Cavaco de madeira



Casca de arroz



Sementes em geral

Fontes de energia para a produção de cimento

Alternative fuels used in Germany in 2016	t/a
Waste tires	201,000
Waste oil	66,000
Pre-processed fractions of commercial and industrial waste, like	
- Pulp, paper, cardboard	81,000
- Plastics and packaging	640,000
- Textiles	7,000
- Others	116,300
Meat and bone meal, fat	145,000
HCF, and its derived RDF or SRF	283,000
Waste wood	< 1,000
Solvents	126,000
Dried sewage sludge	463,000
Others such as oil sludge, distillation residues etc.	58,000

(Source: VDZ 2017)

CDR na produção de cimento na Alemanha

Massa total de CDR aplicada na produção de cimento
(status quo)
Máx. capacidade

2.2 mill t/a (65 % of TSR)
3.4 mill t/a (100 % of TSR)

Proporção de CDR frente a massa total gerada de resíduos : **5.5 %, status quo,**
8.5 %, max. (teórica)

Plant in Schelking (GER)



Plant in Lengfurt (GER)



4. CDR



Definição:

O termo CDR (**C**ombustível **D**erivado de **R**esíduos) cobre amplo espectro de materiais presentes no RSU e RSI que foram processados e que não têm outra utilidade além da energética, caracterizada especialmente pelo alto poder calorífico ou conteúdo energético.

São exemplos:

- refugos do processo de reciclagem de resíduos sólidos urbanos.
- resíduos industriais não perigosos.
- lodos de estações de tratamento de esgoto
- biomassa.

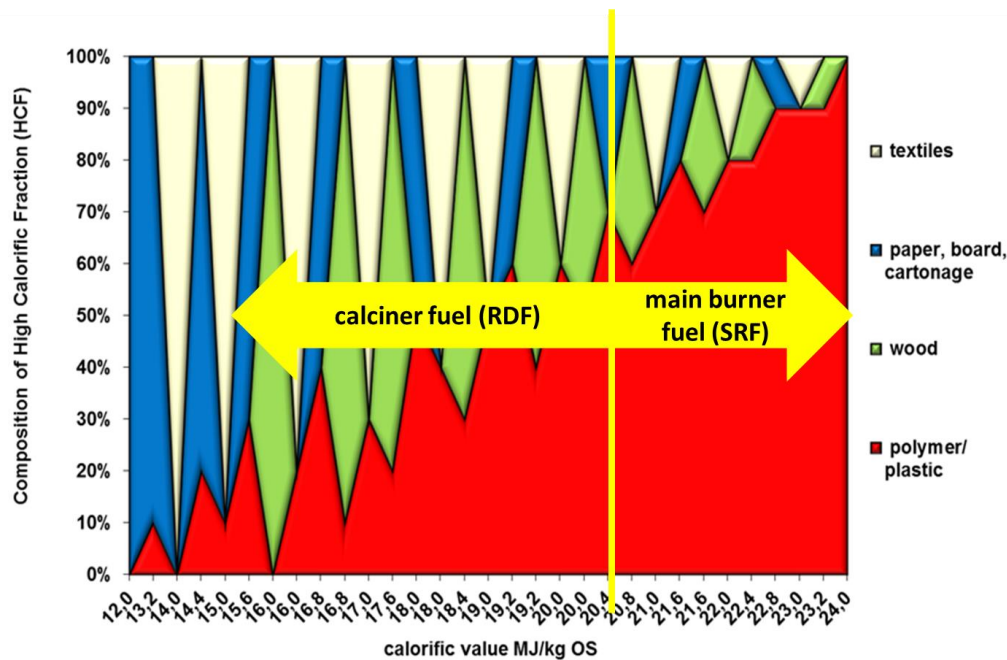
São produzidos a partir de diferentes processos:

- 1) Tratamento Mecânico - TM
- 2) Tratamento Mecânico e Biológico - TMB



Foto CDR Produzido c/ Tecnologia TMB

PRINCIPAIS REQUISITOS DE QUALIDADE E APLICABILIDADE



- Poder Calorífico
- Concentração de Cloro, Umidade e Cinzas
- Forma, Tamanho e Distribuição das Partículas
- Combustibilidade e Ignição
- Concentração de Materiais Contaminantes
- Metais Pesados



High Calorific Fraction (HCF) para uso direto na câmara de combustão (tais como HotDisk™ ou PREPOL™)... 46 %

- tamanho do grão: < 300 mm
- poder calorífico superior: 20- 24 MJ/kg
- densidade : 0,3 - 0,5 t/m³

Ou usado como reserva para futura produção de CDR



Residue Derived Fuel (RDF) para calcinador ... 25 %

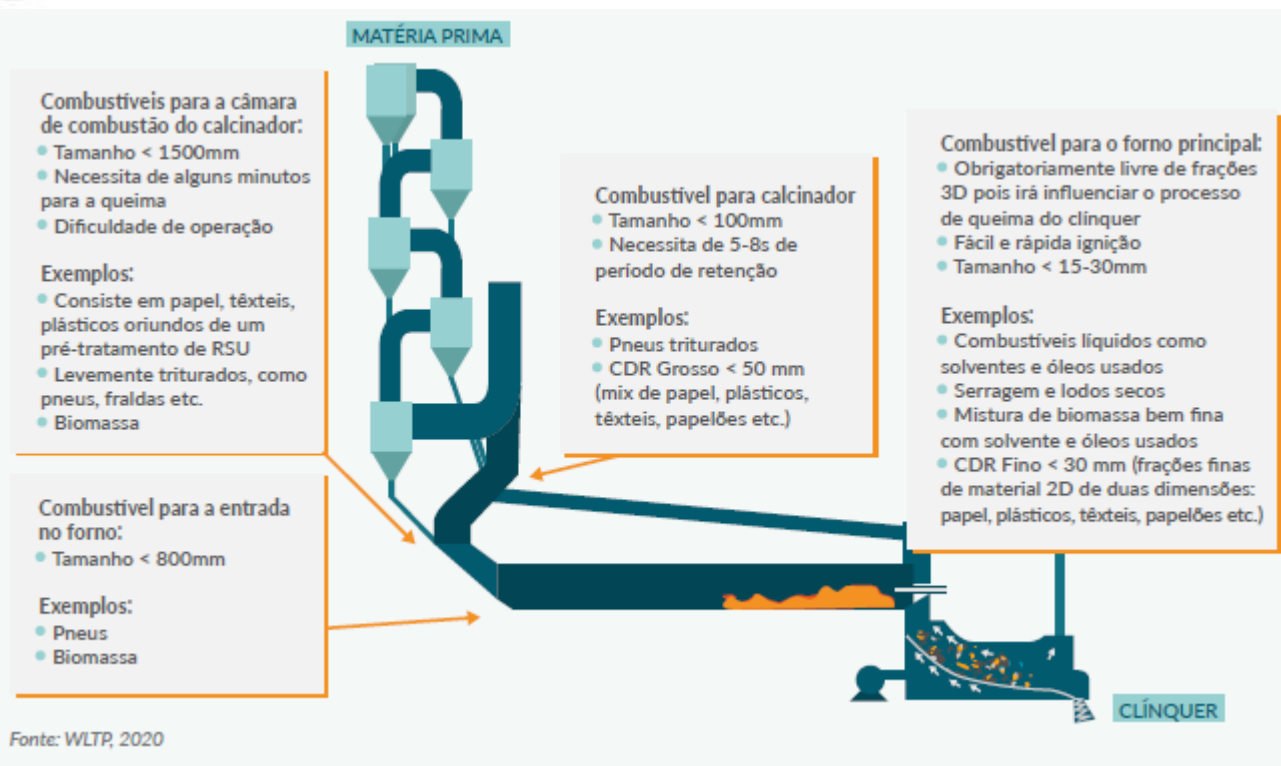
- Tamanho do grão : 50 - 100 mm
- Poder calorífico superior: 15 - 19 MJ/kg
- Densidade : 0,2 - 0,4 t/m³

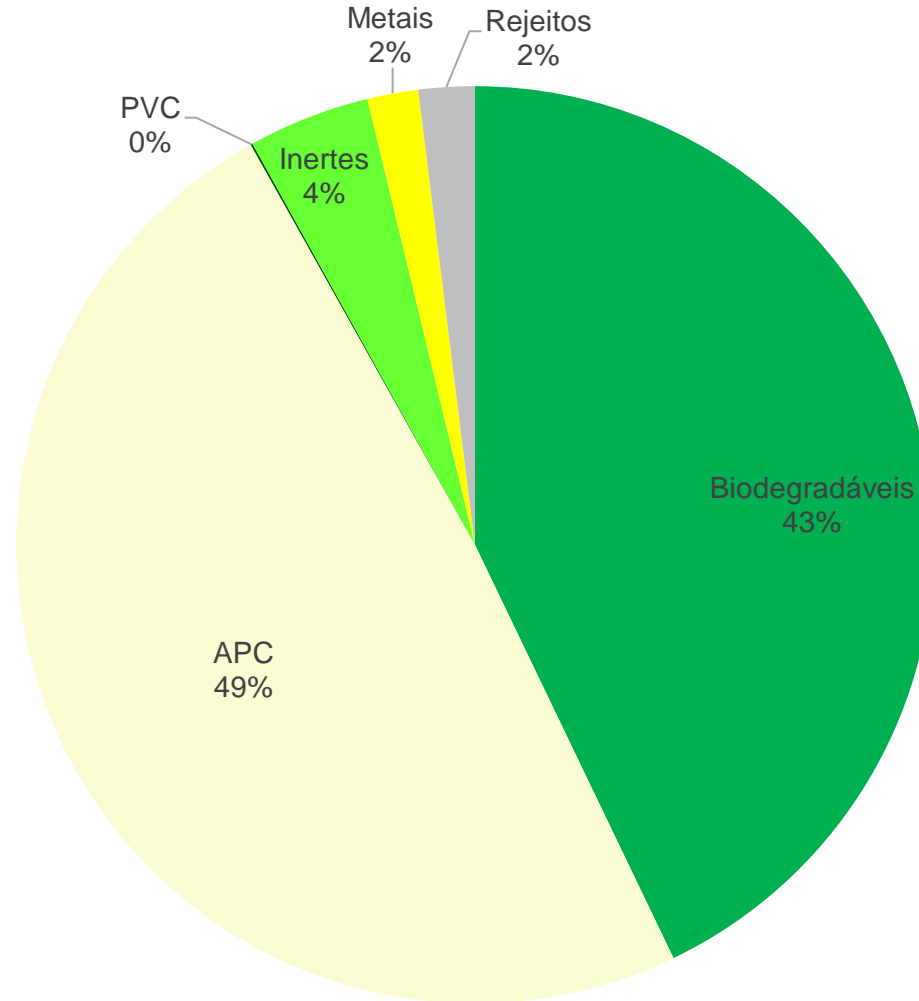


Solid Recovered Fuel (SRF) para queimadores... 14 %

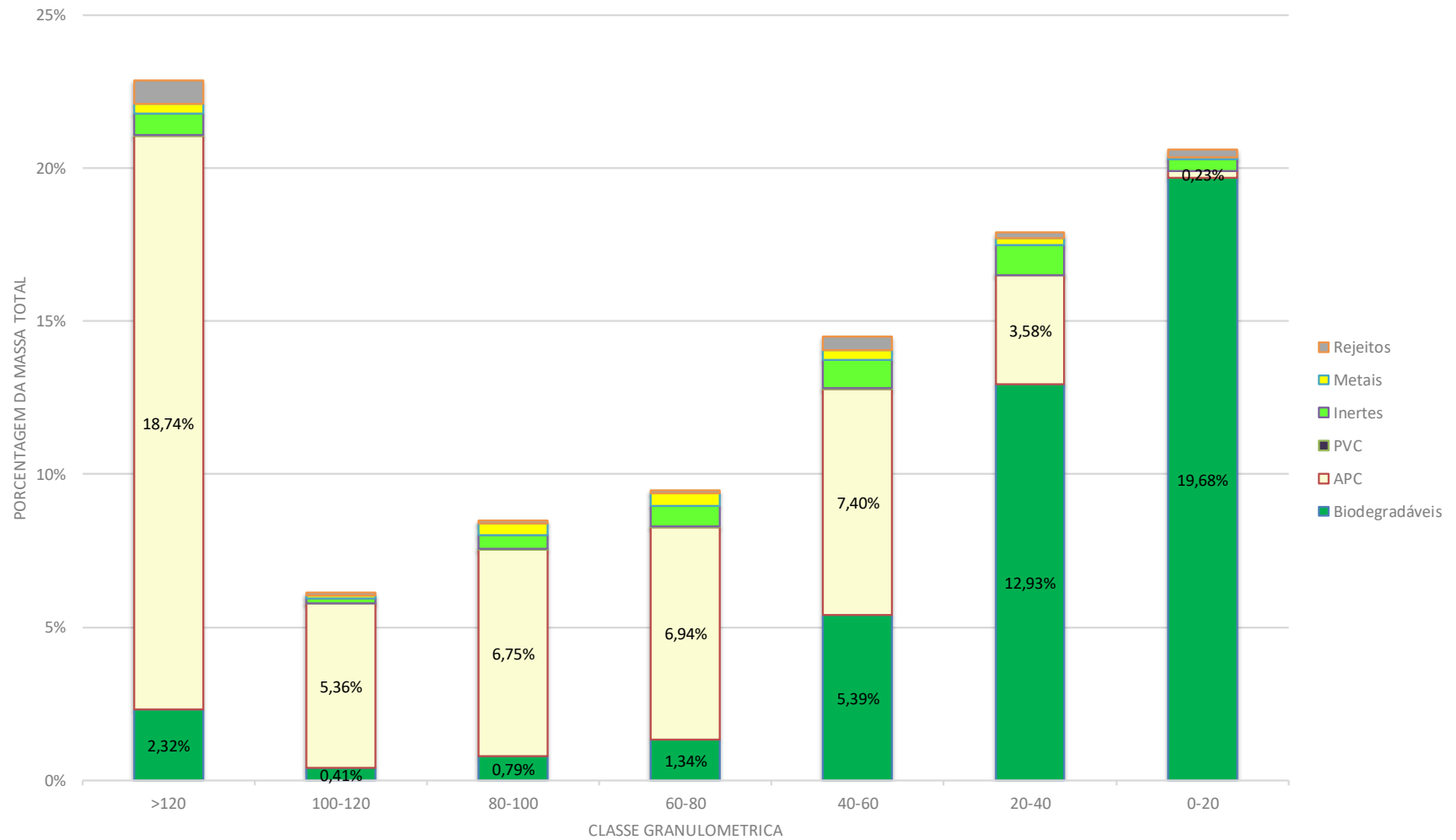
- Tamanho do grão: < 15 - 30 mm
- Poder calorífico superior: a partir de 20 MJ/kg
- Densidade: 0,1 - 0,25 t/m³

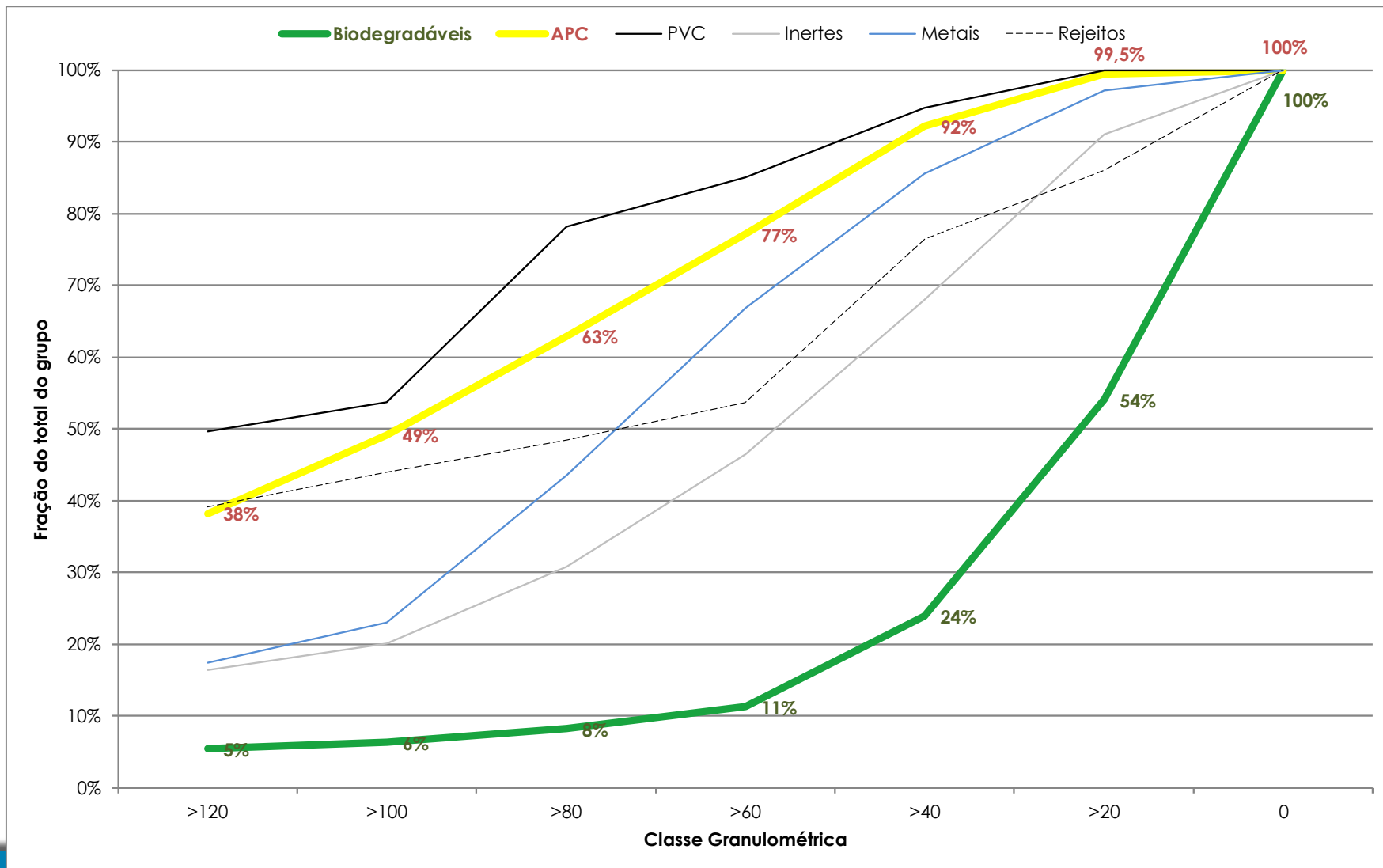
Credits: WLTP





Caracterização referente aos CDR





	Fonte de energia para câmara de combustão do calcinador	Fonte de energia para o calcinador	Fonte de energia para o queimador principal
Tamanho	< 1,500 mm	< 100 mm	< 15 – 30 mm
PCI	~ 12 – 16 MJ/kg	~ 15 – 19 MJ/kg	> 20 MJ/kg
Densidade	0.3 – 0.5 t/m ³	0.2 – 0.4 t/m ³	0.1 – 0.25 t/m ³
Umidade	< 20 – 25 % FM*	< 20 – 25 % FM	< 15 % FM
Cinzas	< 15 % DM**	< 15 % DM**	< 15 % DM**
2D componentes	n.r.***	n.r.	Muito alta
3D componentes	n.r.	n.r.	Zero, quando processado corretamente

* Fresh matter, **dry matter ***no requirements

	Fonte de energia para câmara de combustão do calcinador	Fonte de energia para o calcinador	Fonte de energia para o queimador principal
Hg*		< 1.8 ppm (max.)	
Cd*		< 50 ppm (max.)	
Tl*		< 45 ppm (max.)	
Cl**		< 1 %**	
S**		Ratio S to Cl = 1 : 2	
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn***		< 20,000 ppm	

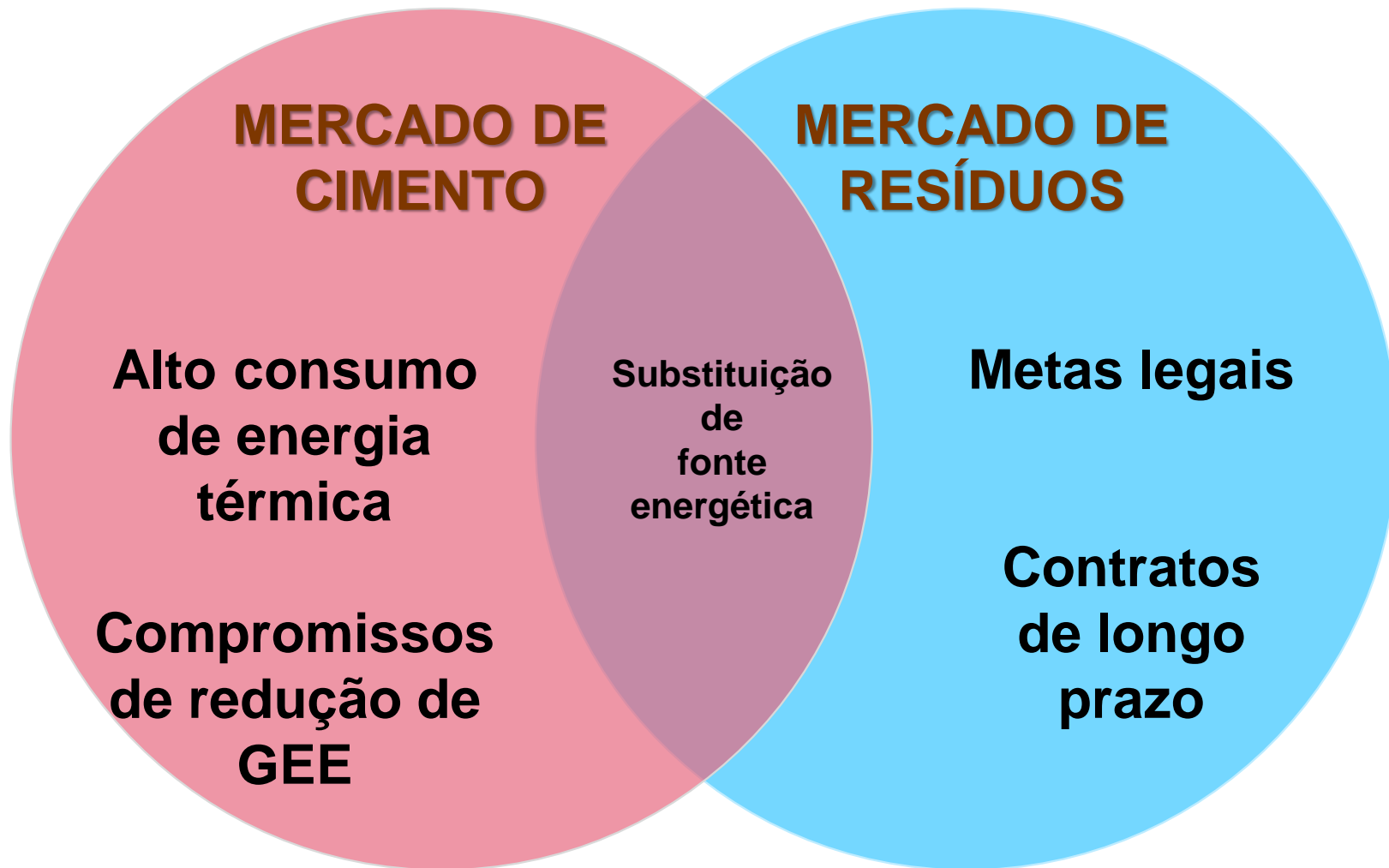
* Relevante para a poluição do ar

** Depende da massa destinada

*** Relevante para a qualidade do produto (The elements are dust bounded, medium volatile and non-volatile)

5. POTENCIALIDADE DE MERCADO







KPI	Potencial Conservador	Potencial Realista	Potencial Desafiador	Potencial AMBICAO
Economia Volume Coque	0,28 Mton	0,58 Mton	1,43 Mton	2,46 Mton
Volume CDR	0,55 Mton	1,12 Mton	2,42 Mton	4,00 Mton
Volume RSU	1,62 Mton	3,31 Mton	6,55 Mton	10,50 Mton
Capex Cimenteiras	180 milhões R\$	340 milhões R\$	2.280 milhões R\$	3.940 milhões R\$
Capex Plantas Prod. CDR	1.040 milhões R\$	1.630 milhões R\$	2.900 milhões R\$	3.940 milhões R\$
Redução emissões CO2	197 Kton	402 Kton	948 Kton	1.609 Kton
Equivalente Energético	2.399 GWh	4.896 GWh	12.065 GWh	20.762 GWh

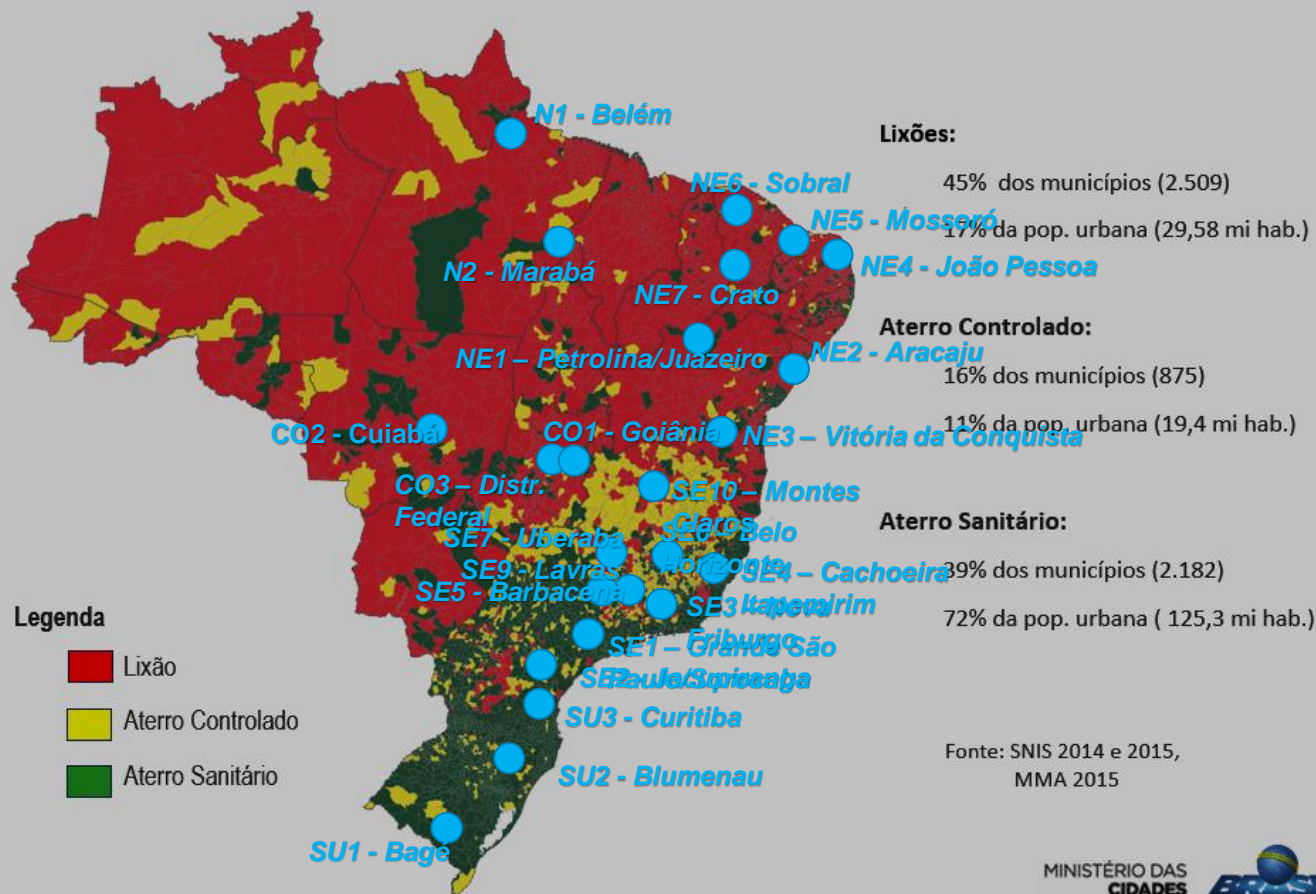
Roadmap 2018:

1 M t/a em 2030 – TSR 10 %

3,5 M t/a em 2050 – TSR 17 %

50 % RSU + 50 % RSI

DIAGNÓSTICO RSU NO BRASIL – DISPOSIÇÃO FINAL



Base Capacidade Instalada 2018

50% dos 25 Clusters com Potencial de Reaproveitamento Energético via CDR para Cimenteiras estão localizados em Regiões de Lixão e Aterro Controlado

- **Dados de Importação Coque de Petróleo no Brasil (2018)**
 - **Preço Coque de Petróleo: R\$ 450/ton**
 - Poder Calorífico: 8.000 kcal/kg ou 33,5 GJ/ton
 - Preço Energia Coque de Petróleo: R\$ 56,3/Gcal
 - **CDR de RSU e RSI Classe 2**
 - Poder Calorífico: 5.000kcal/kg ou **20 GJ/ton**
 - **Preço Equivalente Energético do Coque: R\$ 280/ton**
- Considerando que o **CDR é recurso secundário** tendo limitações em relação as **cinzas, cloro e sulfetos**, temos como referência que na **Europa estes “déficits” oneram em 50 % o preço**, ou seja, para o **Mercado Brasileiro pode-se ter como base o valor referencial de R\$ 140/ton** para casos de consumidores de CDR com preços de coque similares ao mostrado acima.

▪ A **Aplicação Correta da Tecnologia Adequada** é a única **Garantia de Qualidade do CDR** a ser Produzido dentro da **Especificação Acordada / Requerida pelos Consumidores** Cimenteiros e Caldeiras

▪ Além do **Pleito de Contratos de Longo Prazo**, os produtores de CDR deverão ter condições de **“Se Submeter a AUDITORIAS de ACREDITAÇÃO do seu Controle de Qualidade e Rastreabilidade”** como forma de **“ se diferenciar em relação ao Mercado de Blendeiros de Coprocessamento e Blendeiros de CDR”**



Planta de CDR no Recife para 800 t/d

Tecnologia Existente	Capacidade licenciada	Município
Produção de Combustível Derivado de Resíduos - CDR	1.000 t/dia	Paulínia
Tratamento Mecânico Biológico - TMB	1.000 t/dia	Piracicaba
Tratamento Mecânico Biológico - TMB	60.000 t/ano	Jacareí
Compostagem	130.000 t/ano	São José do Rio Preto
Tecnologia em Licenciamento		Município
URE - Usina de Recuperação de Energia		Barueri
Produção de Combustível Derivado de Resíduos – CDR		Votorantim
URE - Usina de Recuperação de Energia		São João da Boa Vista
URE - Usina de Recuperação de Energia		Santos

Fonte: Aruntho Savastano – CETESB – Workshop PUC 2019

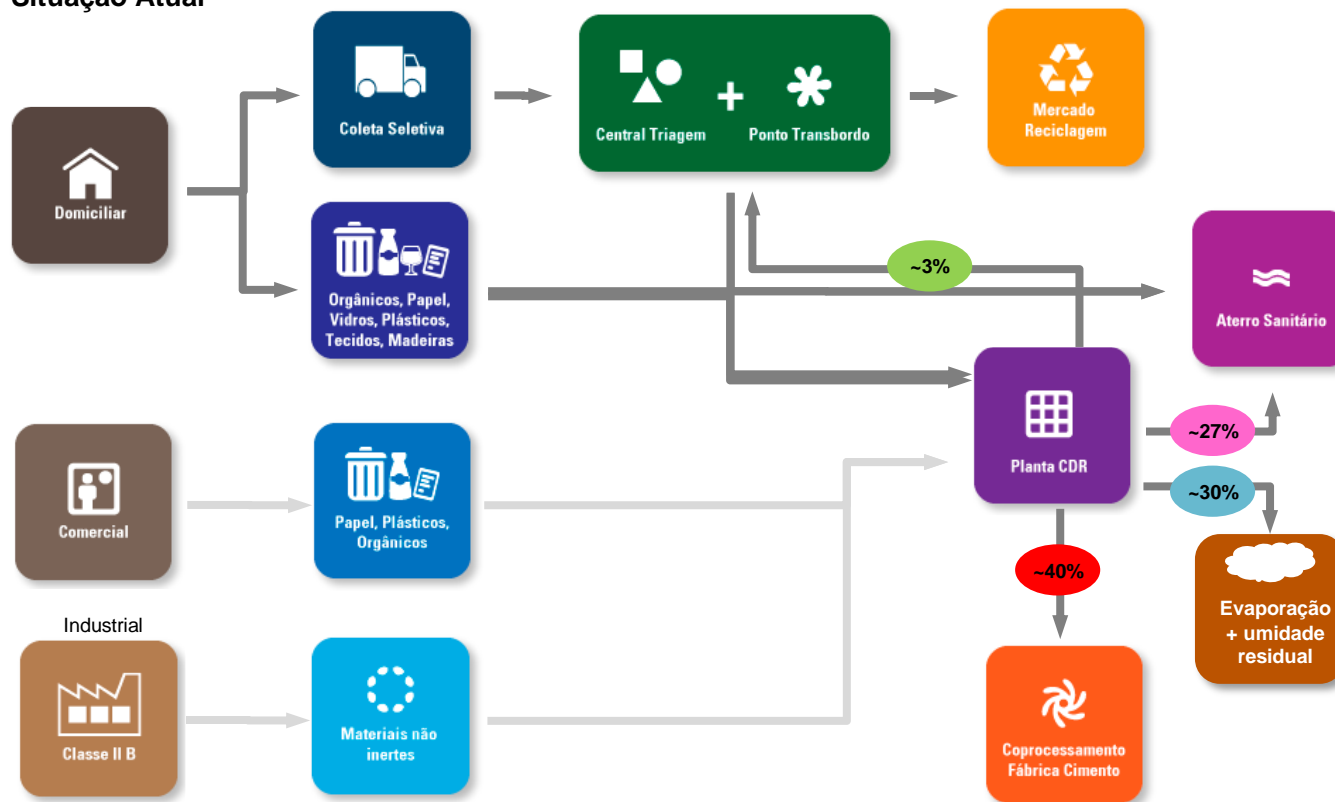
6. EQUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA





- **Alcançar os parâmetros exigidos de processo:**
 - Aumento do poder calorífico a partir da captação das frações grossas e/ou secagem
 - Ajustar a performance do subproduto através da granulometria, teor de umidade, cinzas e propriedades de combustão
 - Aspectos de logística tais como transporte, armazenagem, manuseio e dosagem
- **Alcançar os requisitos de qualidade e parâmetros relevantes de emissão:**
 - Reduzir impurezas
 - Reduzir contaminantes tais como metais pesados através do peneiramento, triage ou separação metais ferrosos e não ferrosos e ligas
 - Reduzir contaminates tais como Cl através da extração de PVC

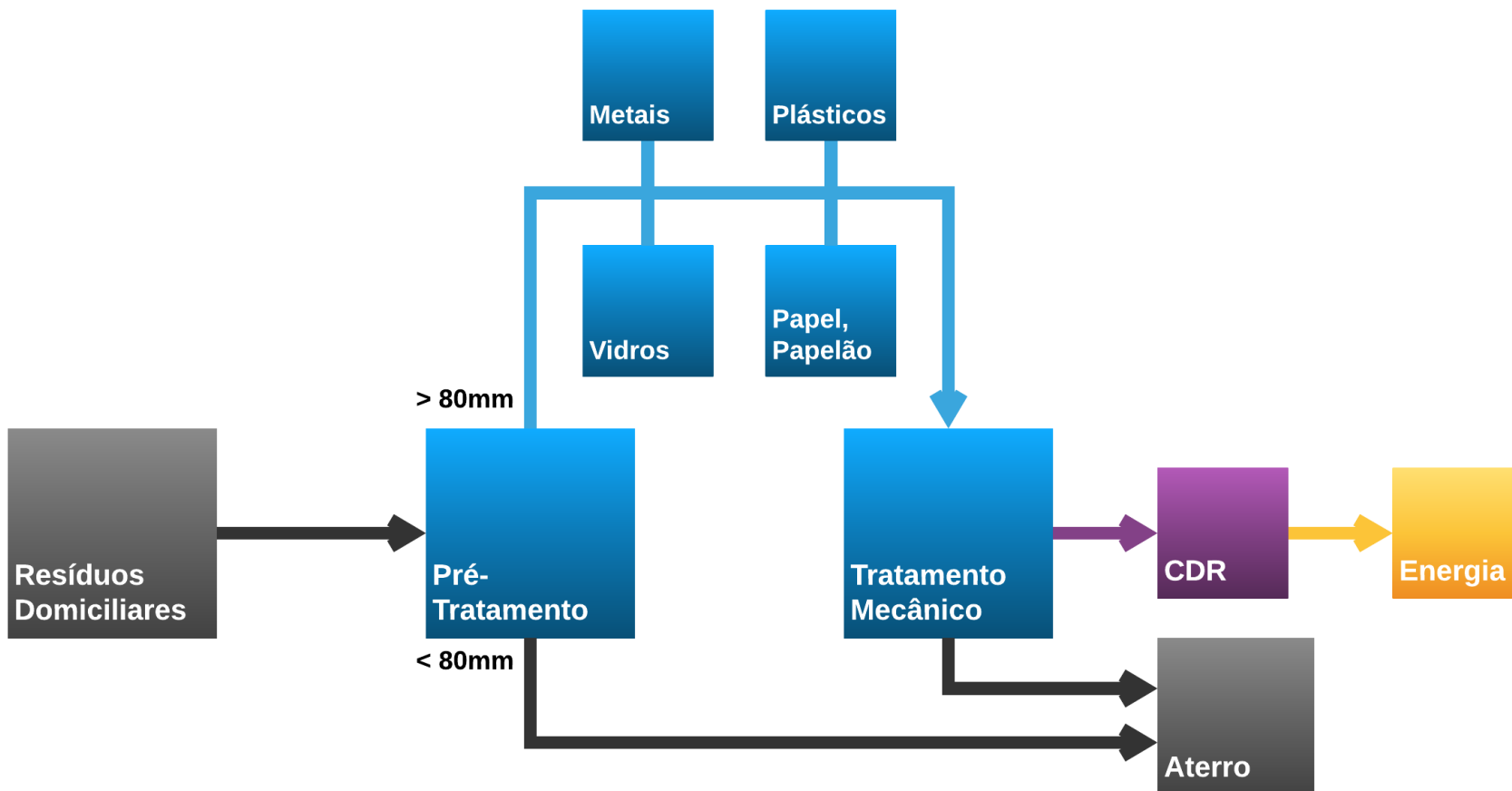
Situação Atual



• Consequências

- “Poder Calorífico Potencial” Superior
 - Baixa concentração de Cloro, Umidade e Cinzas
 - Processamento exclusivamente Mecânico
 - Maior Taxa de Rejeito(Aterro)/Desvio
 - Possibilidade Misturar RSI Não Perigoso
 - Maior “Preço Potencial de Mercado” para o CDR
 - Operação com Baixa Complexidade
 - Menor CAPEX e OPEX
-
- **Já existem experiências em curso no Brasil**

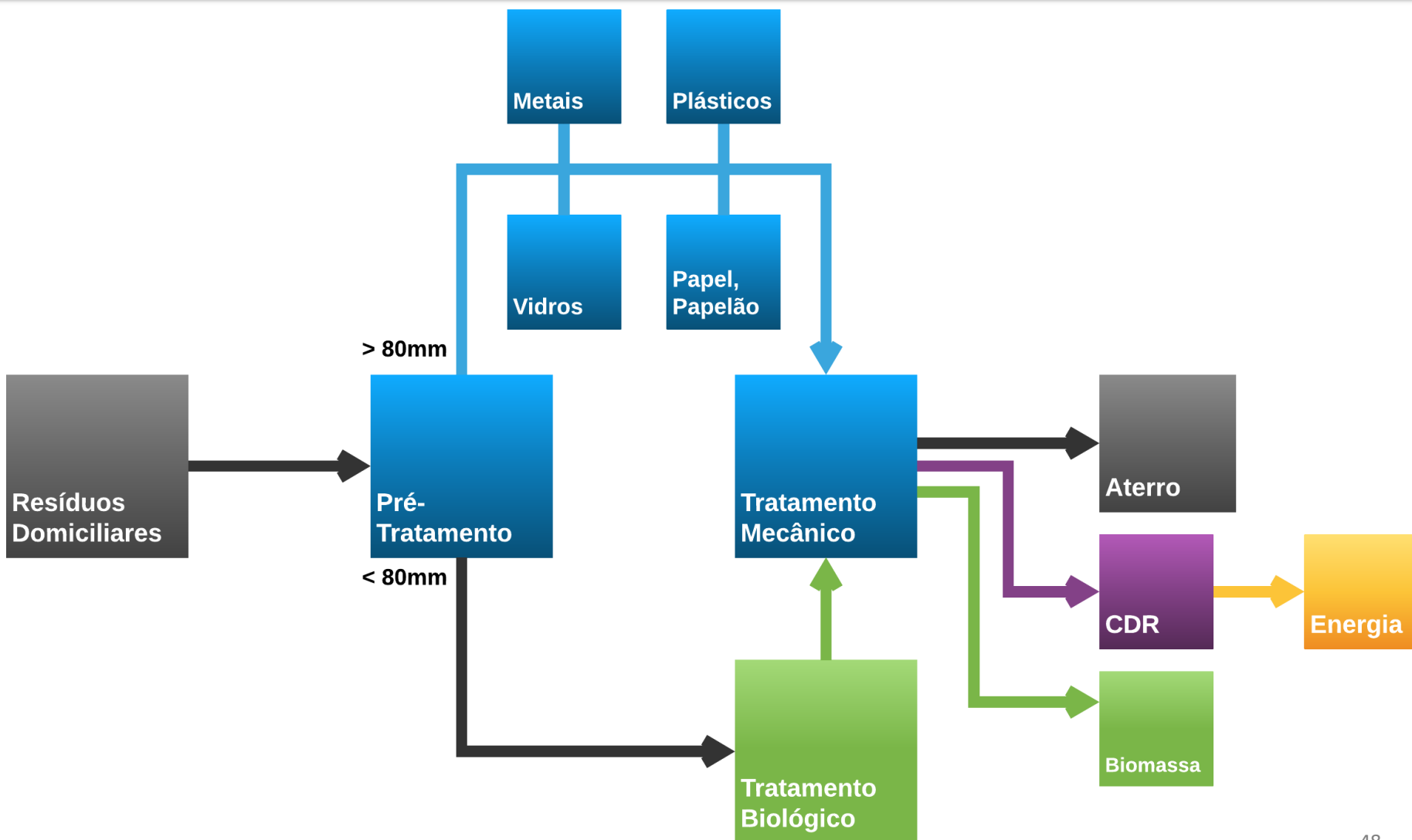




• Consequências

- Poder Calorífico Superior com 2 classes de CDR
- Maior Concentração de Cloro, Umidade e Cinzas
- Processamento Mecânico e Biológico (biosecagem)
- Menor Taxa de Rejeito para Aterro ou Desviar Frações < 20 ou 30 mm p/ aumentar Poder Calorífico Médio
- Possibilidade Misturar RSI Não Perigoso
- Potencial Preço CDR > 80mm
- Operação com Alta Complexidade
- Maior CAPEX e OPEX





Intervenção biológica visando a redução de umidade

- Período de retenção – cerca de 10 – 30 dias dependendo da tecnologia
- Incremento do poder calorífico – umidade < 20 %
- Precaução durante a armazenagem da biomassa
- Indicado para frações > 20 mm, frações menores detêm presença elevada de inertes e obstruem sistemas de aeração (dependendo da tecnologia)



- **Diferenças Tecnológicas**
- **Grau de aeração: teor de umidade e período de retenção**





7. CONSIDERAÇÕES FINAIS



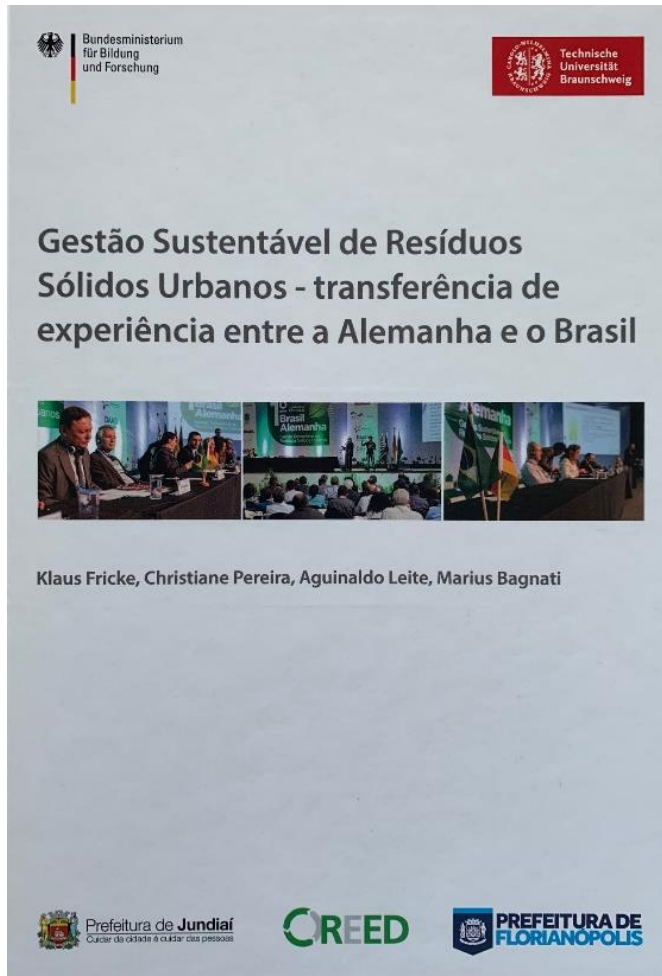
Segurança
jurídica gera
atratividade
de mercado



- ✓ Coprocessamento não é mass burning
- ✓ Payback acima de 7 anos
- ✓ TIR na ordem de 10 – 12 %
- ✓ Mercado concorrente (cimento, energia, celulose) conhecedor de processos, controle de qualidade e detentor de credibilidade
- ✓ Necessário garantir a continuidade do fornecimento
- ✓ Interação com a academia
- ✓ A planta TMB tem como receitas a contraprestação e a acessória (remuneração do CDR)
- ✓ A potencialidade de emprego do CDR está diretamente relacionado com a infraestrutura de coprocessamento.
- ✓ Rota tecnológica com alto potencial de mitigação dos GEE, preservação de recursos primários e ainda geração de emprego e renda



- 1. Aposte em escalonamento tecnológico:
aprenda a operar sistemas biológicos**
- 2. Não dispense performance tecnológica**
- 3. Exija demonstração de expertise técnica**
- 4. Contemple reinvestimento**



EPUB -

<https://drive.google.com/file/d/0B5vLOUqm4ITFZfVHV0RLVExWbFk/view?usp=sharing>

MOBI -

<https://drive.google.com/file/d/0B5vLOUqm4ITFR2ZuUGxuTFR6dDQ/view?usp=sharing>

Prof.Dr.-Eng. Klaus Fricke
Diretor do departamento de
gestão de resíduos e recursos
klaus.fricke@tu-bs.de



Espa. Enga. Civil e Advogada
chrdiasp@tu-braunschweig.de
Whats app 005512982355000

Obrigada !!!

