

Workshop de Fontes Energéticas Carvão Mineral – Geração Elétrica e outros usos

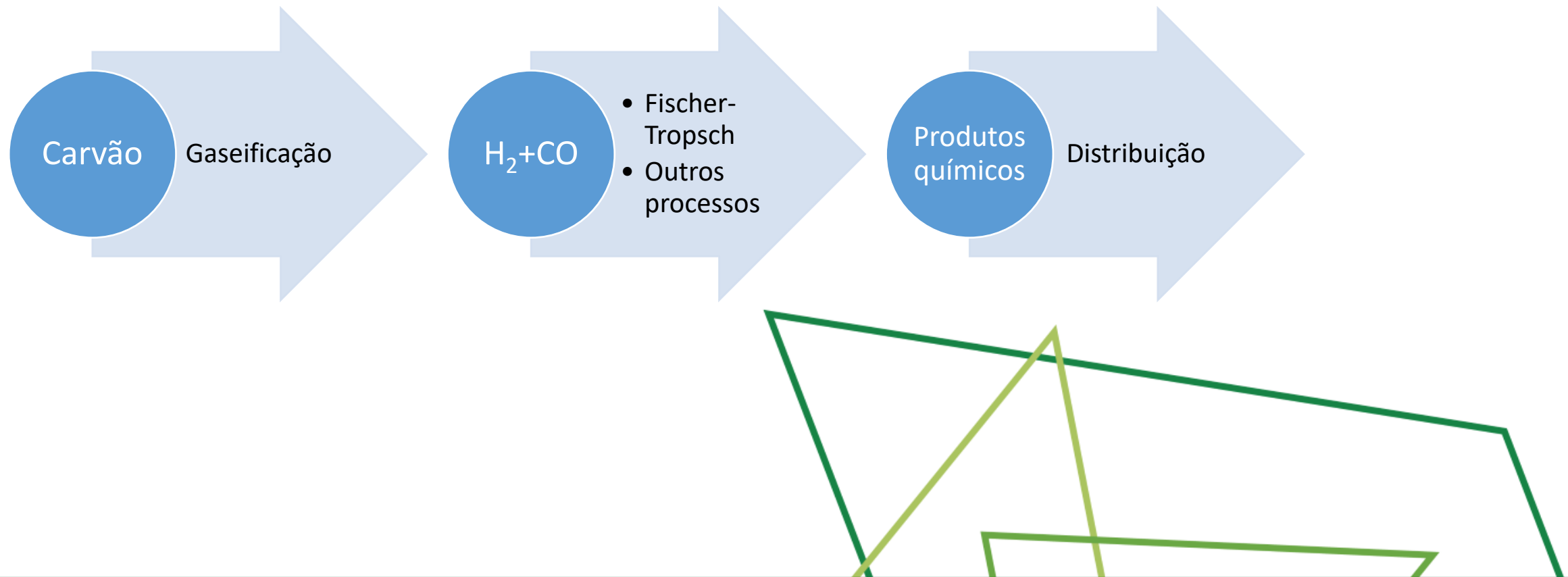


SATC

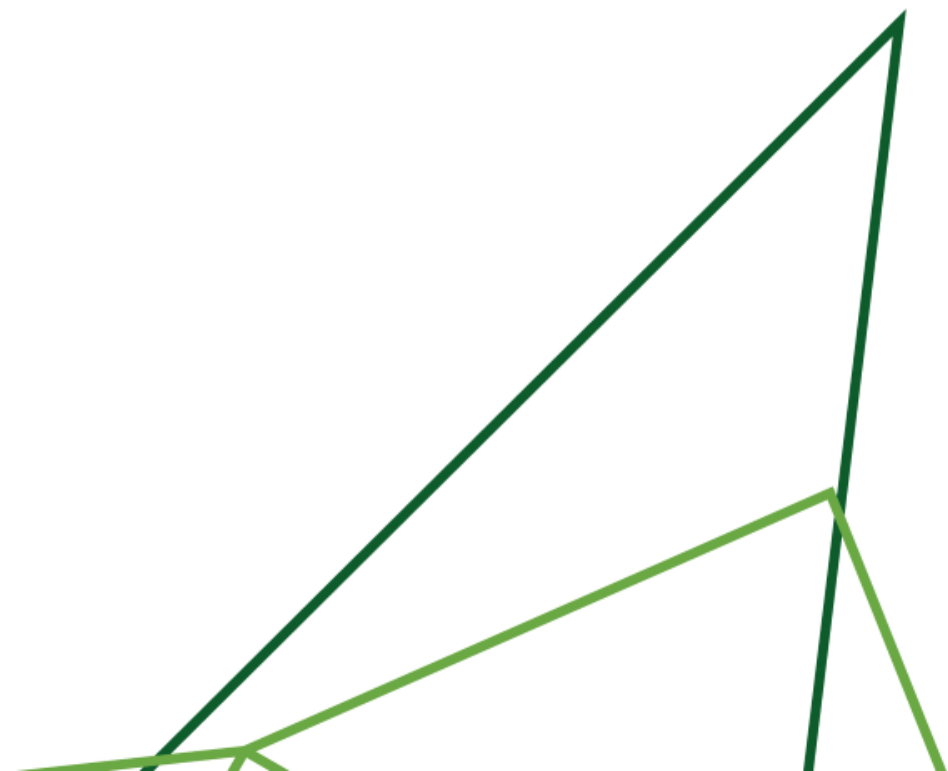
EDUCAÇÃO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Carboquímica: Por onde começar?

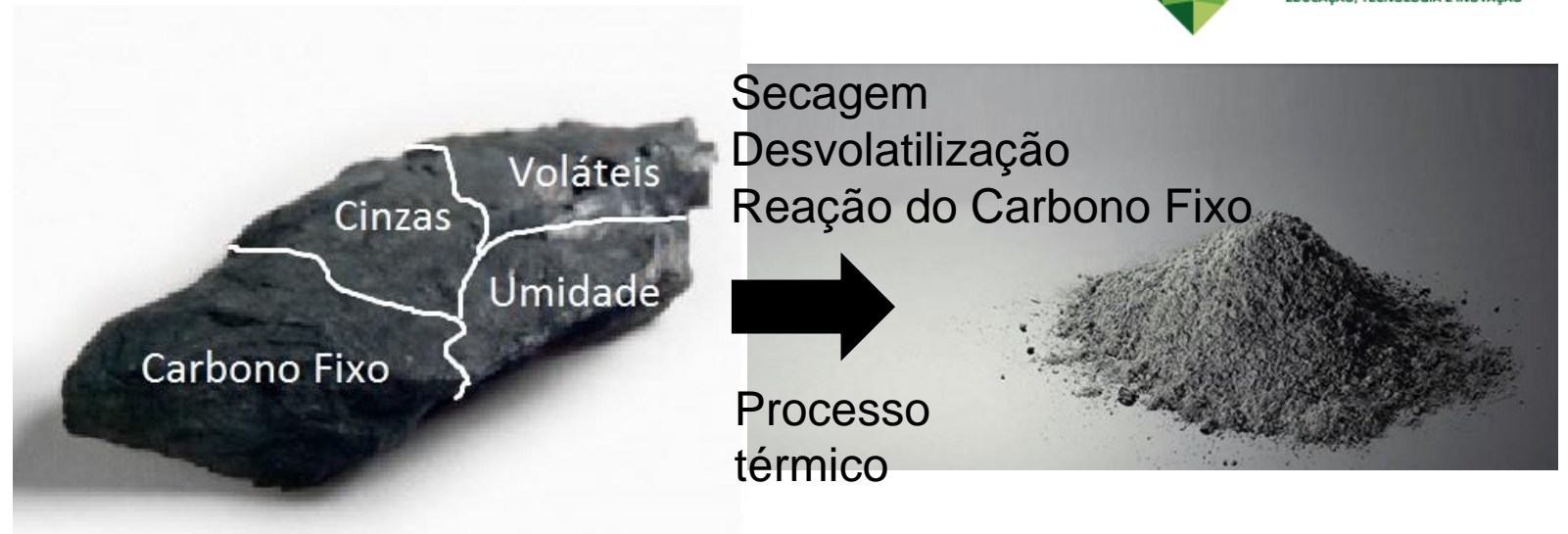
Etapas Carboquímica



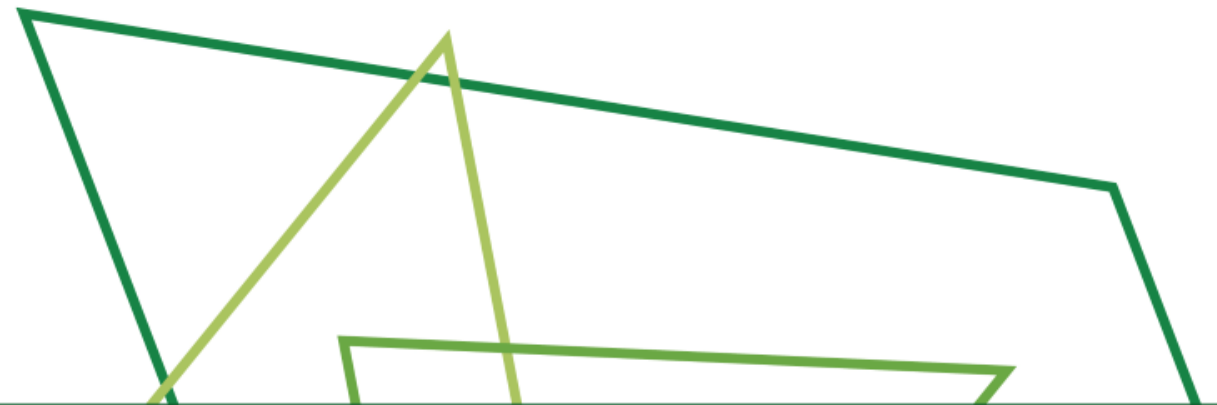
- Estrutura do carvão
- Gasificação
- Conceitos e fenômenos
- Etapas iniciais
- Tecnologias de Gasificação
- Tecnologia Fischer-Tropsch



- Estrutura carvão
 - Análise Imediata
 - Carbono Fixo
 - Cinzas
 - Voláteis
 - Umidade



- Análise Elementar
 - C,N,O,H
 - S total, pirítico e sulfático



Análise Imediata



Análise Elementar

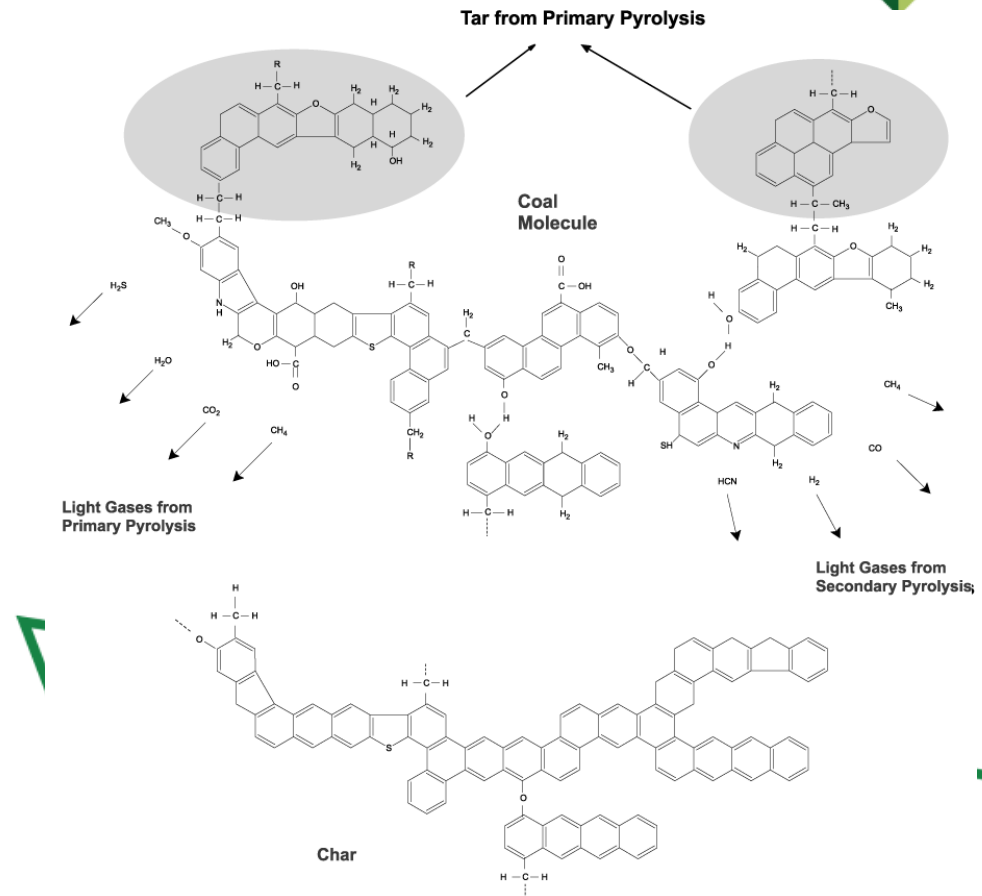
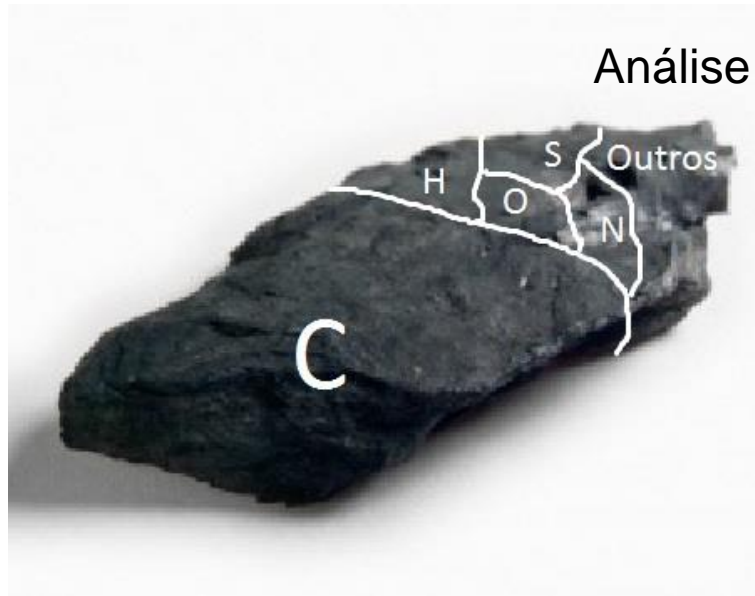


Figure 1. Coal molecular structure and devolatilization (adapted from Solomon *et al.*¹)

- Estrutura do carvão
- Gaseificação
- Etapas iniciais
- Tecnologias de Gasificação
- Tecnologia Fischer-Tropsch

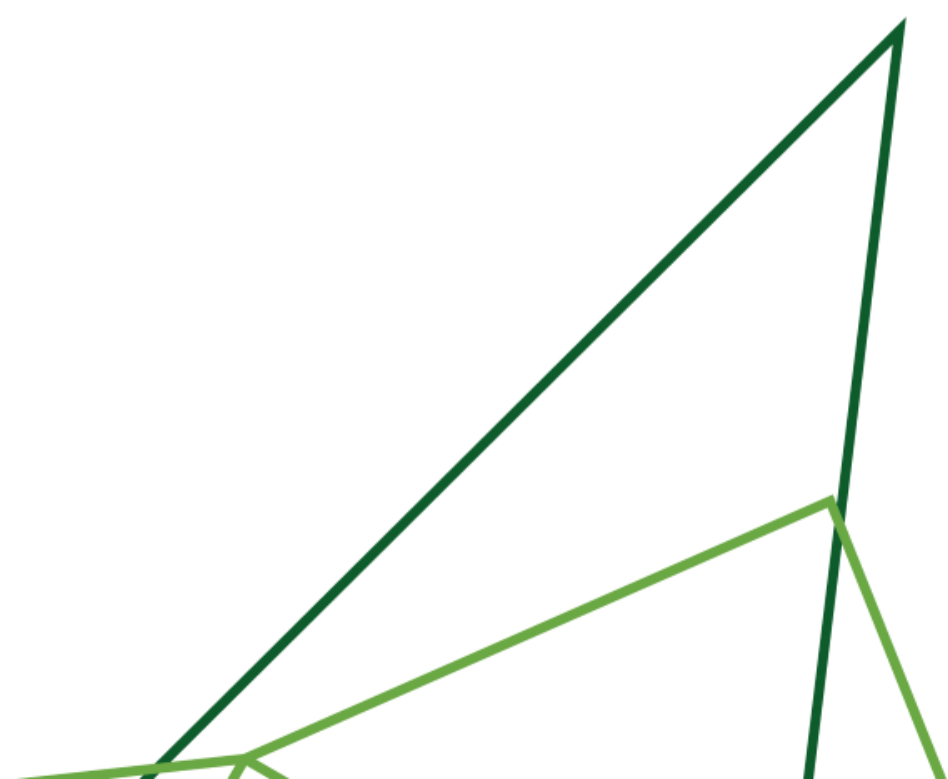


É um processo de conversão termoquímica de uma carga carbonosa em uma mistura gasosa pela ação de calor e de um agente gaseificante (ar, oxigênio e/ou vapor d'água).

Gás combustível ou “gás de síntese” (*syngas*) é constituído por uma mistura de:

- H_2 , hidrocarbonetos;
- CO_2 , CO ;
- carbono sólido residual;
- compostos condensáveis;
- Vapor d'água.

- Estrutura do carvão
- Gaseificação
- Etapas iniciais
- Tecnologias de Gasificação
- Tecnologia Fischer-Tropsch



Etapas Gaseificação



- Secagem
 - Processo rápido
 - Transferência de calor e massa: $f(T, dp, \text{porosidade}, \text{pressão})$
- Desvolatilização
 - Processo rápido
 - Transferência de calor e massa: $f(T, dp, \text{porosidade}, \text{pressão})$
 - Voláteis: $f(\text{rank}, \text{taxa de aquecimento}, T)$
- Combustão Parcial
- Gaseificação do Char

Classificação Gaseificadores

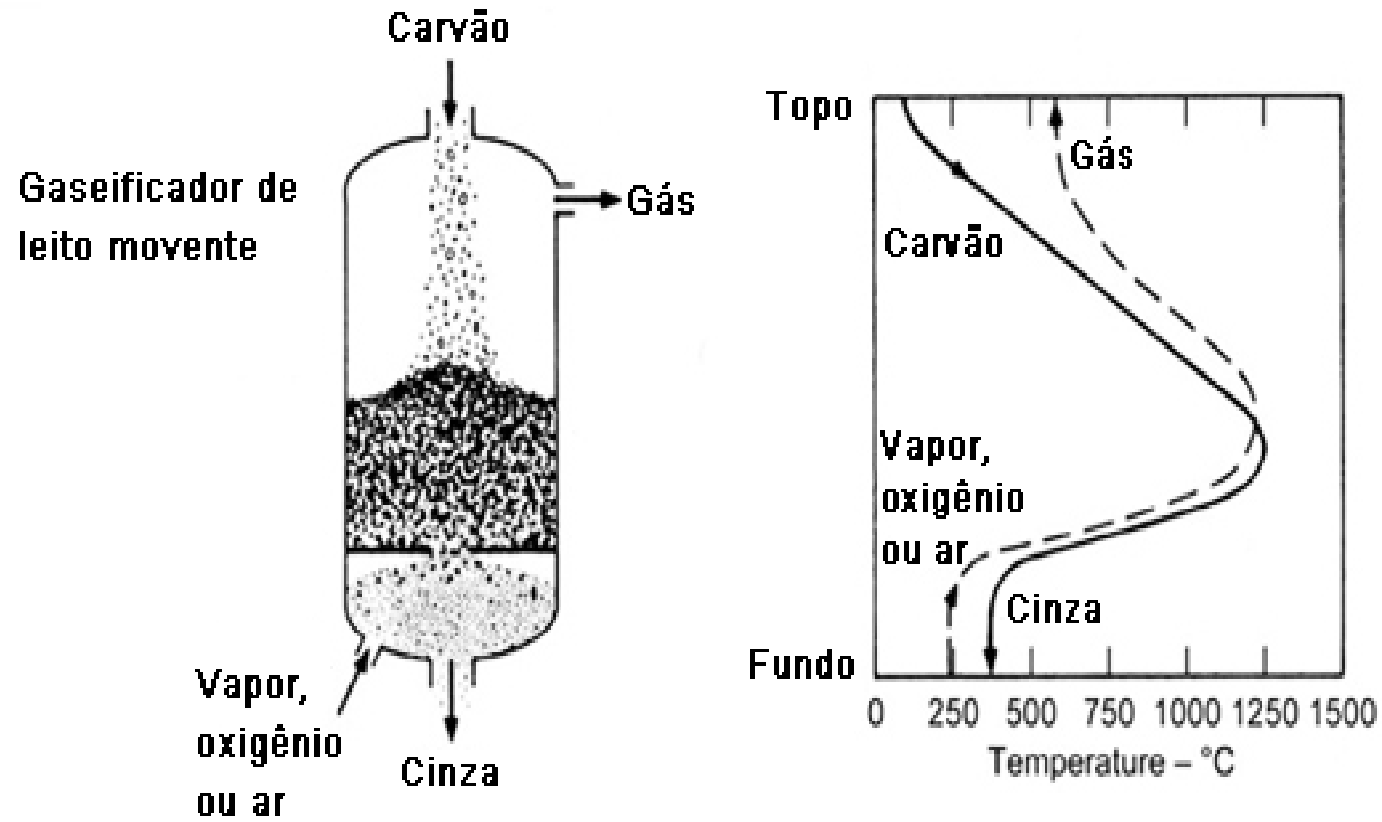


- Escoamento gás-sólido: fixo, fluidizado e arrastado
- Recirculação de sólidos: circulante
- Agente gaseificante: Ar, oxigênio, vapor
- Alimentação sólidos: lama ou seco
- Pressurizado ou à pressão atmosférica
- Cinza: seca, slag(fundida), aglomerante

- Estrutura do carvão
- Gaseificação
- Etapas iniciais
- **Tecnologias de Gasificação**
- Tecnologia Fischer-Tropsch



Leito Fixo



Leito Fixo - LURGI

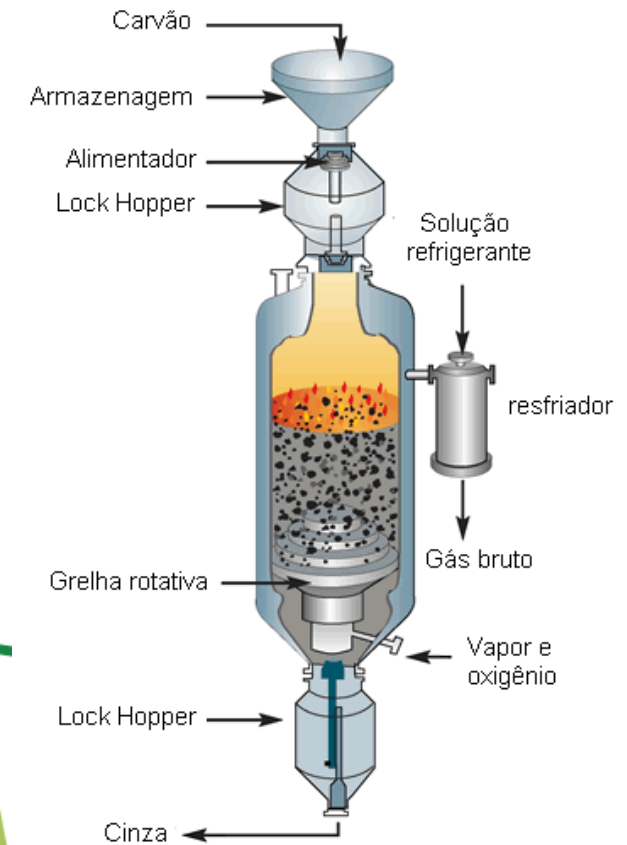


- Operam à pressão 20-30 bar
- Temperatura no topo de 540°C e no fundo de 1200°C
- Oxigênio + vapor
- Carvões reativos: linhito
- Capacidade Atual
 - 100 000 m³/h de gás
- Pelo menos 101 unidades ao redor do mundo
- Composição típica do gás: H₂ 38%

CO 22%

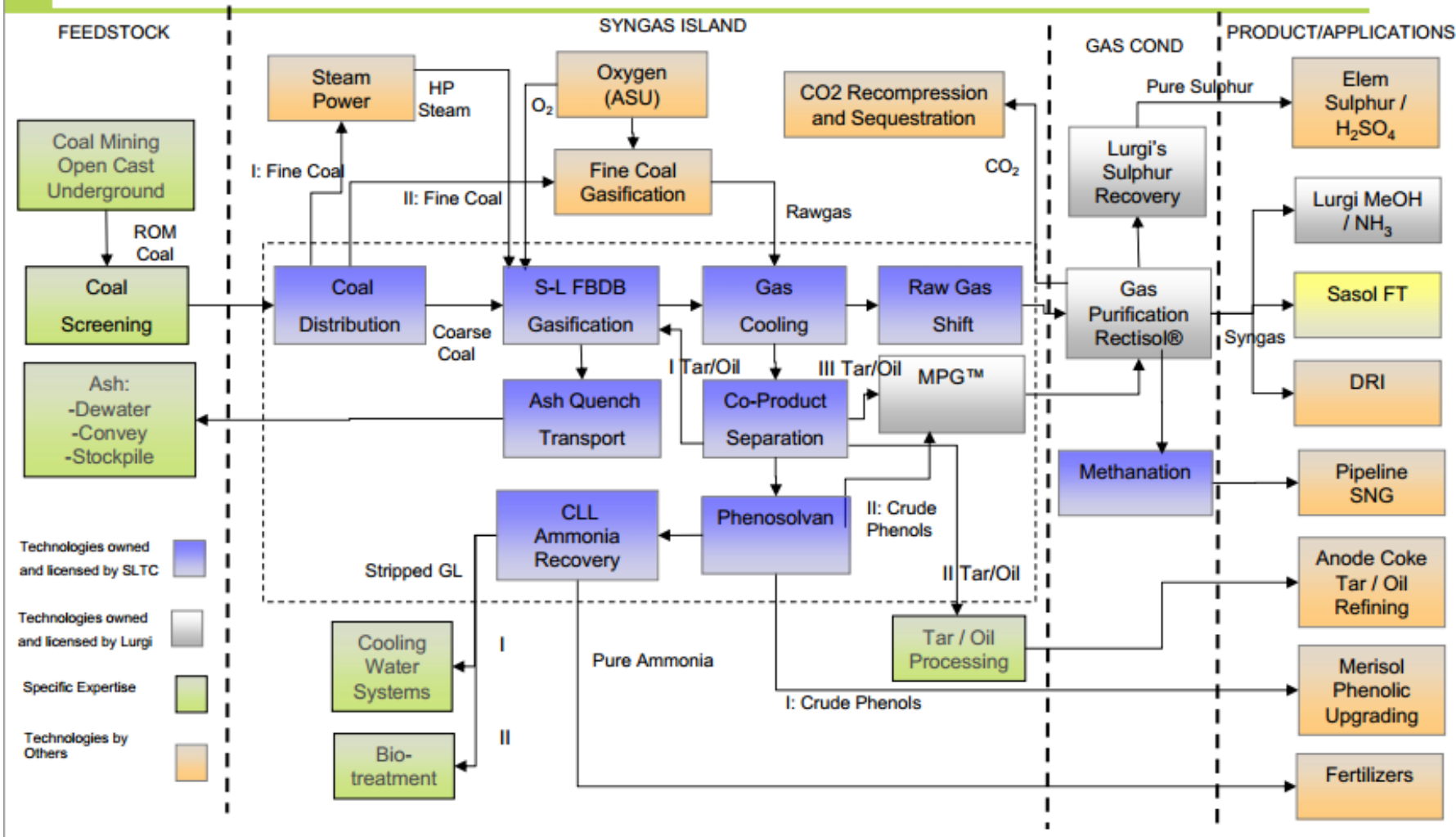
CO₂ 28%

CH₄ 12%

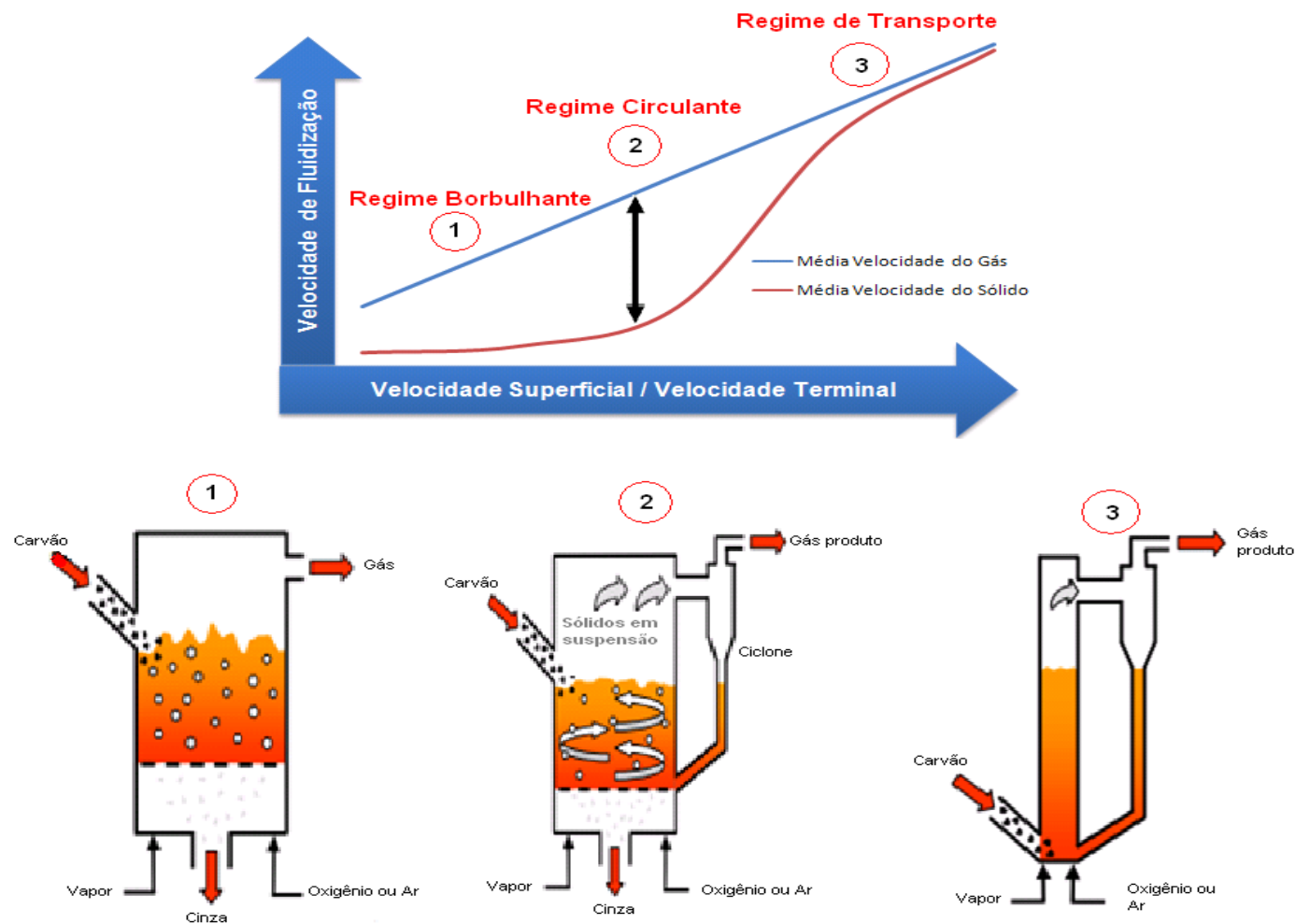


Leito Fixo - LURGI

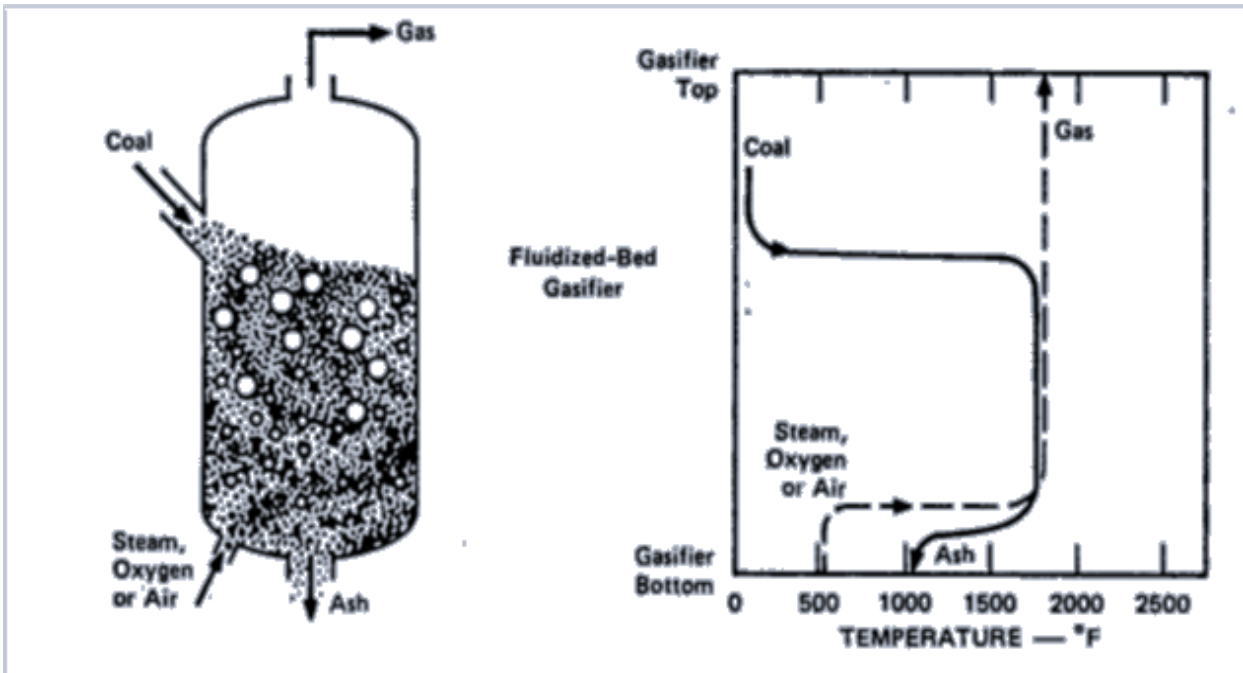
Sasol-Lurgi Process Technologies



Gaseificação: Leito Fluidizado



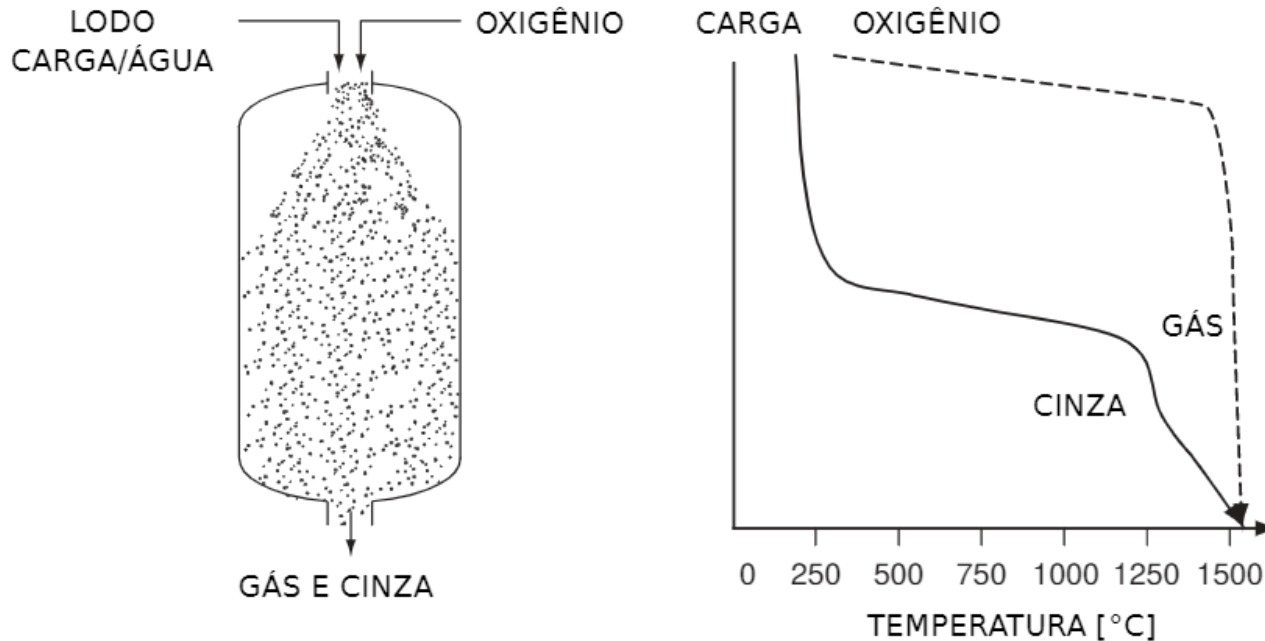
Gaseificação: Leito Fluidizado



- Temperatura de operação: 950 a 1.100 °C;
- Alta temperatura de amolecimento da cinza;
- Baixo poder aglomerante;
- Alta reatividade do *char*;
- Baixa conversão de carbono;
- Gás de síntese com contaminação.

- Tipos de reatores de leito fluidizado:
 - borbulhante (BFB): < 2 m/s;
 - circulante (CFB): 3 a 16 m/s;
 - reator de transporte (TR): 15 a 20 m/s.
- Utilização de absorventes no leito para remoção de enxofre;
- Temperatura uniforme ao longo do reator;

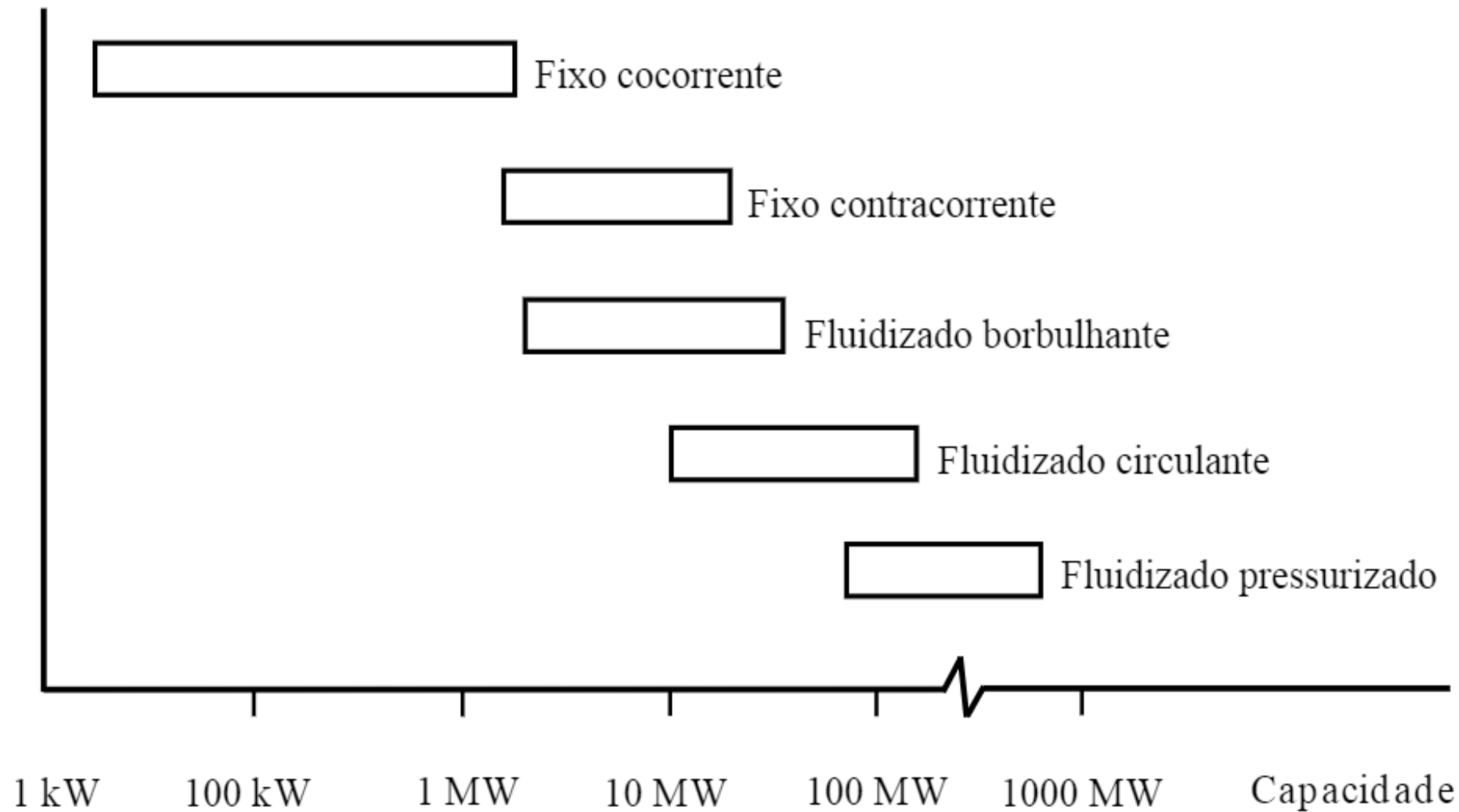
Gaseificação: Leito de Arraste



- Alimentação seca ou em forma de lama, carvão pulverizado ($< 100\mu\text{m}$);
- Principal agente oxidante: oxigênio;
- Temperatura de operação: 1.200 a 1.600 °C;
- Pressão de operação: 2 a 8 MPa;
- Alta velocidade, baixo tempo de residência, pequena quantidade de material no reator;
- Maior conversão de carbono;

- Maior flexibilidade quanto ao tipo de combustível;
- Operam com escória (slag);
- Teor de cinzas inferior a 20%;
- Gás de síntese sem contaminações (alcatrão).

Escala de Aplicação

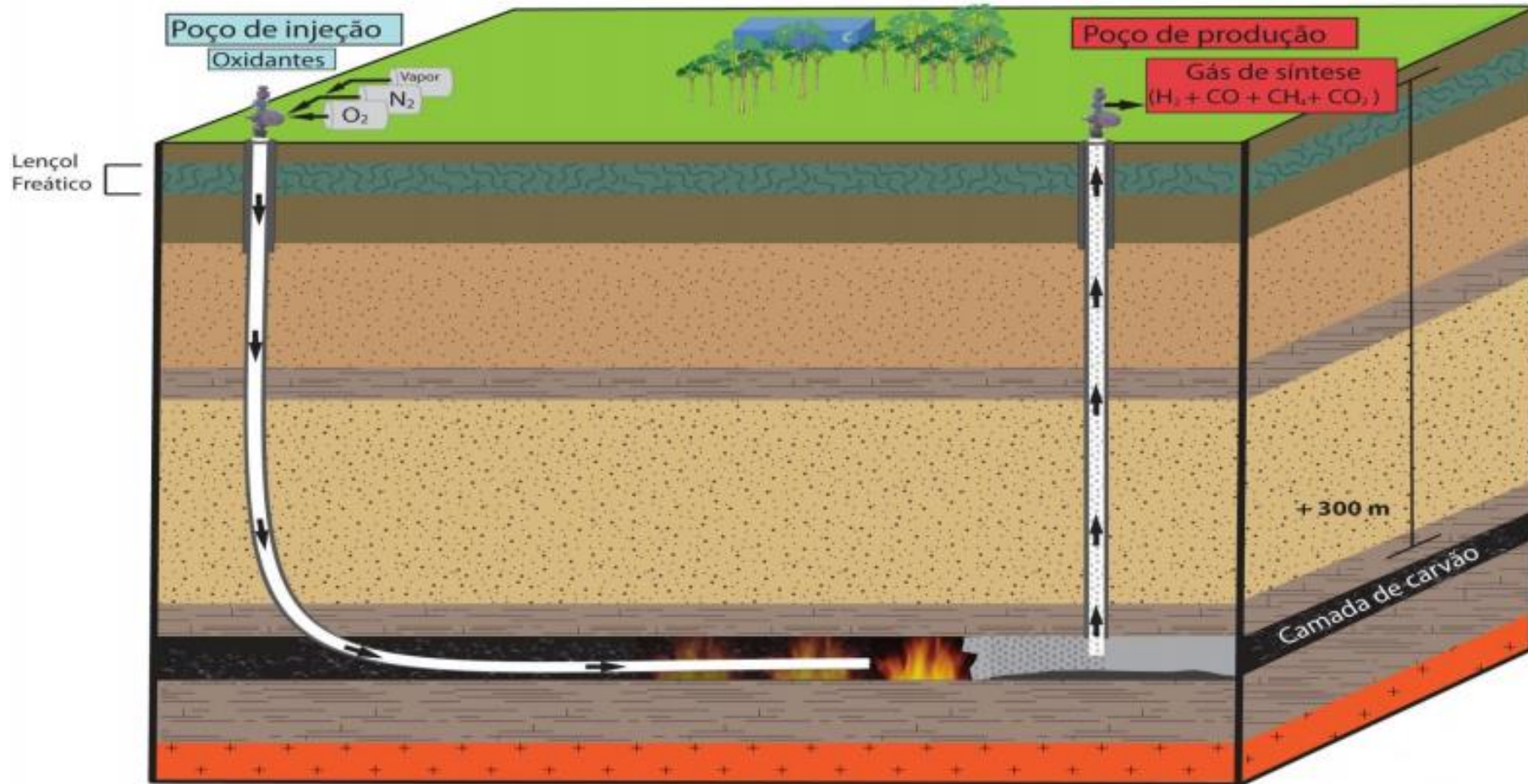


Composição típica do syngas



Composição (% molar)	BGL	Shell	Texaco
CO	57	65	49
H ₂	28	29	34
CH ₄	6	< 0,4	0,2
CO ₂	4	2	10
N ₂	2	2	1

Gaseificação *in situ*



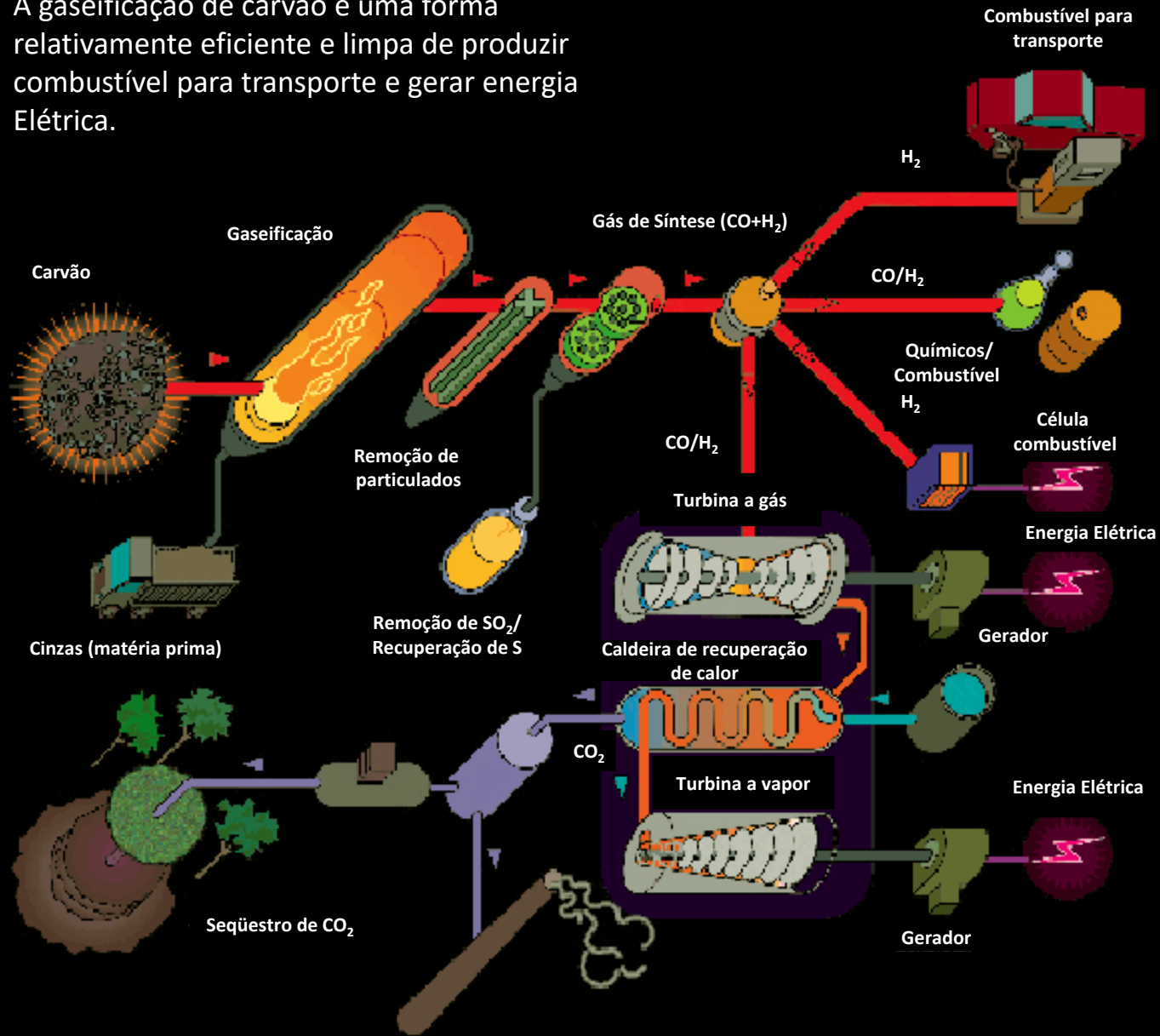
Características gaseificadores



Tipo de leito	Alimentação do carvão	Cinza	Processo de gaseificação
Móvel	Seco	Seca	Lurgi dry ash
	Seco	Slag	BGL
Fluidizado	Seco	Não-aglomerante	HTW (Winkler de alta temperatura)
		Aglomerante	U-gas KRW (Kellogg-Rust Westinghouse)
De arraste	Seco	Slag	Shell PRENFLO(arraste,pressurizado) VEW (Vereinigte Electricitäts Werke Westfalen) GSP (Gaskombinat Schwarze Pumpe) Koppers-Totzec
De arraste	Lama	Slag	Texaco GE DOW (Destec) CONOCO-PHILIPS

Como funciona a gaseificação

A gaseificação de carvão é uma forma relativamente eficiente e limpa de produzir combustível para transporte e gerar energia Elétrica.



What is Coal
GASIFICATION?



Processo Fischer-Tropsch: gás de síntese a hidrocarbonetos

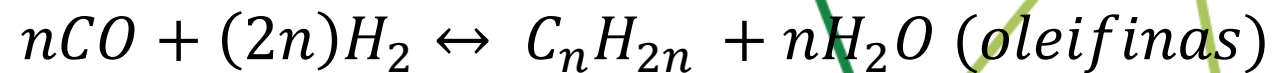
Processo Fischer-Tropsch



- Origem

- Criado em 1920
- Alemanha
- Franz Fischer & Hans Tropsch

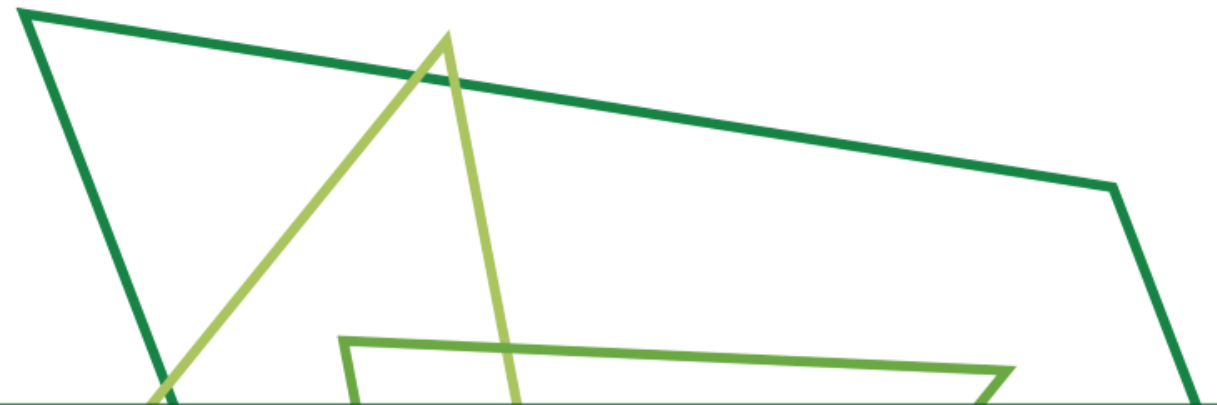
- Reações



Condições de Operação

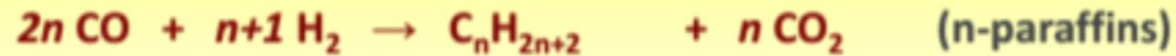


- Pressão: 20-30 bar
- Temperatura: 180 – 350 °C
- Catalizadores
 - Ferro
 - Cobalto
 - Rutênio



Fischer-Tropsch Chemistry

- FT synthesis over Fe catalyst:

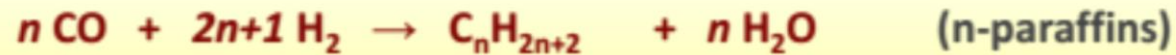


Water-Gas-Shift Reaction:



- desired H_2/CO feed ratio ~ 0.5

- And over Co catalyst:



- desired H_2/CO feed ratio ~ 2.0

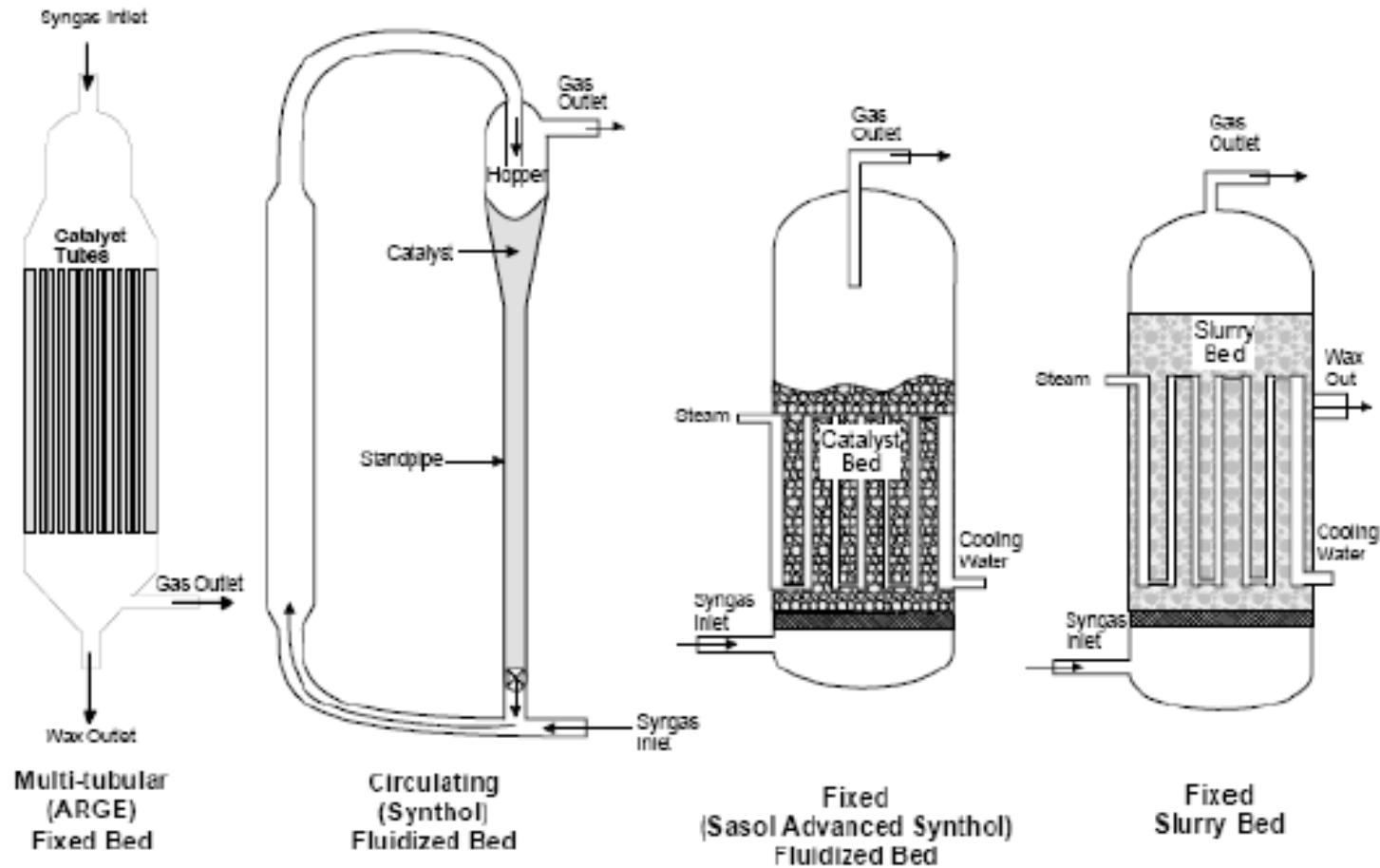
- Synthesis conditions: 200 - 300°C 1 - 30 bar

Química do FT



- Mecanismo de polimerização clássico
 - Múltiplos produtos
 - Fator de probabilidade de crescimento de cadeia α
 - Catalizador de “Fe” para gás de síntese com razão H_2/CO baixa. Interessante para carvão.
 - Catalizador de “Co” com razão H_2/CO alta.

Tecnologias reatores FT



Projetos de gaseificação China



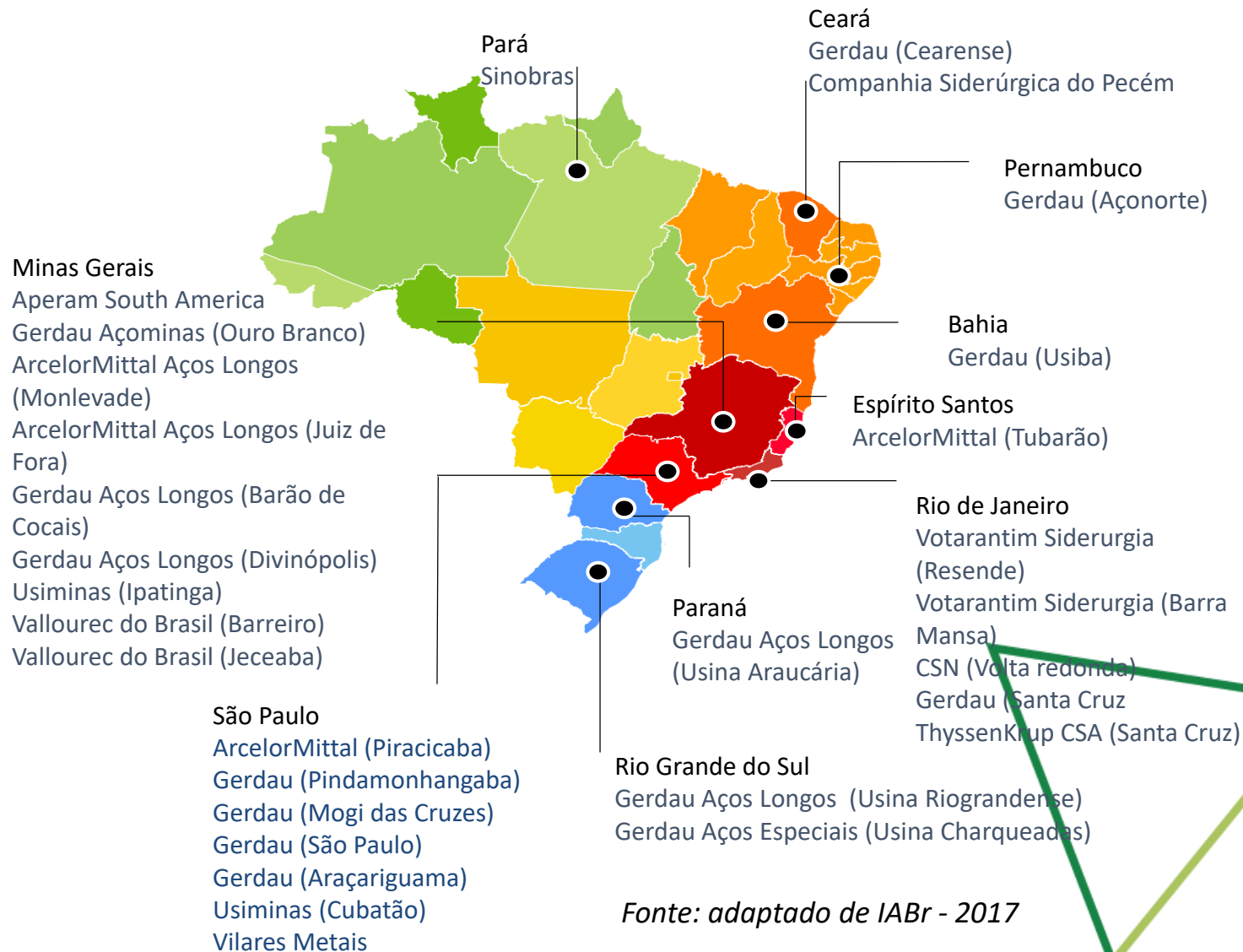
Status	Produto	Quantidade
Em construção	Ácido Acético	1
Em construção	Amônia	16
Em construção	Amônia; Hidrogênio	2
Em construção	Butanol, Octanol	1
Em construção	Metano	1
Em construção	Coal to Liquid	3
Em construção	Coal to Olefinas	1
Em construção	Eletricidade	2
Em construção	Gasolina e Hidrogênio	2
Em construção	Hidrogênio	2
Em construção	Metanol	18
Em construção	Gás Natural Sintético	2
Total		51



Siderurgia no Brasil



Parque Siderúrgico Nacional



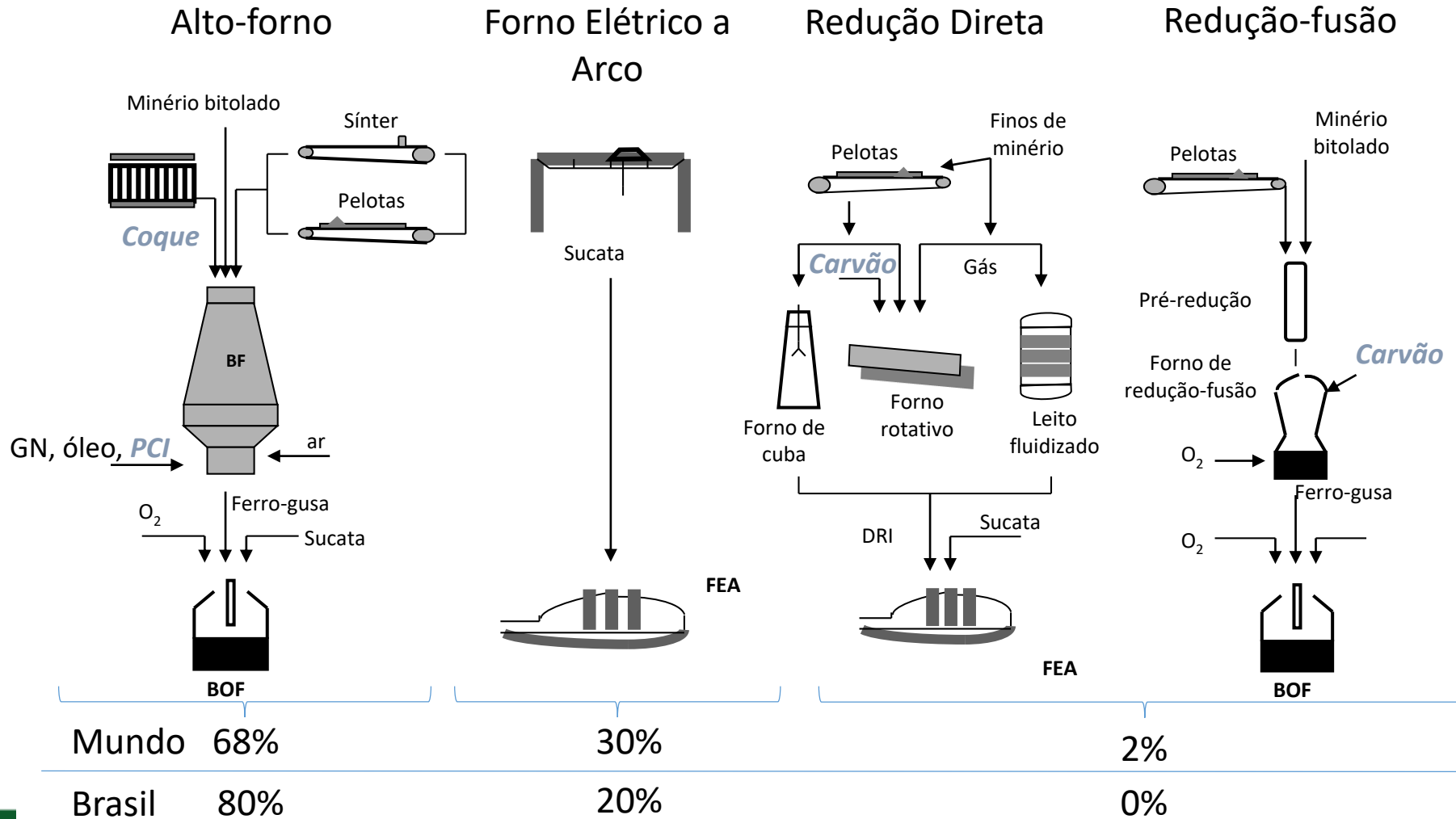
10 grupos empresariais

↓
29 Usinas

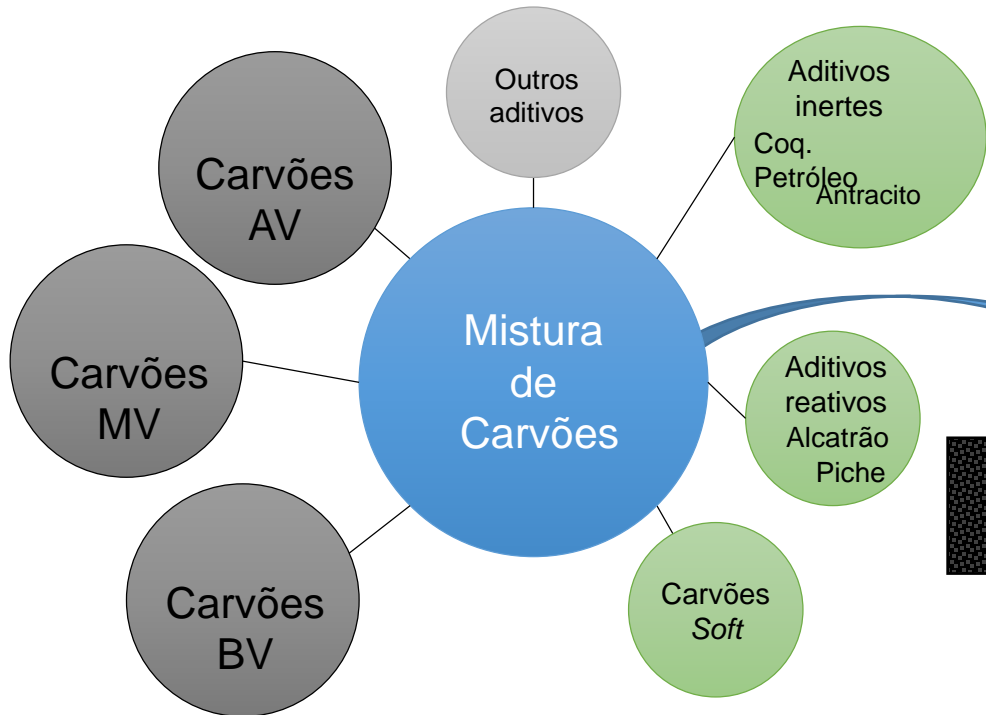
↓
34,4 Mt de aço bruto/ano

Fonte: adaptado de IABr - 2017

Rotas de produção no Brasil e no mundo



Processo de coqueificação – características exigidas nos carvões

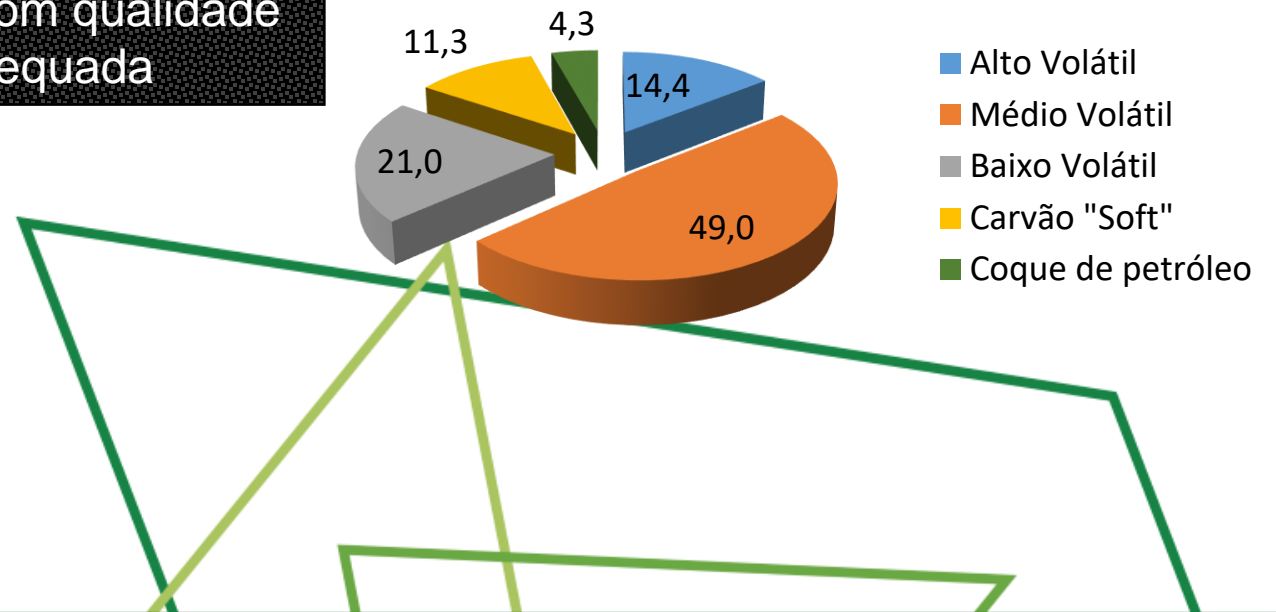


Como flexibilizar o uso de carvões de menor qualidade?

Uso de misturas de carvões e outros materiais carbonosos

Coque com qualidade adequada

Composição típica de misturas em usinas brasileira

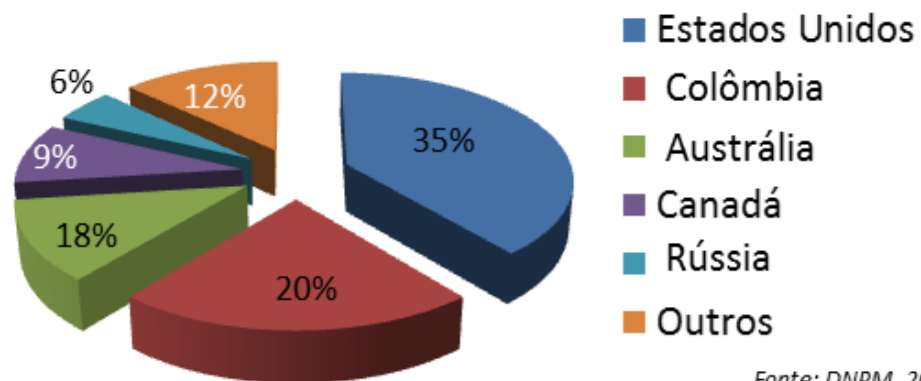


Origem dos carvões importados pelo Brasil

No Brasil, atualmente todo o carvão mineral utilizado pelas siderúrgicas é importado.

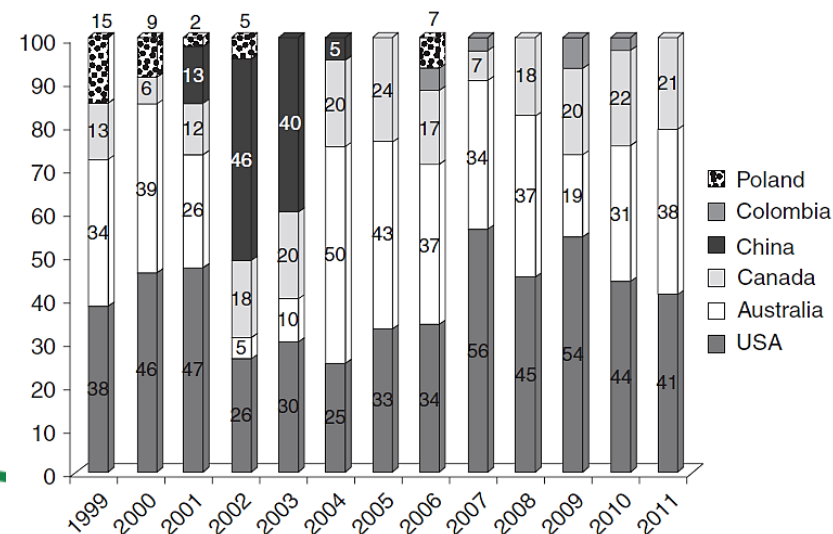


Origem das importação de carvões coqueificáveis e térmicos (2014)



Fonte: DNPM, 2015

Origem das importação de carvões coqueificáveis no Brasil



Fonte: Caldeira 2013

Principais fornecedores de carvão para o Brasil em longo prazo:

Austrália – EUA – Canadá – Moçambique
Colômbia - Indonésia

Desafios do carvão nacional para coqueificação e injeção em altos-fornos

Desafio da qualidade

Existem jazidas com carvões que apresentam propriedades coqueificantes similares a carvões importados e até mesmo com certas vantagens.

Grande parte dos carvões nacionais poderia ser utilizado na injeção em altos-fornos.

Teor de cinzas

Estudos para melhorias nos sistemas de beneficiamento

Teor de enxofre

Estudos para viabilização do uso desses carvões em misturas

Tecnologias Prioritárias para a Siderurgia

- Processos de concentração a ar;
- Processos de concentração utilizando meios densos;
- Escalonamento e dimensionamento do processo industrial de redução direta com carvão nacional.

Giovana Dalpont
giovana.dalpont@satc.edu.br
+55 (48) 3431.7677



SATC
EDUCAÇÃO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO