

# **Centro Tecnológico**

---

## **Technology Center SATC**

**Workshop Carvão Mineral – Geração Elétrica e  
Outros Usos**

**Pesquisador, Prof. Dr. Thiago Fernandes de  
Aquino**

**Brasília, 13 de Setembro de 2019**



**SATC**  
EDUCAÇÃO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# Centro Tecnológico SATC

- Início das atividades com grupo de trabalho associado à **recuperação ambiental**;
- Sede própria inaugurada em 2013, construída com recursos de P&D;
- Agregou os Laboratórios em 2015;
- Inaugurou o Laboratório de Captura de CO<sub>2</sub> em 2017.



# Centro Tecnológico SATC

Atualmente o Corpo Técnico Multidisciplinar é composto por 49 profissionais das seguintes áreas:



- Agronomia;
- Biologia;
- Engenharias: Ambiental, Civil, de Agrimensura, de Minas, Química, Mecânica, Mecatrônica e Elétrica;
- Geografia;
- Geologia;
- Técnicos em Mineração e Meio Ambiente;
- Tecnologia Automação Industrial;

# Centro Tecnológico SATC

Parceiros:



**PARCERIA NETL  
LABORATÓRIO NACIONAL DE  
TECNOLOGIA ENERGÉTICA**



FEB-MAY, 2014  
Internship at NETL  
Carbon Capture

AUG, 2013  
Short Course in Brazil  
Gasification

**2018**

OCT-DEC, 2012  
Internship at NETL

MAR, 2012  
Short Course in Brazil  
Gasification

FEB, 2011 Short Course  
in Brazil  
Gasification

JUN, 2009 Program Planning at  
NETL

APR, 2010 Short  
Course in Brazil  
Gasification  
Modeling

APR, 2008  
Short Course  
in Brazil  
Gas Cleaning

**Current activities:**  
\*R&D Project between  
SATC/NETL: "CO2 Capture from  
Coal Combustion - Laboratorial  
Infrastructure, Synthesis and  
Tests of New Sorbents" (2014-  
2017). CRADA AGMT-0456  
**Future activities:**  
\*CSLF Capacity building for CO2  
capture: short practical trainings  
at NETL.  
\*New proposals for R&D  
projects involving CCS,  
gasification and combustion.

SEPT, 2013  
Short Course in Brazil  
Process Simulation  
CO2 Capture

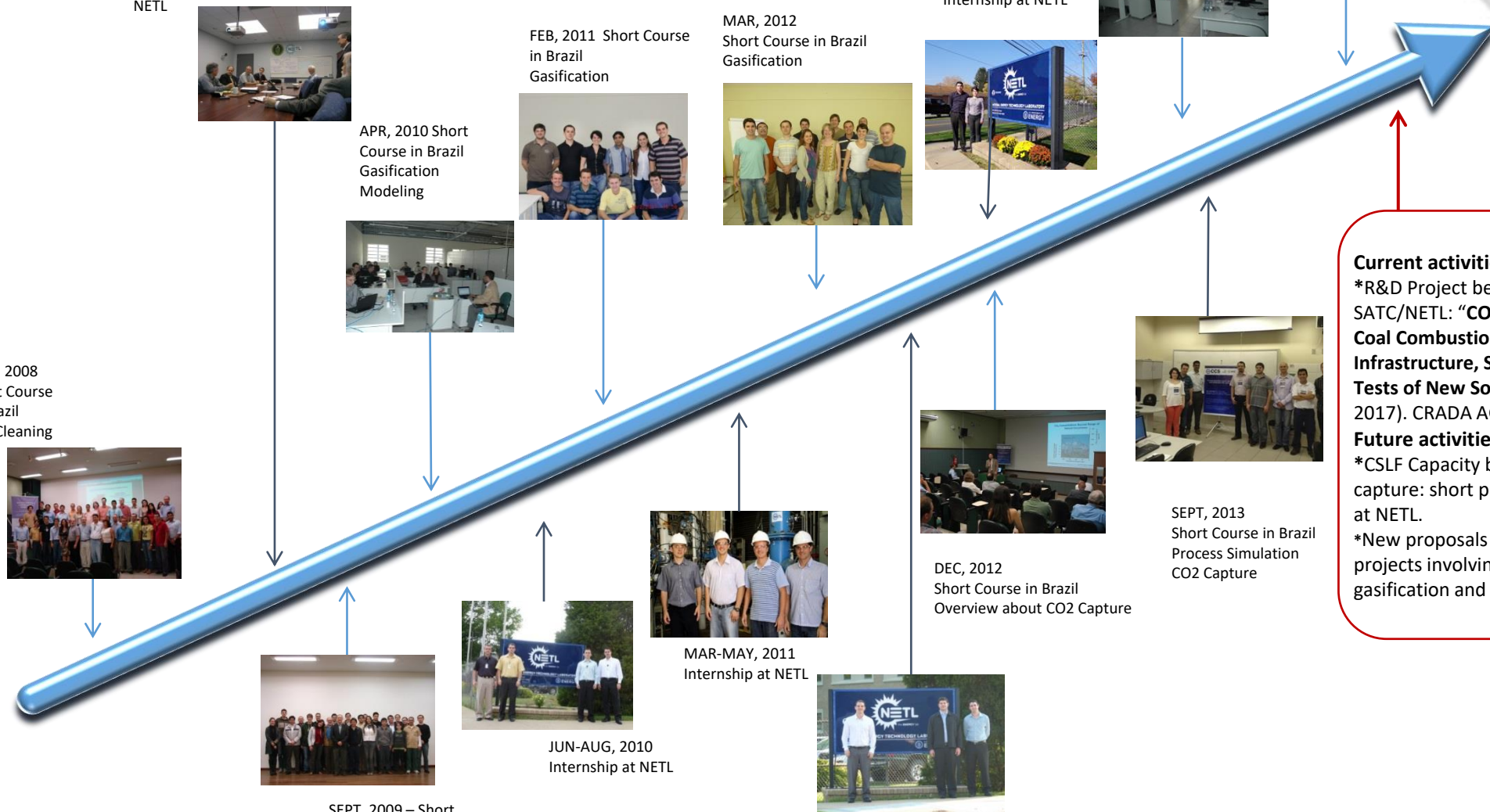
DEC, 2012  
Short Course in Brazil  
Overview about CO2 Capture

MAR-MAY, 2011  
Internship at NETL

JUN-AUG, 2010  
Internship at NETL

SEPT, 2009 – Short  
Course in Brazil  
Gasification

APR-JUL, 2012  
Internship at NETL



**Publications:**  
\* 11 publications including 5  
joint publications with NETL.

# Centro Tecnológico SATC

Universidades Parceiras:



# Centro Tecnológico SATC

Principais Programas de Fomento:



# Centro Tecnológico SATC

CEDRIC

Núcleos de Pesquisa

Laboratórios

HUB OFFICE - Escritório de Inovação





## NÚCLEOS DE PESQUISA



**NMA**



**NCE**



**NME**



**NEE**

# NCE – NÚCLEO DE CONVERSÃO ENERGÉTICA

## Principais áreas de atuação

Tecnologias limpas de conversão de combustíveis como gaseificação, combustão e captura de CO<sub>2</sub>.

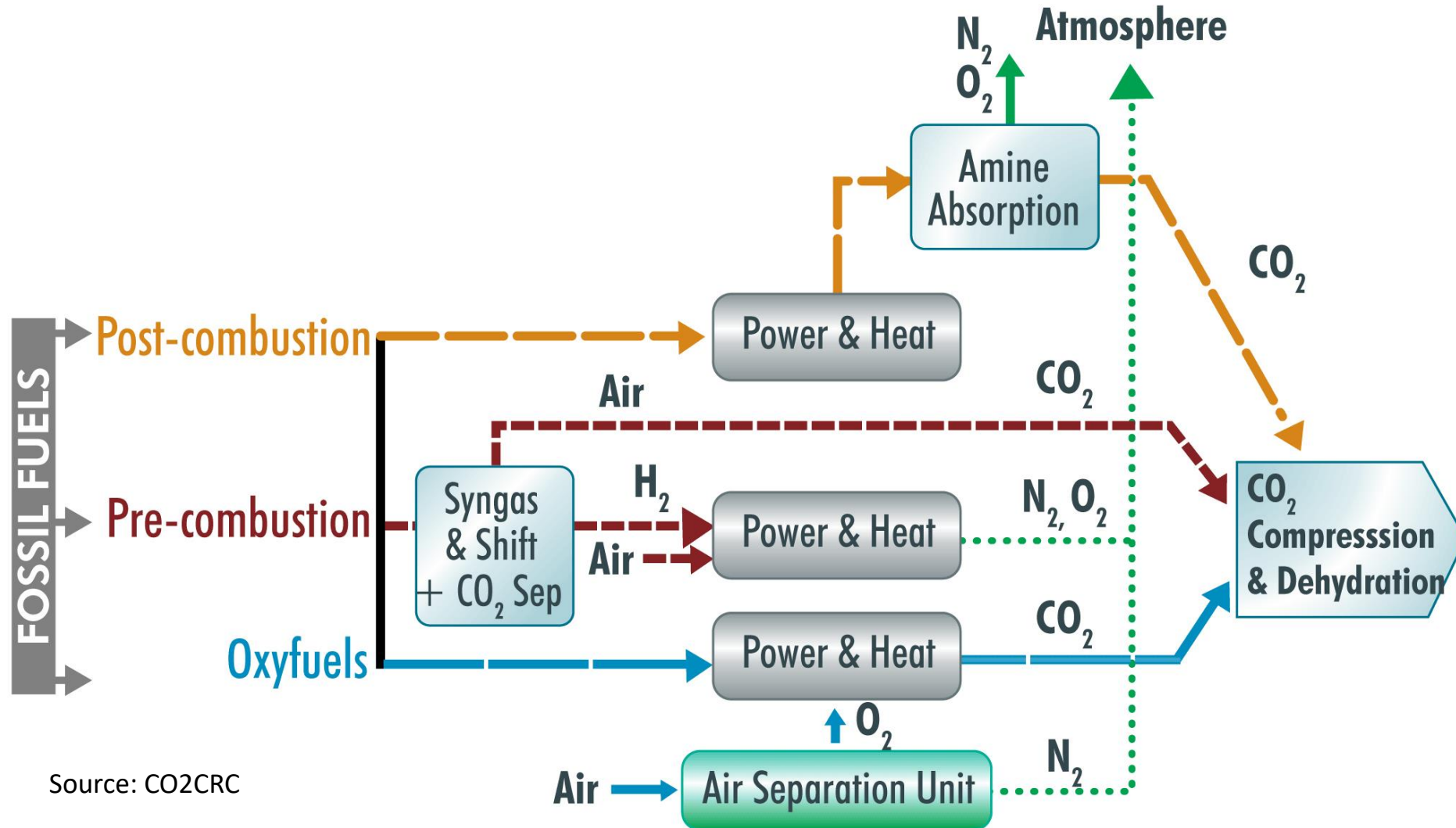
Síntese de materiais de alto valor agregado a partir do reaproveitamento de resíduos industriais.

Principais atividades e serviços:

- **Projetos de pesquisa públicos e privados.**
- **Consultorias técnicas:**
  - ✓ Testes de combustão e gaseificação de combustíveis sólidos fósseis e renováveis em reator de leito fluidizado borbulhante;
  - ✓ Testes de remoção de enxofre em reator de leito fluidizado borbulhante;
  - ✓ Avaliação de materiais e aplicações na síntese de novos produtos;
  - ✓ Testes de adsorção de gases: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>;
  - ✓ Avaliação de processos e indicação de melhorias;
  - ✓ Levantamento de potencial energético de combustíveis;
  - ✓ Simulação de processos industriais;
- **Análises laboratoriais: análises termogravimétricas, análises de poros (determinação de área superficial, volume e diâmetro de poros);**
- **Análises de gases de combustão em fontes estacionárias (chaminé);**

**“CAPTURA DE CO<sub>2</sub>  
NA INDÚSTRIA DO CARVÃO:  
ADSORÇÃO X ABSORÇÃO”**

# Visão geral sobre processos de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>

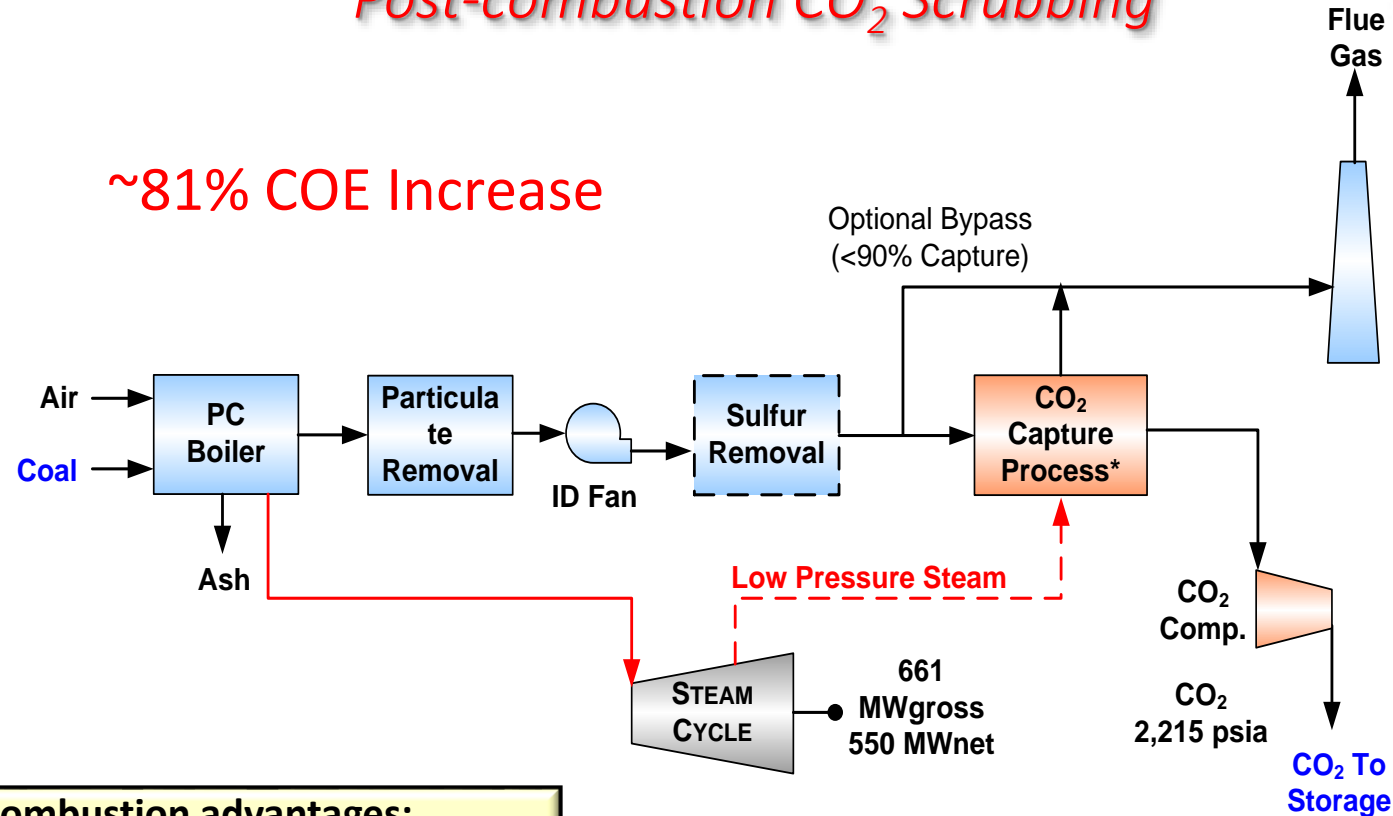


Source: CO2CRC

# Pulverized Coal Power Plant

## Post-combustion CO<sub>2</sub> Scrubbing

~81% COE Increase



### Post-combustion advantages:

- Back-end retrofit
- Slip-stream (0 to 90% capture)

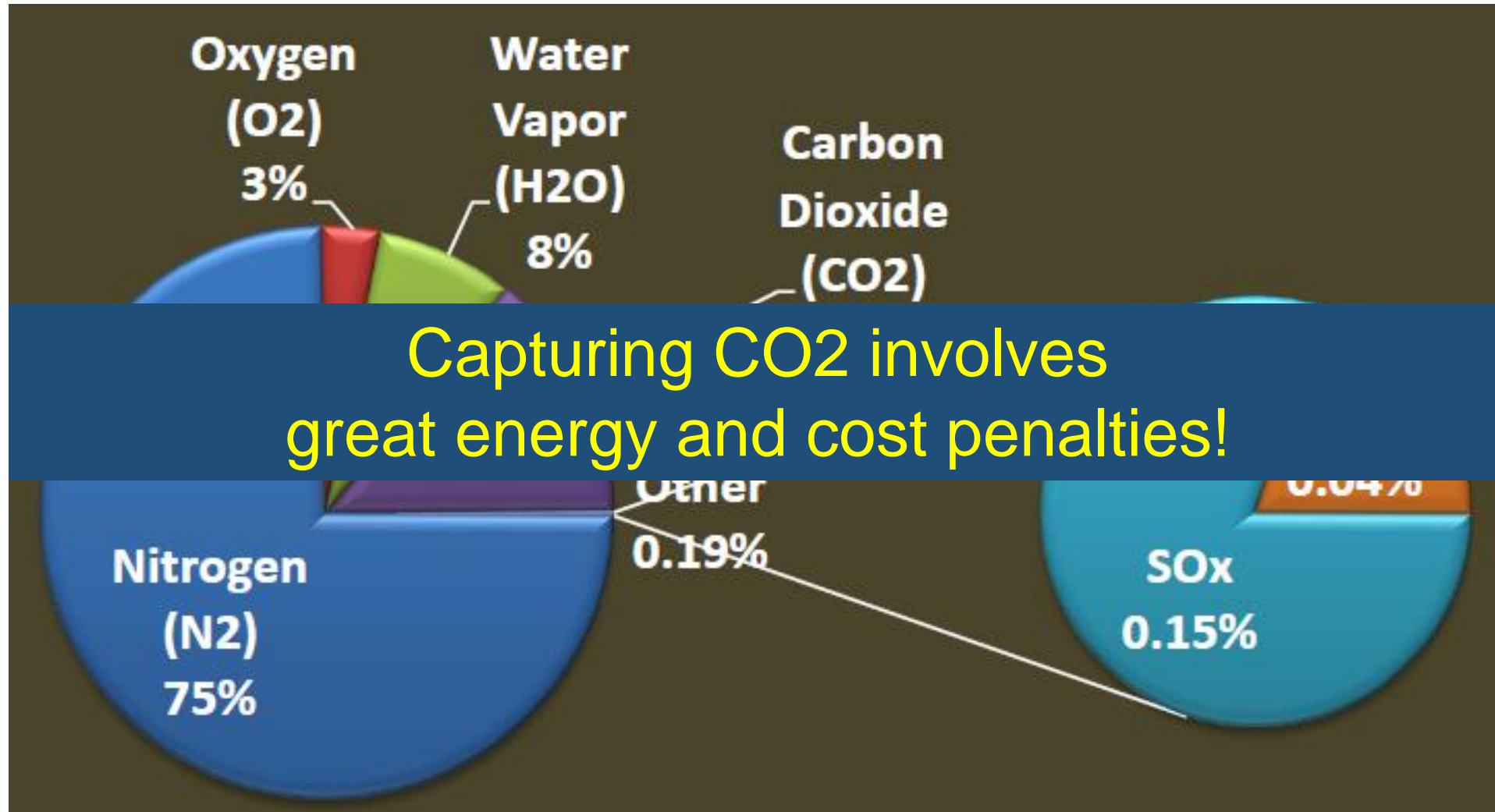
### Amine scrubbing Advantages:

- Proven Technology (Petroleum refining, NG purification)
- Chemical solvent → High loadings at low CO<sub>2</sub> partial pressure
- Relatively cheap chemical (\$2-3/lb)

### Key Challenges:

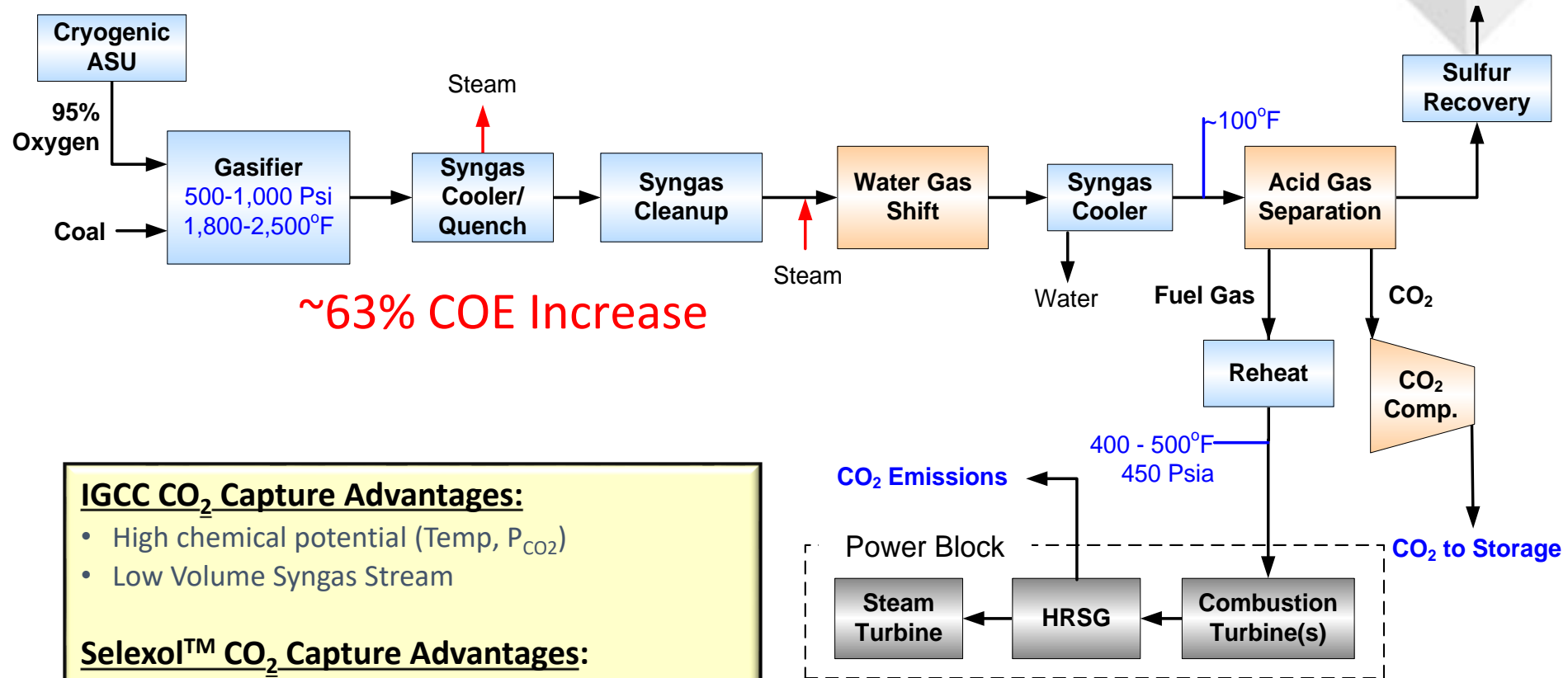
- Dilute flue gas (12-15 volume %)
- 2-3 MM acfm for a 500-600 MWe plant
- ~50% currently scrubbed for SO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub>
- Increased cooling requirements

# Composição típica de gases de exaustão de térmicas a carvão mineral – Pós-combustão



# IGCC Power Plant

## Pre-combustion CO<sub>2</sub> Scrubbing



### IGCC CO<sub>2</sub> Capture Advantages:

- High chemical potential (Temp, P<sub>CO2</sub>)
- Low Volume Syngas Stream

### Selexol™ CO<sub>2</sub> Capture Advantages:

- 30+ years of commercial operation (55 worldwide plants)
- Physical Liquid Sorbent
- Highly selective for H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> is produced at “some” pressure

### Key Challenges:

- Complex, integrated power process
- Additional process (WGS) to get high capture rates
- Current technology (Selexol) requires cooling and reheating

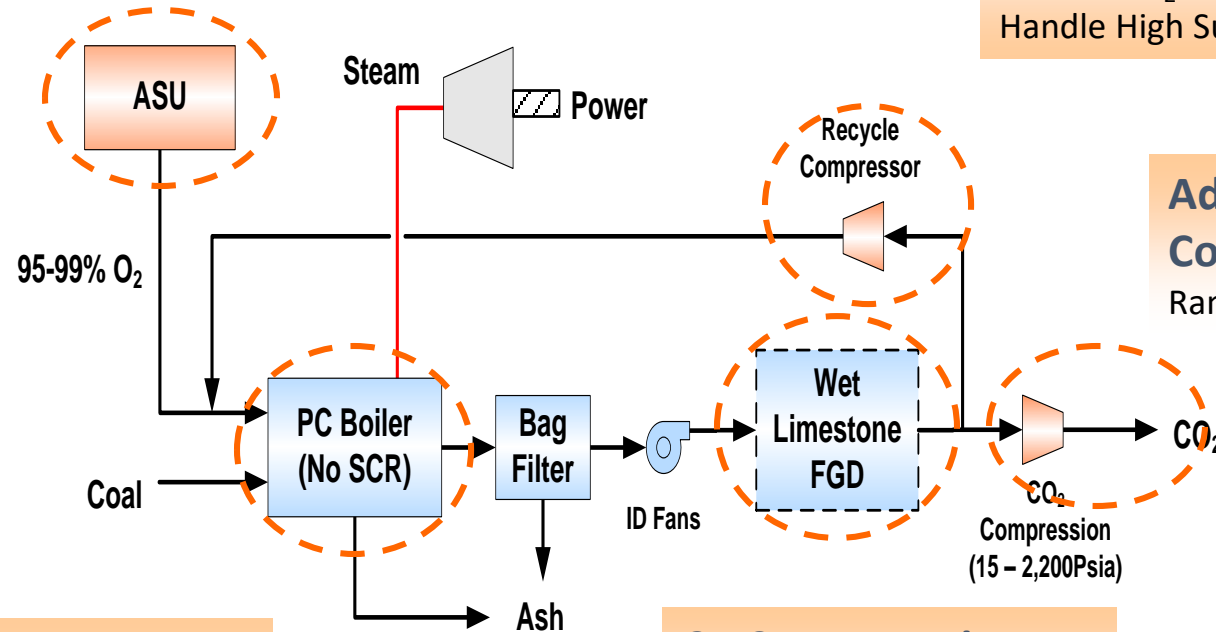
# Pulverized Coal Oxyfuel Combustion

**Cheap Oxygen**  
Oxygen Membranes



**Advanced MOC\***

Reduce CO<sub>2</sub> Recycle  
Handle High Sulfur Con.



**Advanced Compression**  
Ramgen, SwRI

**Oxyfuel Boilers**  
Compact Boiler Designs  
Adv. Materials (USC)  
Advanced Burners

**Co-Sequestration**  
Multi-pollutant capture



# US CO<sub>2</sub> Capture Program Goals

*Projects in demonstration, advanced CO<sub>2</sub> capture technologies that achieve:*

## *Post- and Oxy-combustion*

*90% CO<sub>2</sub> capture*

*Compression, transport, storage*

*< 35% increase in COE*

*< \$25/ton CO<sub>2</sub> Captured*

## *Pre-combustion (IGCC)*

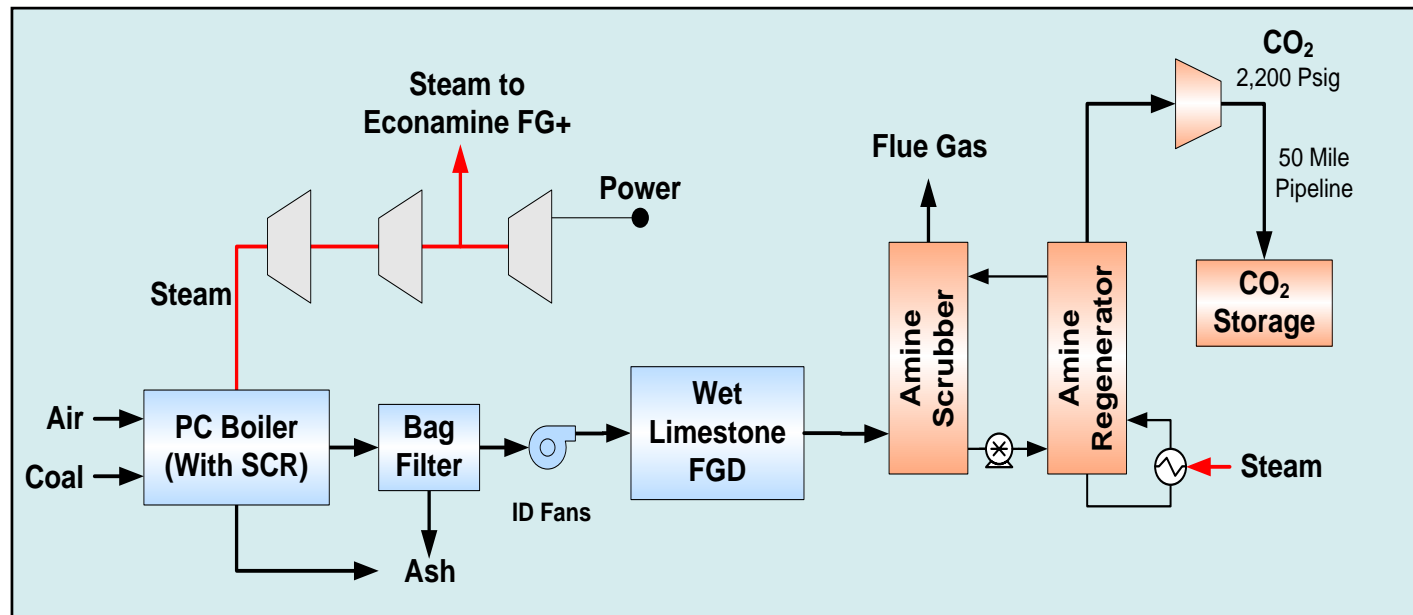
*90% CO<sub>2</sub> capture*

*Compression, transport, storage*

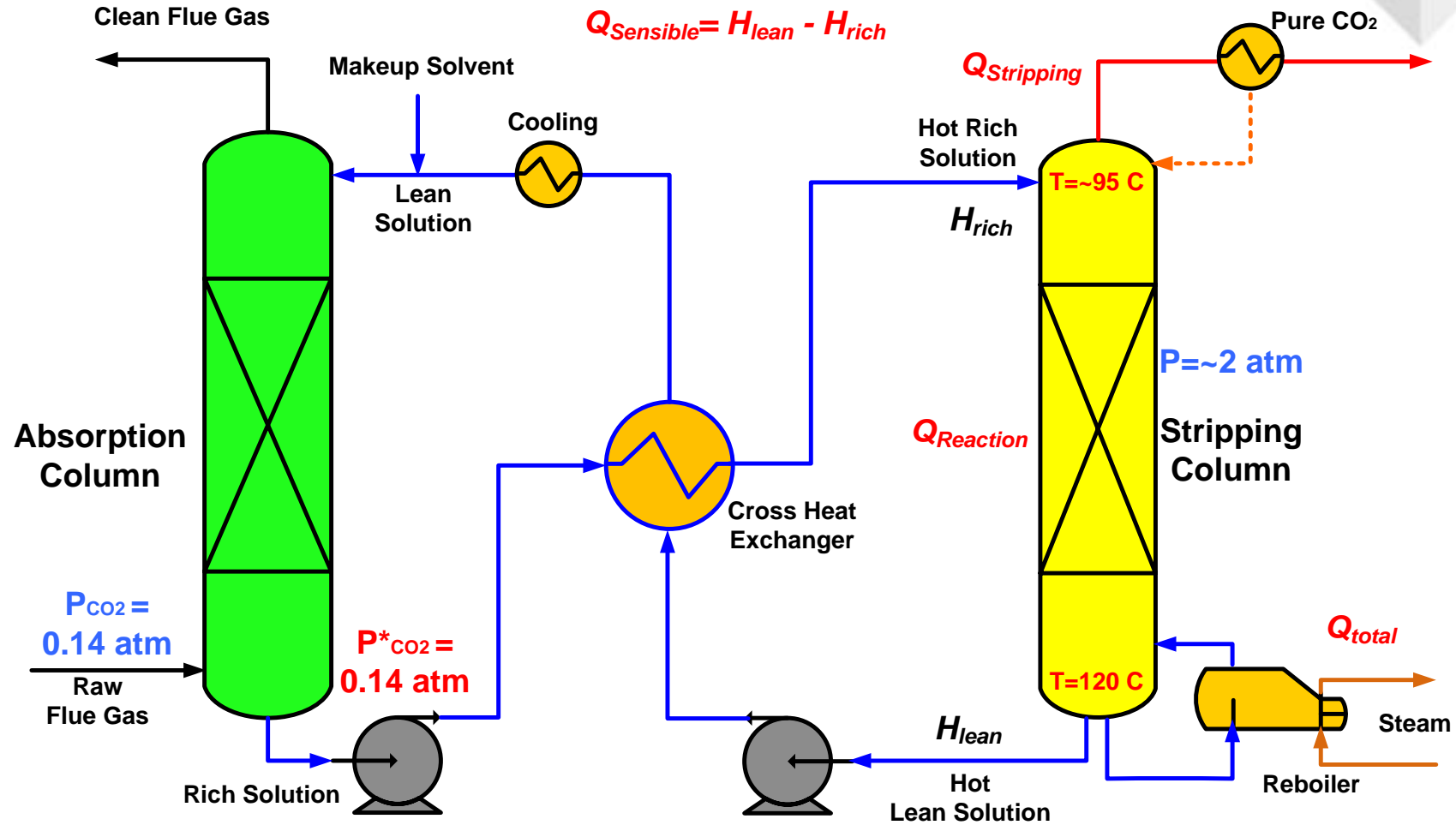
*< 10% increase in COE*

*< \$25/ton CO<sub>2</sub> Captured*

**Evaluated and Set by Systems Analyses**



# Conventional Absorption/Stripping Processes

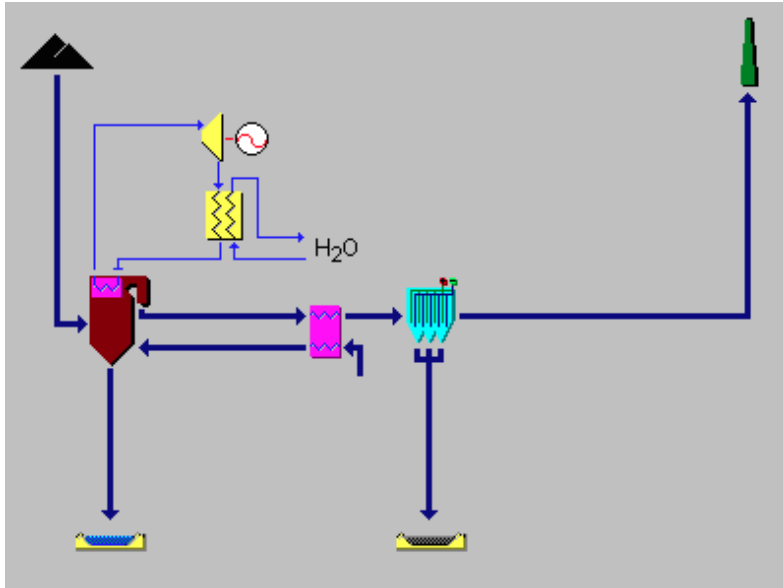


# Valores representativos para penalidade energética em diferentes sistemas com CCS implantado

Planta de Energia	Sistema de captura	Eficiência líquida sem CCS	Eficiência líquida com CCS	Energia (%) kWh adicionada	Redução (%) em kWh saída
Planta subcrítica já existente de carvão pulverizado	Pós-combustão	33	23	43%	30%
Planta subcrítica nova de carvão pulverizado	Pós-combustão	40	31	29%	23%
Planta subcrítica nova de carvão pulverizado	Oxicombustão	40	32	25%	20%
IGCC nova (carvão betuminoso)	Pré-combustão	40	33	21%	18%
Planta de gás natural nova com ciclo combinado	Pós-combustão	50	43	16%	14%

Fonte: Adaptado de RUBIN *et al.*, (2012).

# Simulação da implantação de tecnologia de captura de CO<sub>2</sub> comercial na UTLC



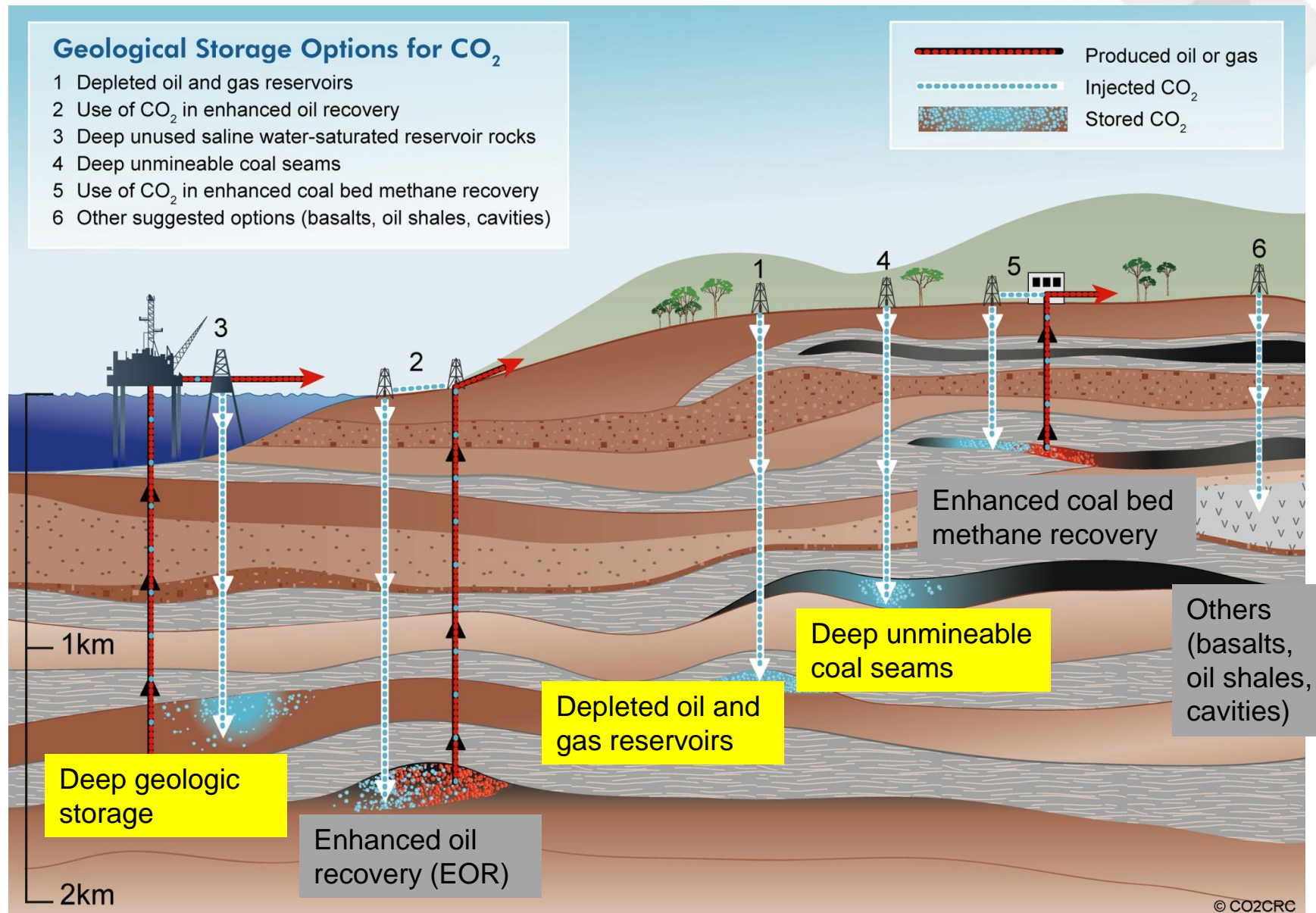
Esquema simplificado da UTLC (Fonte: IECM-CS, 2015)

Software *Integrated Environmental Control Model with Carbon Sequestration* (IECM-CS), Modelo Integrado de Controle Ambiental para Captura de Carbono simulou a implantação da tecnologia de captura de CO<sub>2</sub> na pós-combustão de carvão mineral na referida termelétrica utilizando MEA.

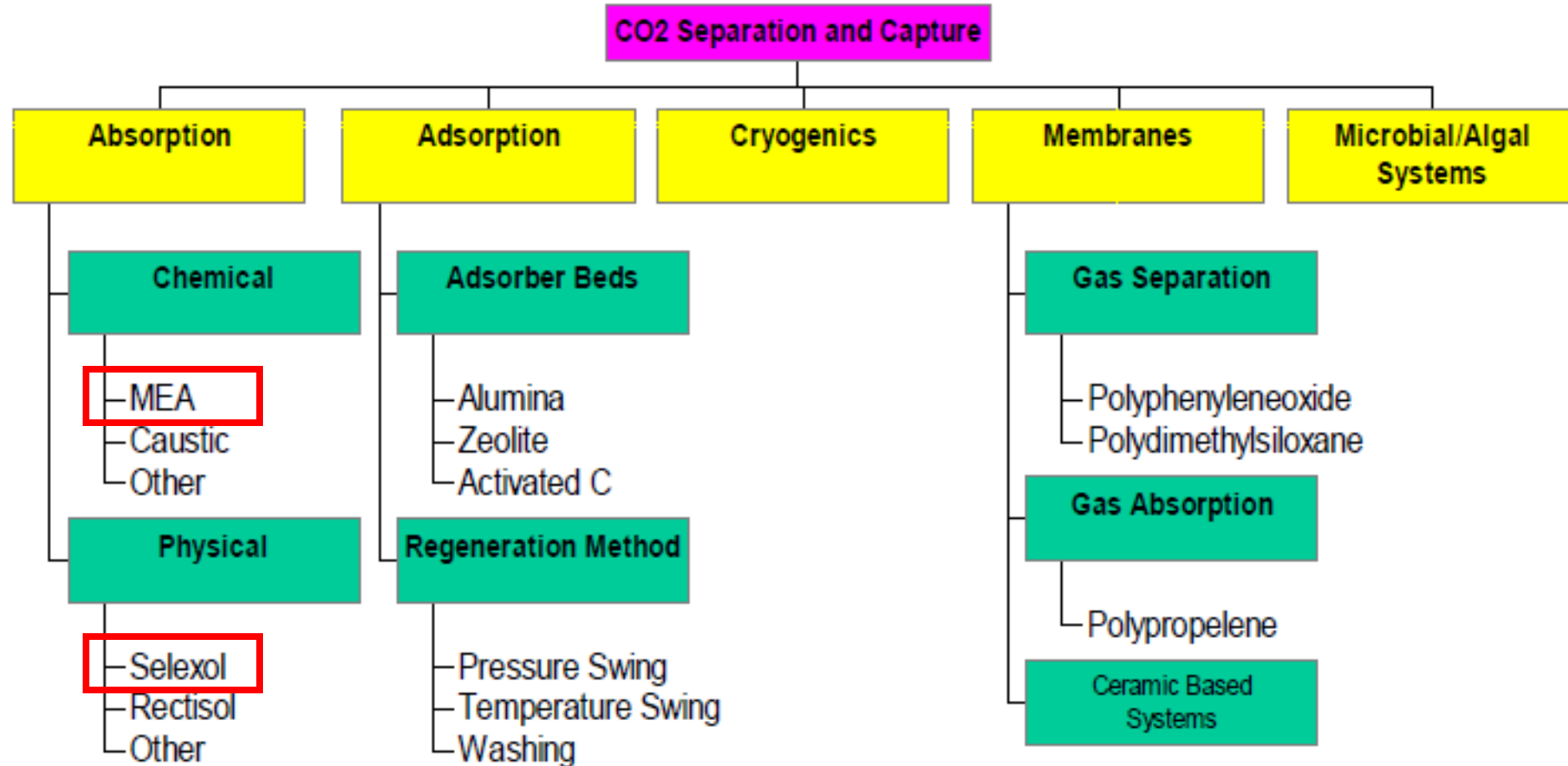
O IECM-CS é uma interface desenvolvida para o *National Energy Technology Laboratory* (Laboratório Nacional de Tecnologia em Energia) do *U.S Department of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos) pelo *Center for Energy and Environmental Studies* (Centro de Estudos para Energia e Meio Ambiente) da Universidade *Carnegie Mellon*.

- ✓ Diminuição da eficiência = 20,34%;
- ✓ Aumento no custo de energia = 136,32%;
- ✓ Consumo de água = 13,1%;

# Opções de armazenamento de CO<sub>2</sub>

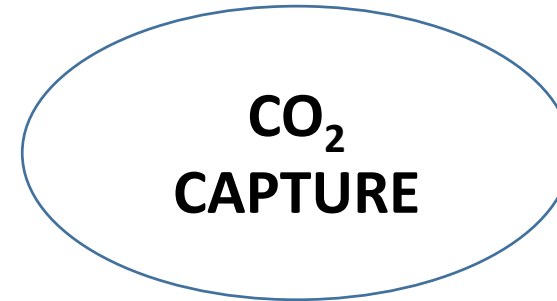
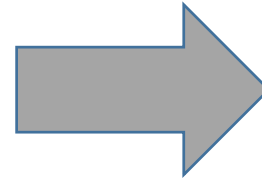


# Opções de captura de CO<sub>2</sub>

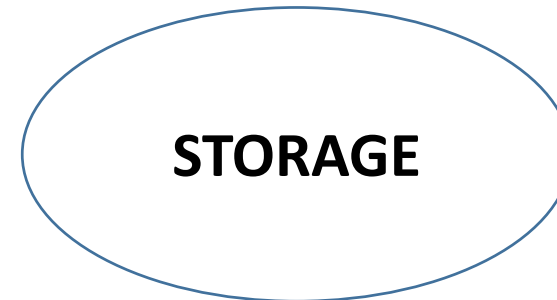
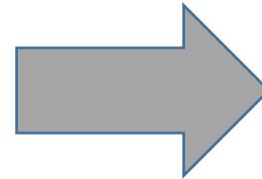


# Atividades de P&D sobre captura de CO<sub>2</sub> no Brasil

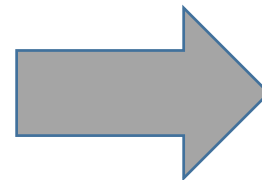
SATC,  
PUC-RS  
UFC  
Petrobras



PUC  
USP



COPPE



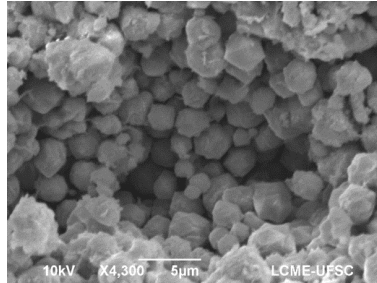
# PROGRAMA DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub> SATC



# PROGRAMA DE CAPTURA CO<sub>2</sub> SATC

**2016**

Testes de adsorventes em escala de laboratório



**2014-2015**

Início das atividades referentes à síntese de adsorventes para captura de CO<sub>2</sub>: zeólitas (a partir de cinzas de carvão) e amina enriquecida.

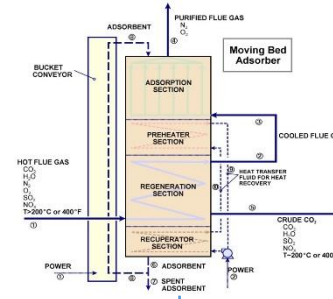


**2017**

- Laboratório de captura de CO<sub>2</sub> pronto;
- Scale up da síntese.

**2019**

Operação de planta piloto para captura de CO<sub>2</sub> (TSA - ARI)



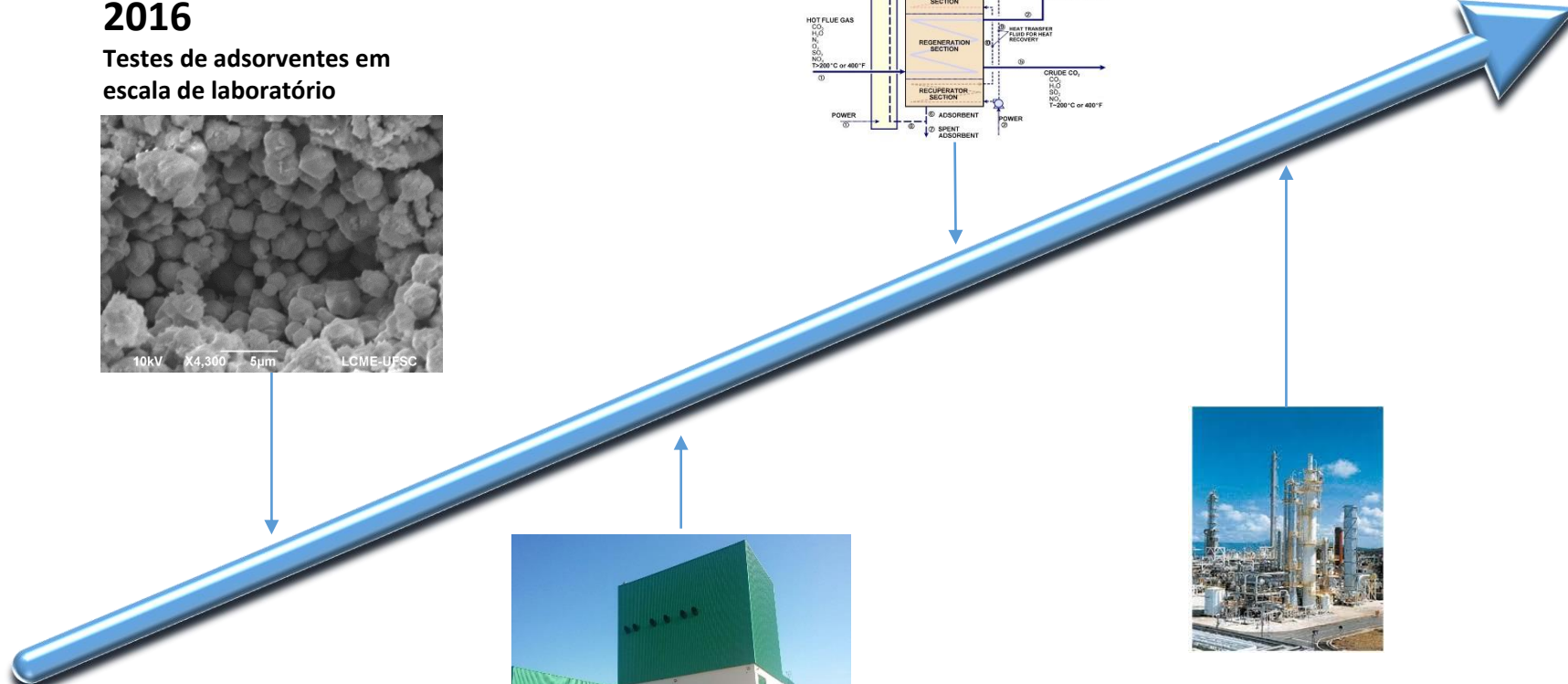
**2030**

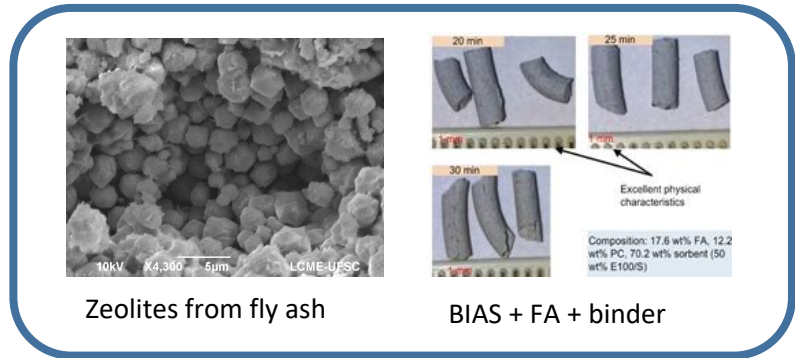
Escala Comercial



**2021-2025**

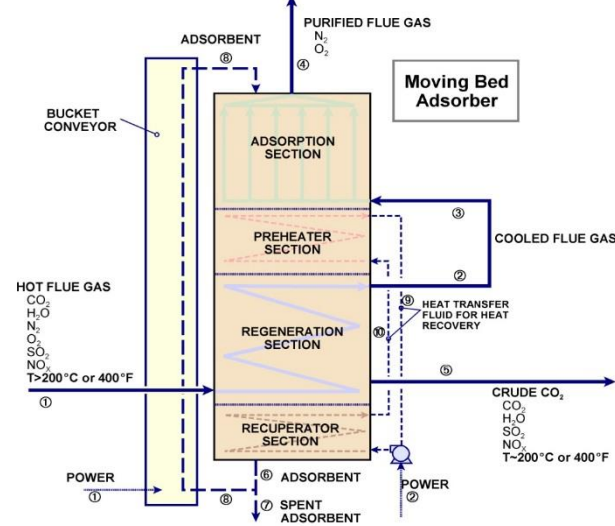
Resultados de testes piloto para escala de demonstração



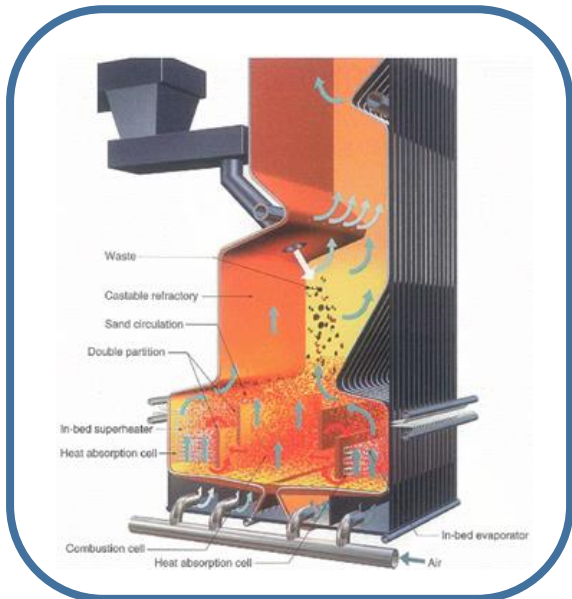


10,5 milhões aprovados no programa de captura de CO<sub>2</sub>

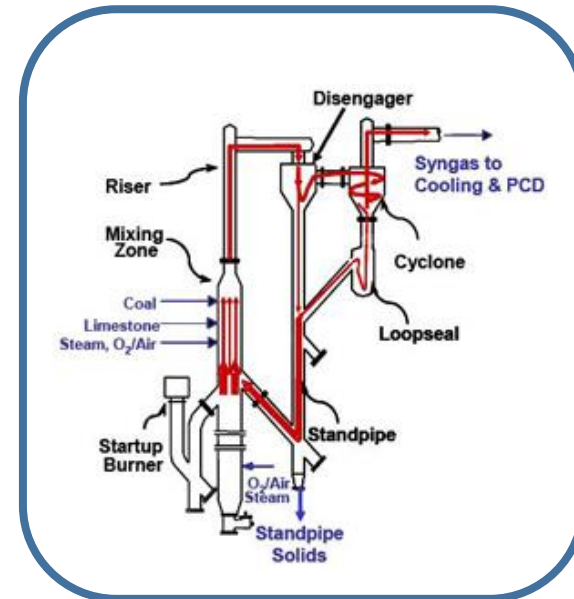
### Planta piloto para síntese de adsorventes



### Planta piloto de captura de CO<sub>2</sub>



### Planta piloto de Combustão



### Planta Piloto de Gasificação

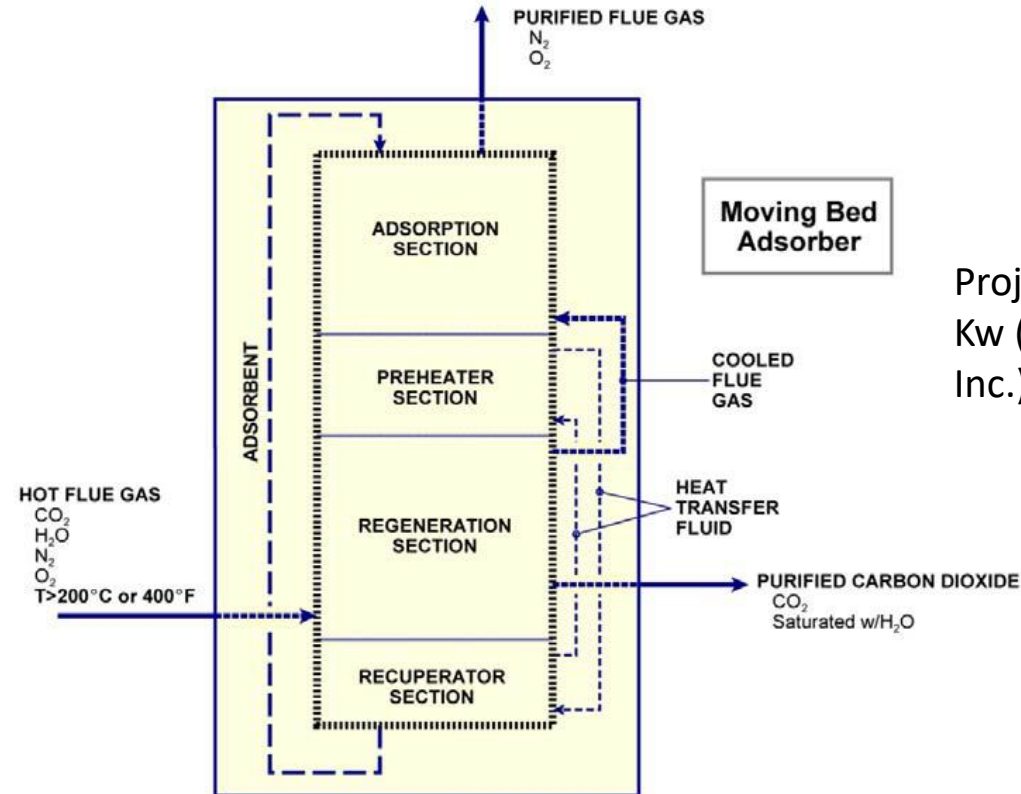
# Projeto de Captura de Carbono 1: Construção de Laboratório e Síntese de Adsorventes

R\$ 5,5 milhões



Laboratório

## Projeto da planta piloto de captura de CO<sub>2</sub>: processo TSA



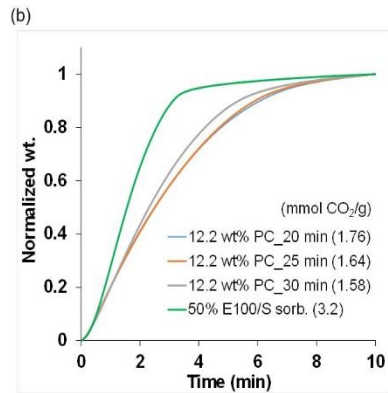
Projeto detalhado da PP 100 Kw (Adsorption Research Inc.)



Diagrama de blocos do processo TSA em leito movente

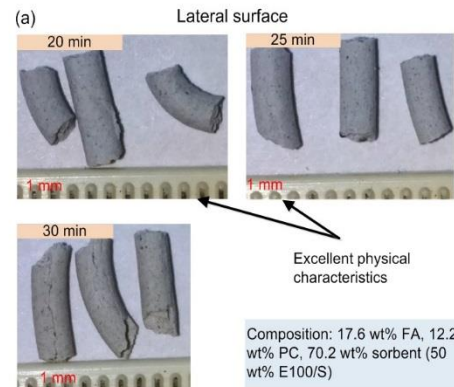
# Projeto 1 de captura de carbono: Síntese de adsorventes

Síntese e testes de novos adsorventes em escala de laboratório (TGA:mg/leito fixo:1-10g): zeólitas a partir de cinzas de carvão e amins sólidas enriquecidas



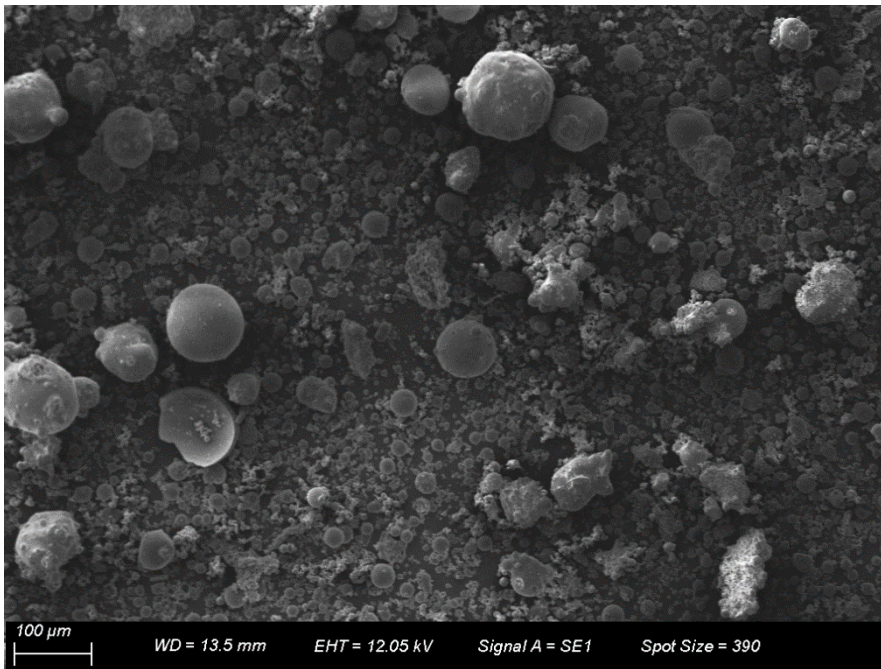
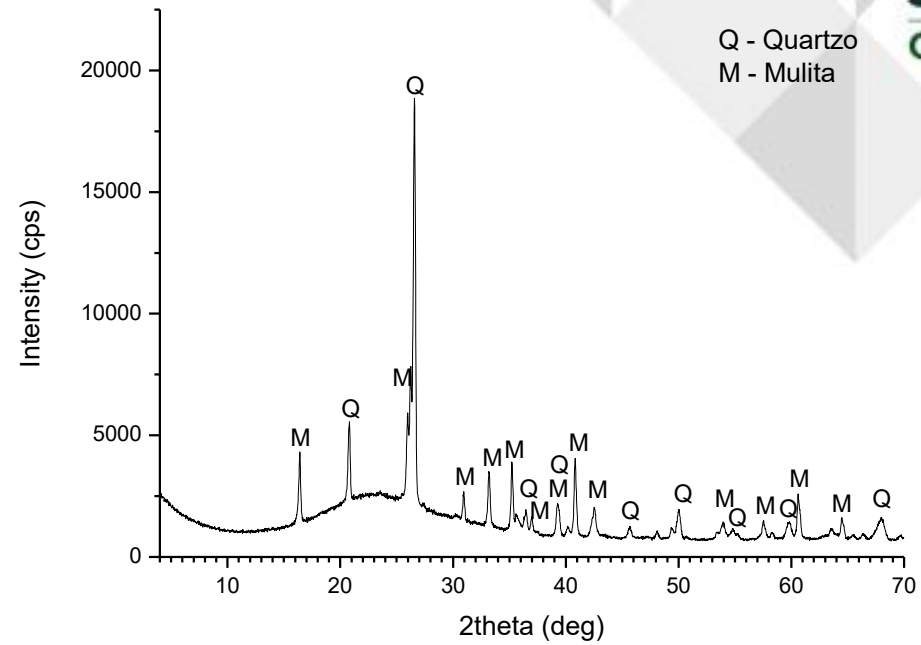
Amina + cinza leve + aglomerante binder (patente requerida nos EUA)

Zeolitas: Tipo X e A



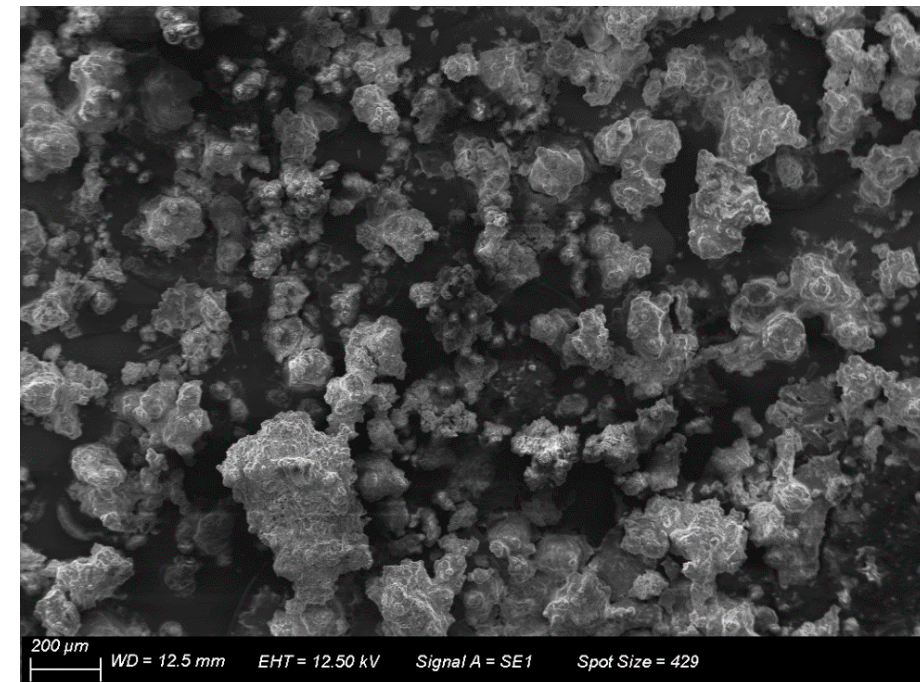
### DRX da amostra de cinza leve

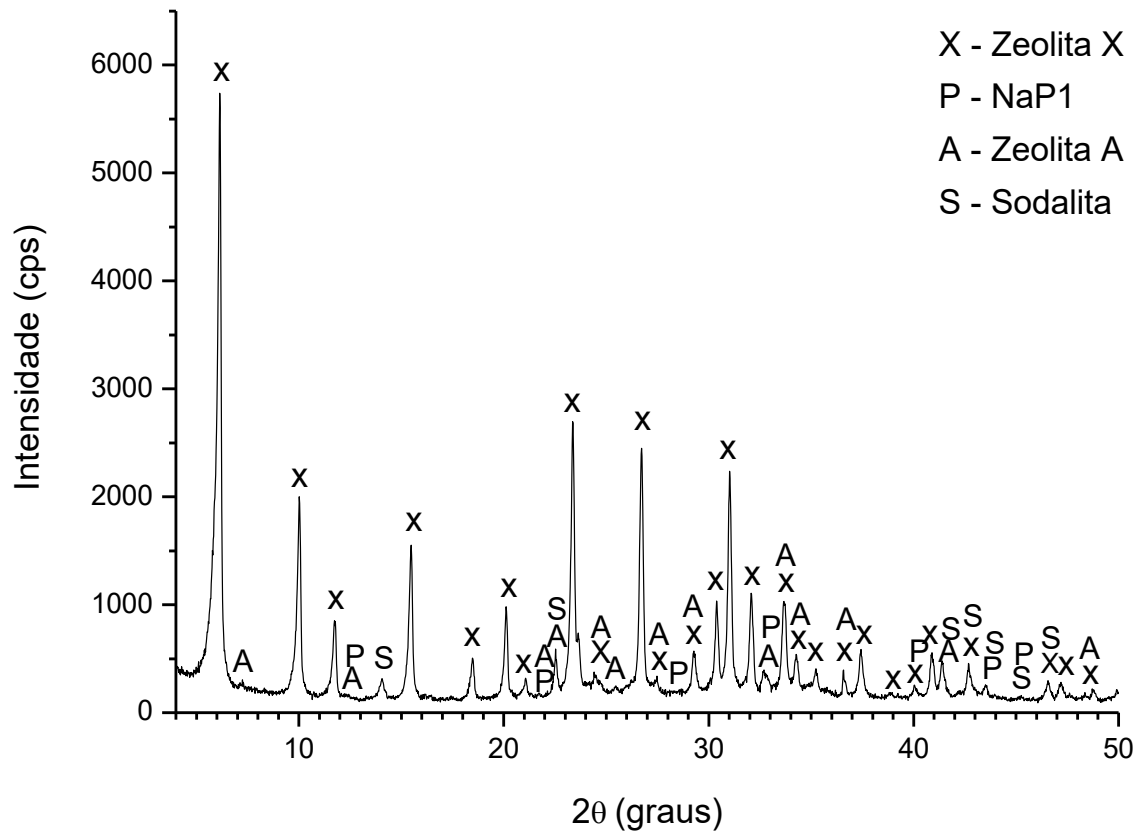
Q - Quartzo  
M - Mulita



**CINZA LEVE DE CARVÃO  
MINERAL**

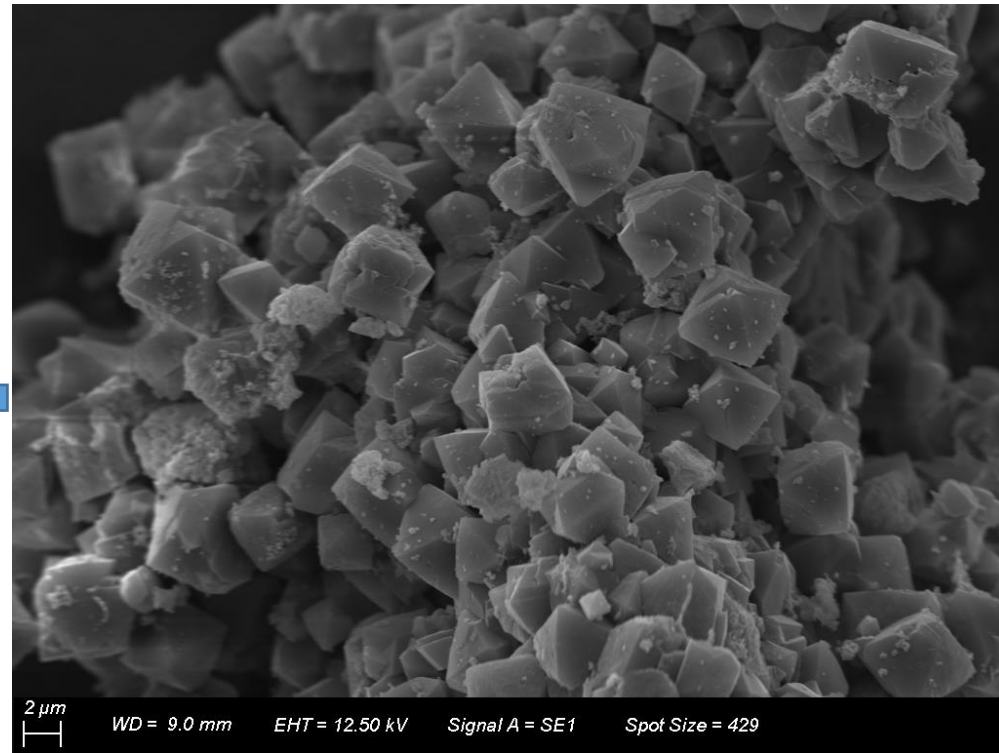
**PRODUTO DA FUSÃO  
DE CINZA LEVE + NaOH**





**Difratograma de Raios-X da zeólitas sintetizada na SATC a partir de cinzas leves de carvão mineral**

**ZEÓLITA X DE EXCELENTE QUALIDADE**

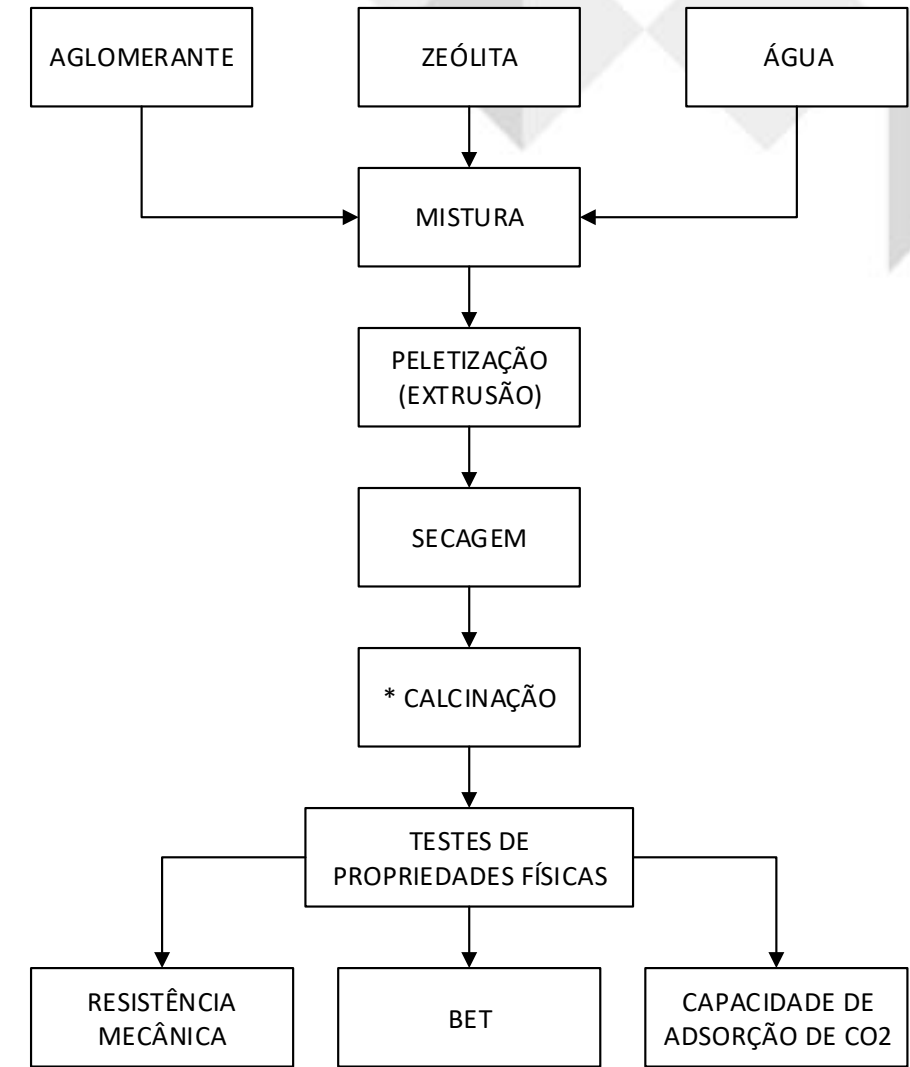


# Projeto 1 de captura de carbono: Síntese de adsorventes - Análise de poros e peletização

Material	Volume total de poros (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	Área superficial específica (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Diâmetro médio de poros (Å)
Cinza Leve	2,047 x 10 <sup>-3</sup>	0,5900	138,8
Cinza Pesada	2,955 x 10 <sup>-3</sup>	2,556	46,25
Zeólita 13X Comercial	0,3492	497,8	28,06
Zeólita 13X Sintética Pura	<b>0,3187</b>	<b>524,60</b>	<b>24,30</b>



Péletes da zeólita sintética



Fluxograma do processo de peletização

# Resistência mecânica



Equipamentos de análise da resistência a compressão

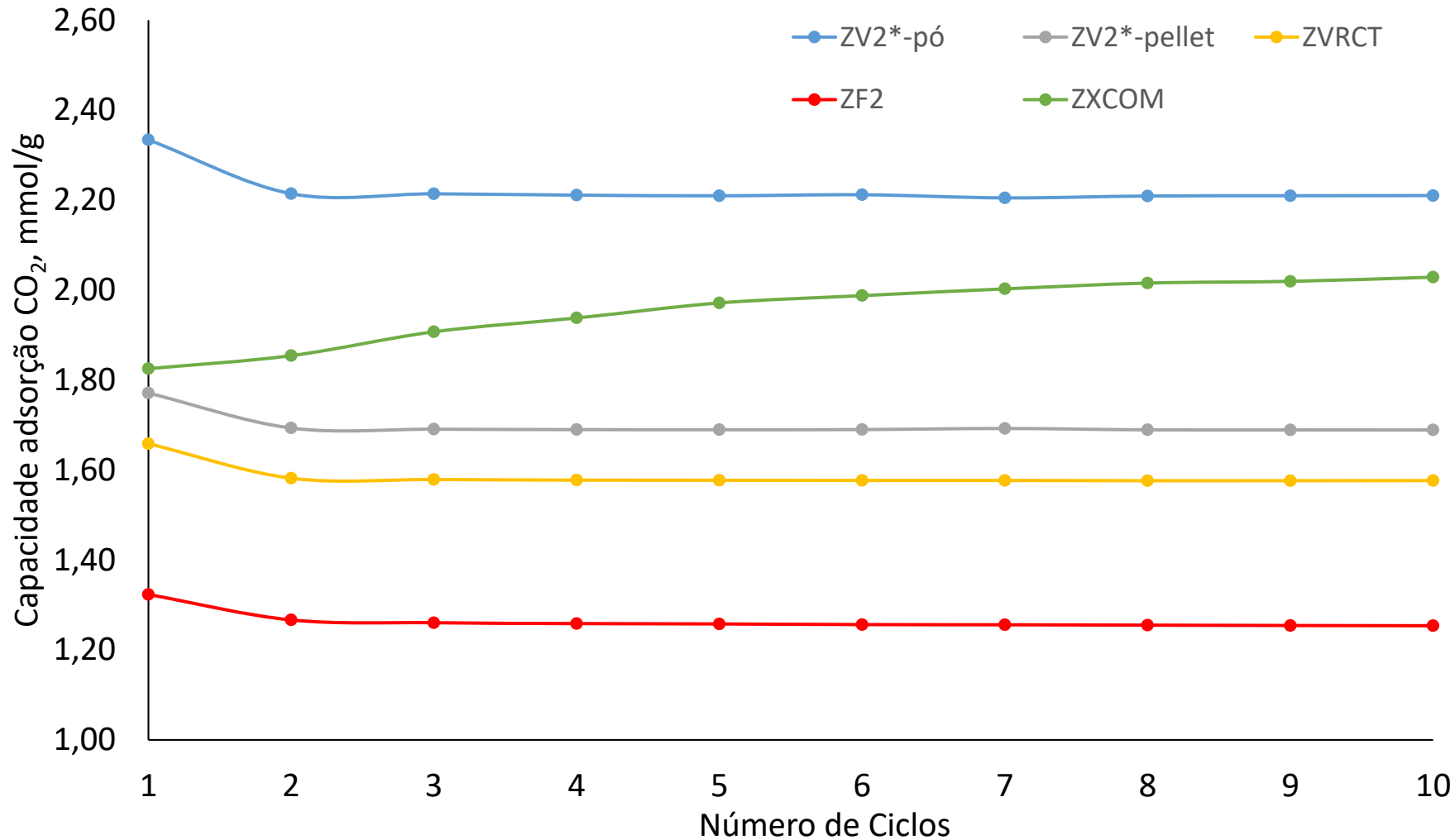


Material	Força (N)	Resistência (MPa)
<b>Zeolita + Aglom. 20%</b>	26,66	7,01
<b>Zeolita + Aglom. 30%</b>	39,85	11,50
<b>Comercial</b>	27,79	13,82



# RESULTADOS DOS TESTES DE CAPACIDADE

Zeólita 13X Sintética SATC



# Projeto de Captura de Carbono 2: Síntese de testes sorventes e de Planta Piloto



Investimento : R\$ 5,0 milhões

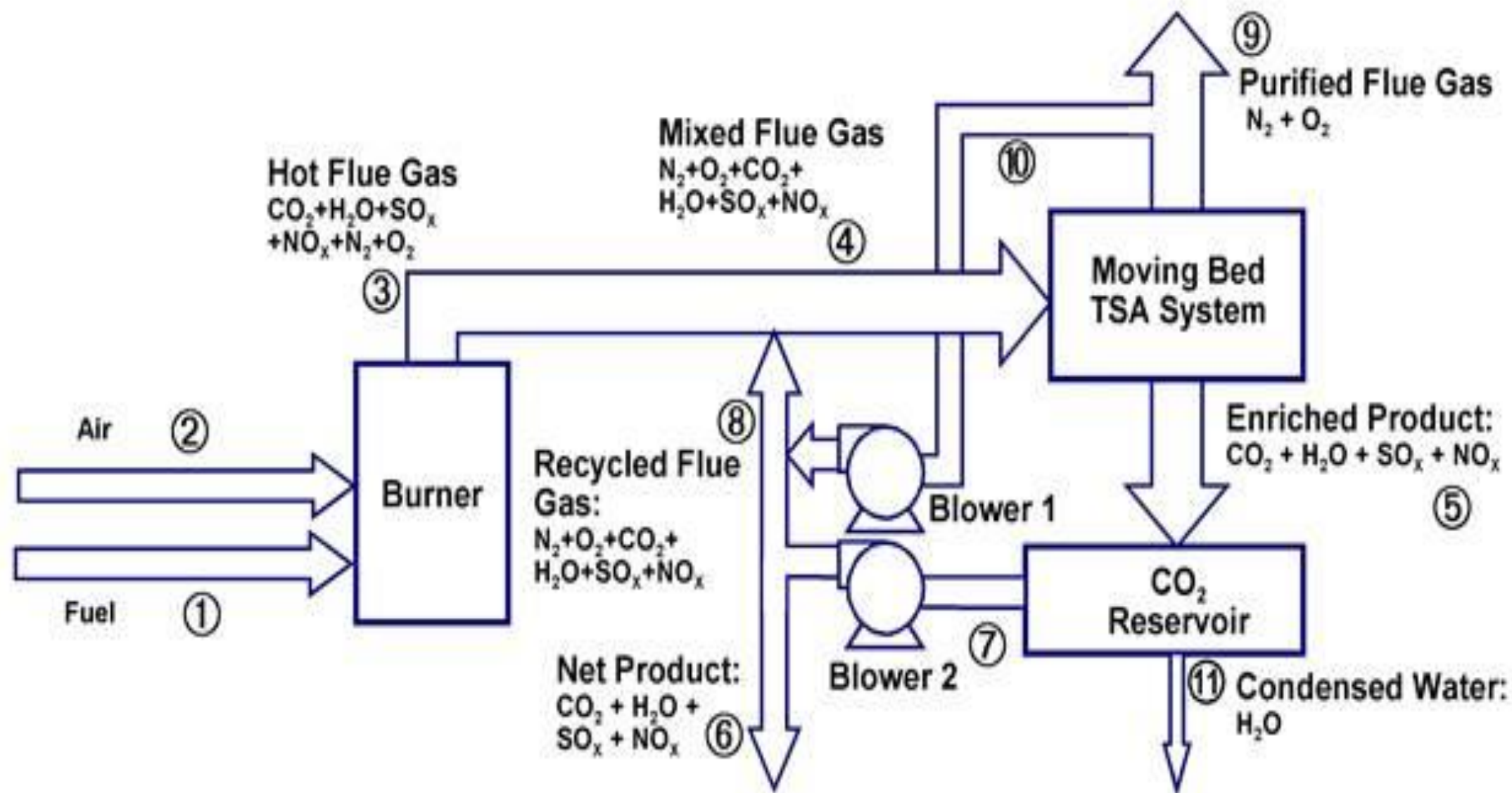
Síntese de zeólitas de cinzas de carvão utilizando diferentes métodos e condições: hidrotérmico clássico e pressurizado, duas etapas e utilizando um microondas.



Granulator/Extruder/Spheronizer



Pressurized Hydrothermal Reactor



M01\_EC01

lock on auto cmd

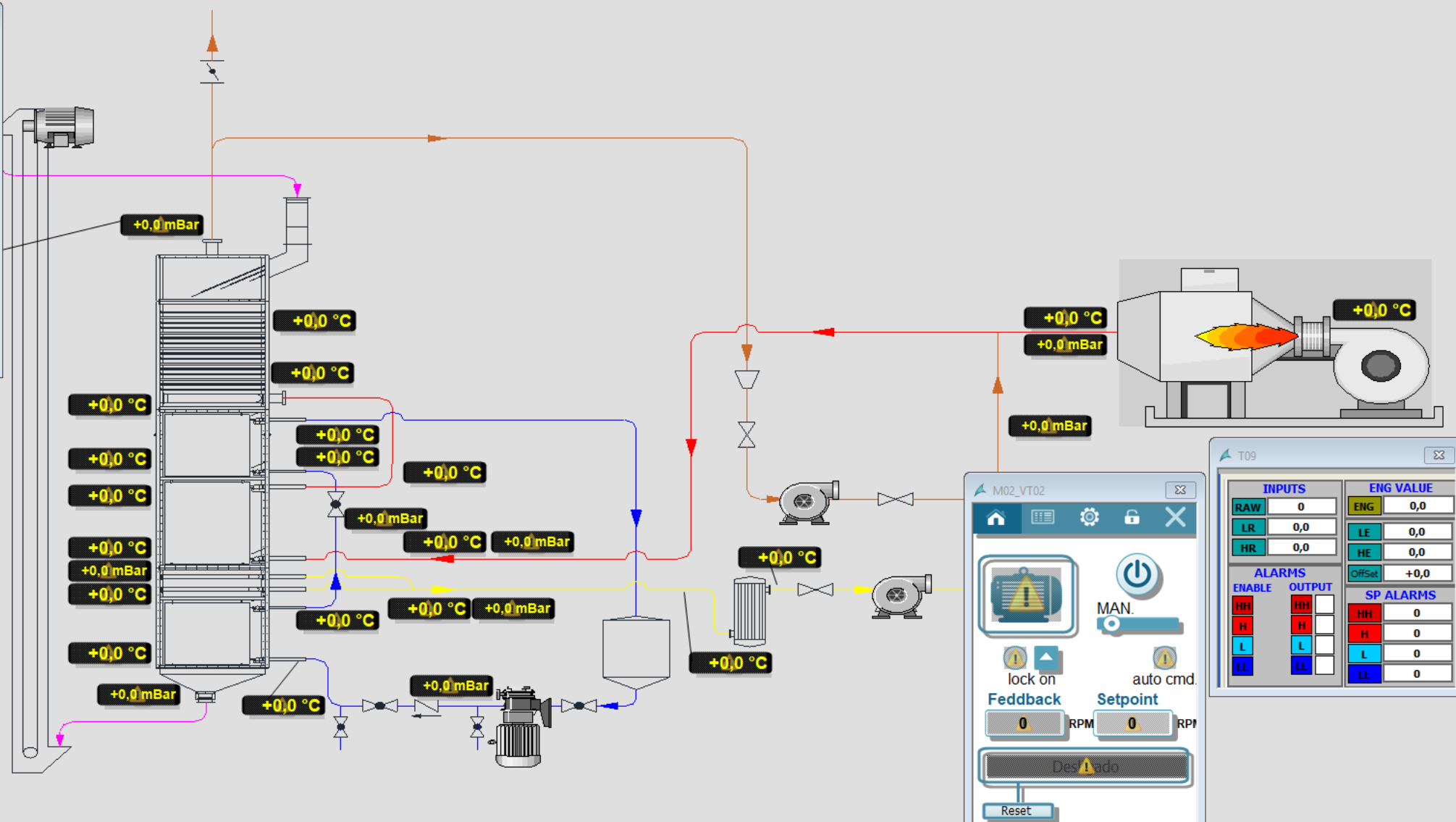
Feedback RPM 0 Setpoint RPM 0

Desalado

Reset

Wolfer Automação - MTRE - BN

- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar
- +0,0 mBar



M02\_VT02

lock on auto cmd

Feedback RPM 0 Setpoint RPM 0

Desalado

Reset

T09

INPUTS		ENG VALUE	
RAW	0	ENG	0,0
LR	0,0	LE	0,0
HR	0,0	HE	0,0
ALARMS		Offset	+0,0
ENABLE	OUTPUT	SP ALARMS	
HH	HH	HH	0
H	H	H	0
L	L	L	0
LL	LL	LL	0



No connection to data server!

Status	Nome	Estado	Local de encaixe	Tipo	Número do pedido	Endereço	Designa
✓	Instalação						
✗	ET 200SP station_2					32*	

# PILOT PLANT ASSEMBLY



The assembly of the structures for installation of the pilot plant took place in the last week of July of 2018.

Structure assembling of the pilot plant.

# PILOT PLANT ASSEMBLY



Top of the column, zeolite recirculation section for distribution in the adsorption section.



Adsorption section with flue gas distribution tube.

# PILOT PLANT ASSEMBLY



Heat recovery section with pillow plates.



Regeneration section with respective gas inlets and outlets.

# PILOT PLANT ASSEMBLY



Front view of the pilot plant without thermal insulation.



Side of the pilot plant without thermal insulation.



# PILOT PLANT ASSEMBLY



Sealing of different sections and pipes of the plant. After conducting leak tests using silicone as sealant, 25 mm thick ceramic fiber boards were added for external thermal insulation to reduce the heat loss along the column.

# PREPARATION AND GASES ANALYSIS



Tubes heated by thermoresistance to conduct 5 currents to the mass spectrometer.



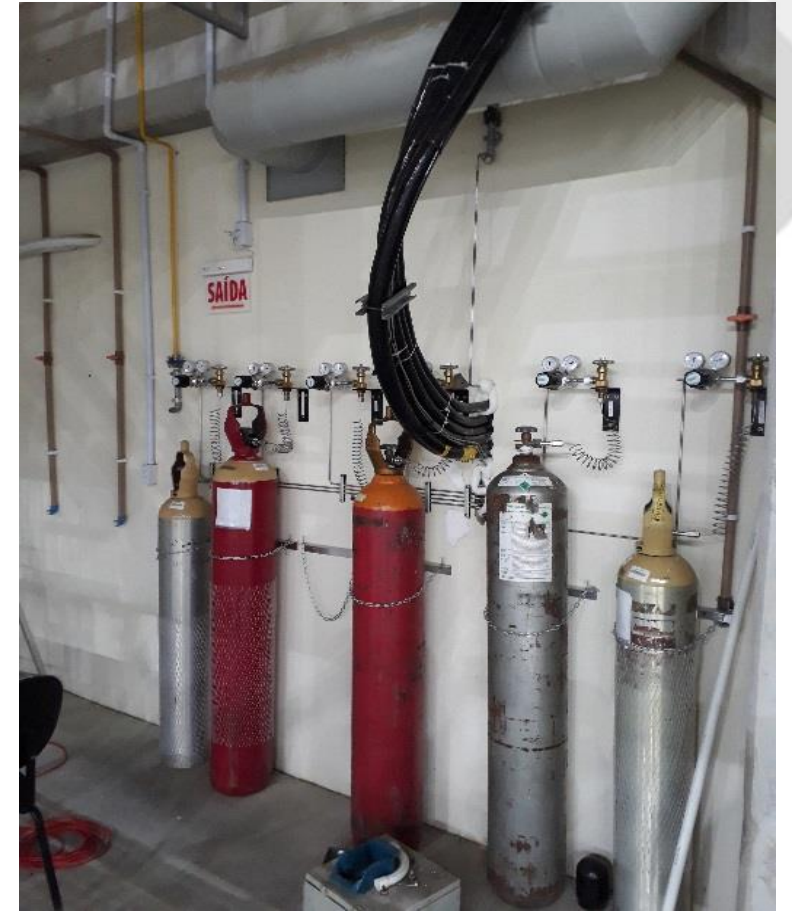
# PREPARATION AND GASES ANALYSIS



(a)



(b) (c)



Thermoresistance temperature controllers to heat pipes that conduct the gases to the gas analyzer, (b) Thermo Fisher Scientific Prima Pro mass spectrometer to measure the gases composition, (c) Gas central containing the standards and dual stage regulator valves for calibration of the mass spectrometer.

# PILOT PLANT ASSEMBLY



Front view of the pilot plant with thermal insulation.



Isometric view of the pilot plant with thermal insulation.

# SATC

## Centro Tecnológico

---

### Contato

ctcl@satc.edu.br  
48 3431.7613

[www.portalsatc.com](http://www.portalsatc.com)

FONE +55 48 3431.7500 | FAX +55 48 3431.7501

OUVIDORIA 0800.648.7600

Rua Pascoal Meller, 73 | Bairro Universitário

Criciúma/SC | Brasil

