



GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS / USO DE TECNOLOGIAS INOVADORAS



Pesquisadora: Dra. Ana Maura Araujo Rocha

Novembro/2016



Dra. Ana Maura Araujo Rocha

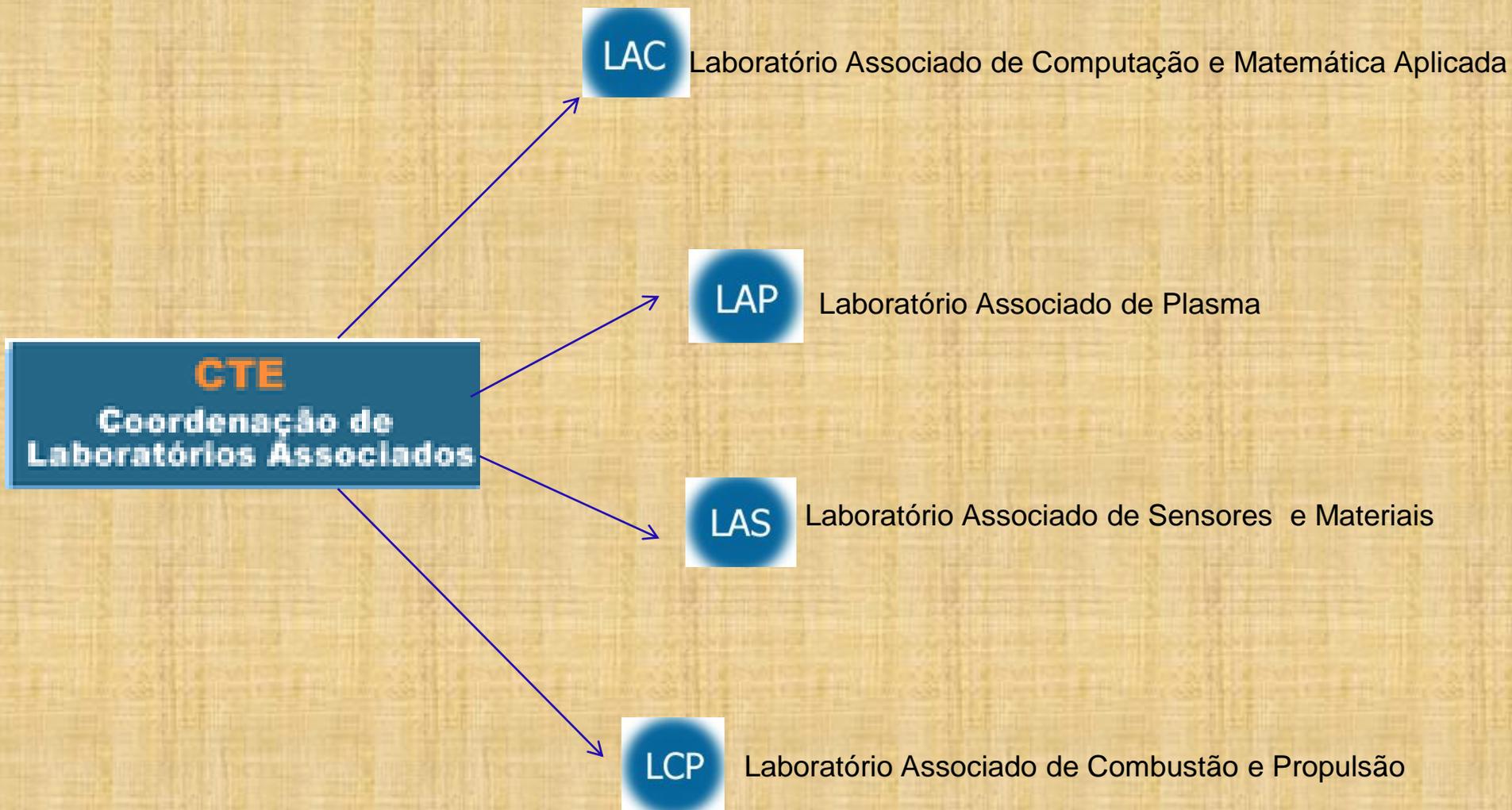
Pesquisadora no Lab. de Aplicações em Combustão e Gaseificação/Lab. Associado de Combustão e Propulsão/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. e-mail: maurarocha@pq.cnpq.br

- ✓ **Graduação** em Engenharia Industrial Química pela FAENQUIL - EEL/USP
- ✓ **Mestrado** em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Combustão e Propulsão, pelo INPE
- ✓ **Doutorado**: UNESP/Guaratinguetá em Eng. Mecânica/Transmissão e Conversão de Energia
- ✓ **Pós-doutorado** : *Flameless Combustion (FLOX)* pelo IST/UTL/Lisboa, Portugal
- ✓ **Pos-doutorado**: Valorização energética do glicerol, subproduto biodiesel LACG/LCP/INPE

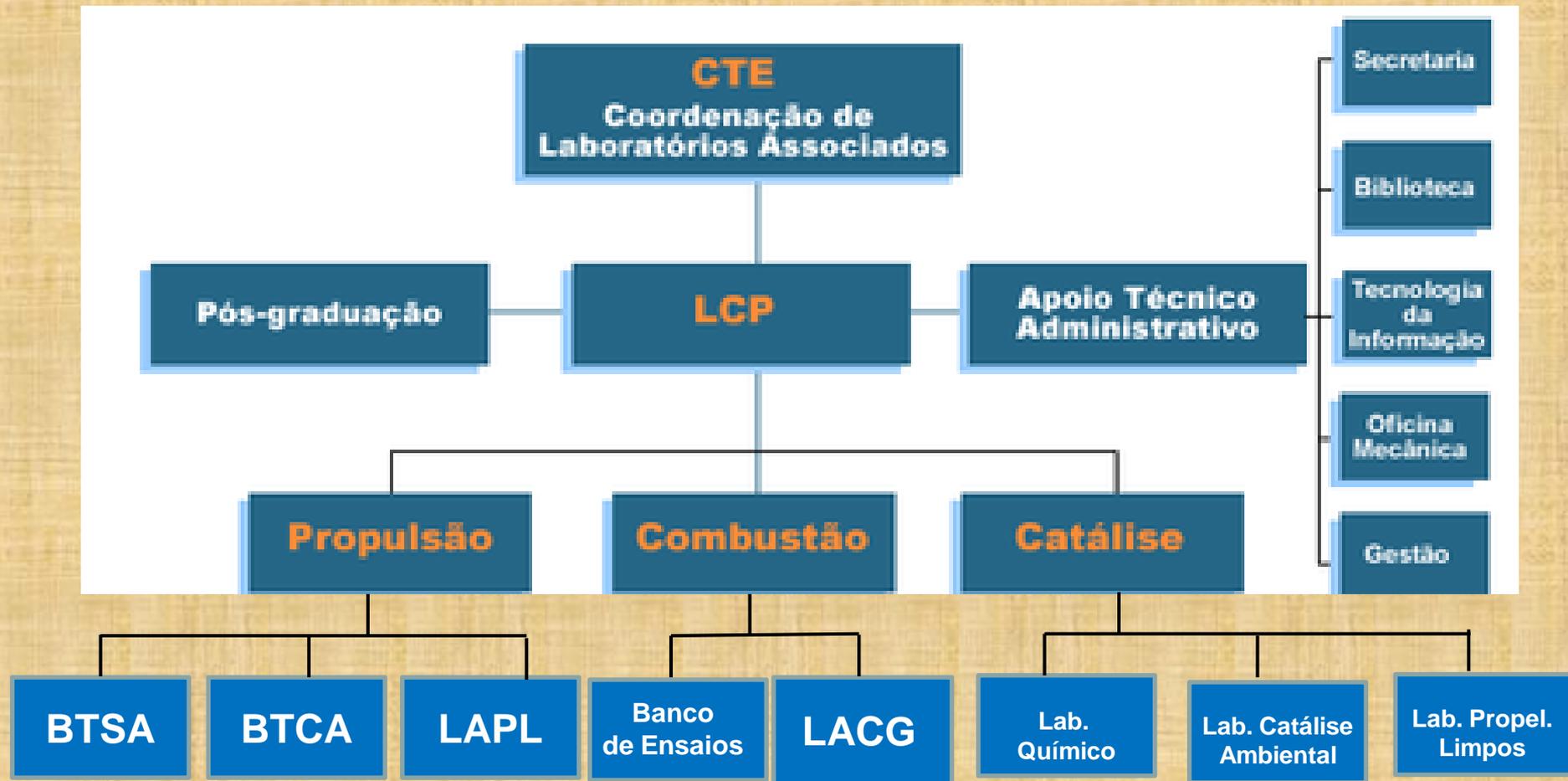
Dra. Ana Maura Araujo Rocha

- ✓ **Projetos em cooperação/países**: otimização de processos industriais;
- ✓ **Projeto temático** combustão biomassa de queimadas na floresta amazônica.
- ✓ **Responsável junto ao CNPq** por projeto relacionado à valorização energética do glicerol.
- ✓ **Desenvolvimento/aplicação** de tecnologias p/utilização de combustíveis alternativos/renováveis/residuais-promover sustentabilidade ambiental/econômica do setor industrial e social.
- ✓ **Tecnologias**: combustão pulsante, *FLOX*, combustão *oxy-fuel* - aproveitamento energético.
- ✓ **Desenvolvimento** de queimadores, técnicas ópticas não intrusivas de medição: tomografia de chama, espectroscopia por emissão com sistema óptico tipo Cassegrain; LDA-Laser Doppler Anemometry; sist.difração laser p/ medição distribuição e tamanho de gotas; equipamentos p/ caracterização de substâncias químicas: calorímetro, CHNS/O, termogravimetria, etc.

Organograma CTE



Organograma LCP



BTSA - Banco de Testes com Simulação de Altitudes

LAPL - Laboratório de Análise de Propelentes

BTCA - Banco de Testes em Condições Atmosféricas

LACG - Laboratório de Aplicações em Combustão e Gaseificação

Objetivos LCP

- ✓ desenvolver atividades de pesquisa e desenvolvimento em combustão, propulsão de satélites, propulsão auxiliar e catálise com aplicações em combustão e propulsão;
- ✓ realizar testes de qualificação de propulsores de satélites e de propulsores auxiliares;
- ✓ formar pessoal qualificado nas áreas de combustão e propulsão;
- ✓ realizar cooperação com outros órgãos e instituições em áreas correlatas.

Resumo da Palestra

- ❑ Escassez de recursos fósseis / altos índices de poluição - fontes alternativas de geração de energia / renováveis - reduzam as emissões de poluentes.
- ❑ Fontes renováveis alternativas - a **energia eólica**, **energia solar**, **energia geotérmica**, **energia hidráulica**, **energia de biomassa** – algumas desenvolvidas / outras em estudo.
- ❑ Abordagem geral dos custos/benefícios/vantagens destas, dando-se ênfase à geração de energia através de biomassa e seus derivados.
- ❑ Desenvolvimento de tecnologias inovadoras para a combustão de biomassa/seus resíduos - redução das emissões de poluentes - geração de energia ser a mais utilizada no planeta.



Cheshire, UK, início 1800 (Processo Leblanc)



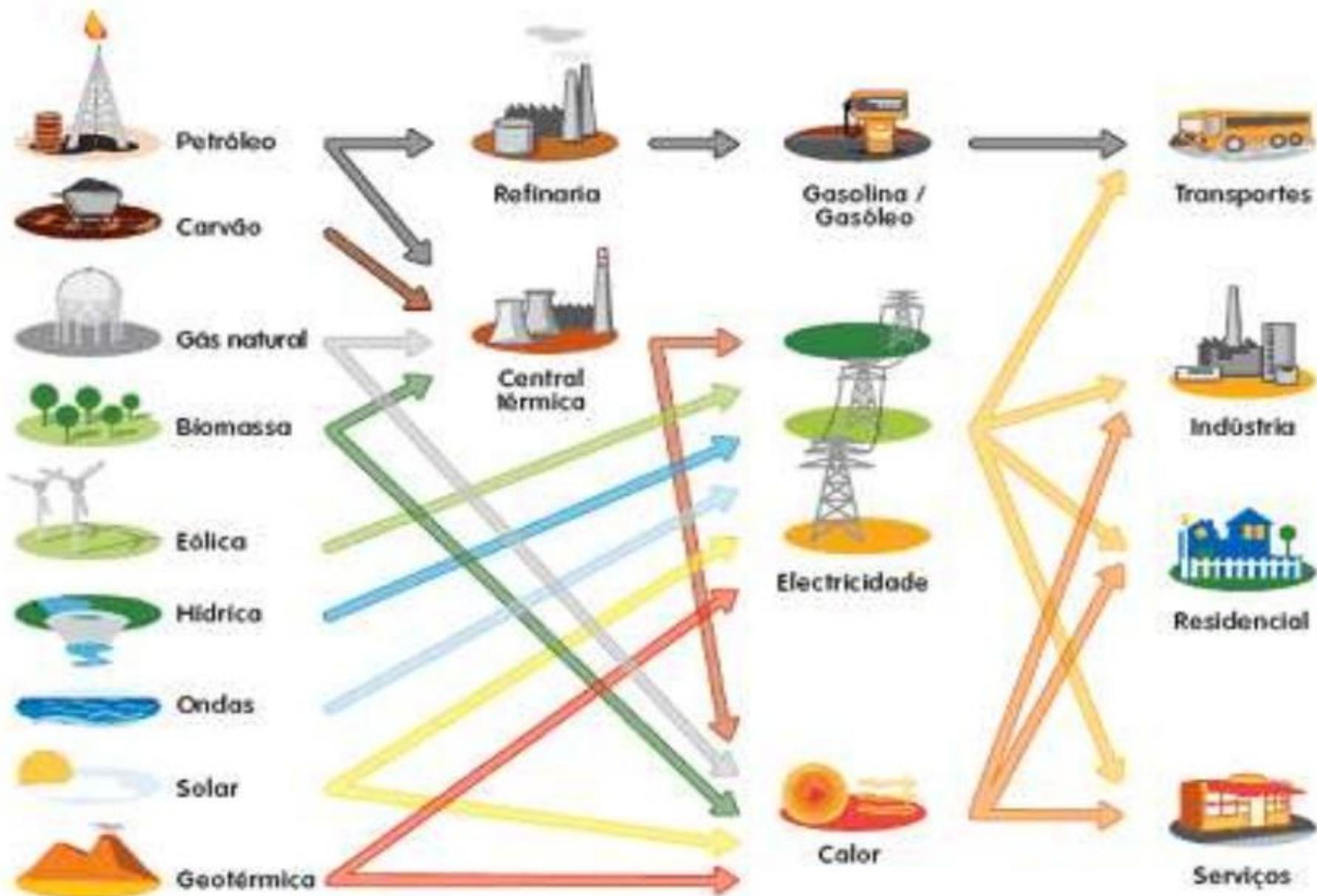
Cheshire, UK, 2016

Indústria Química - Início - Poluição

- Séc. XVII: escassez matéria-prima (fabricação de vidro, sabão e têxteis)
- Avanço da revolução industrial (1760-1840)
- Indústria química: início séc. XIX
- Marco: processos Leblanc (Nicholas Leblanc, 1810) e Solvay (Ernest Solvay, 1863) (sal marinho em Na_2CO_3)

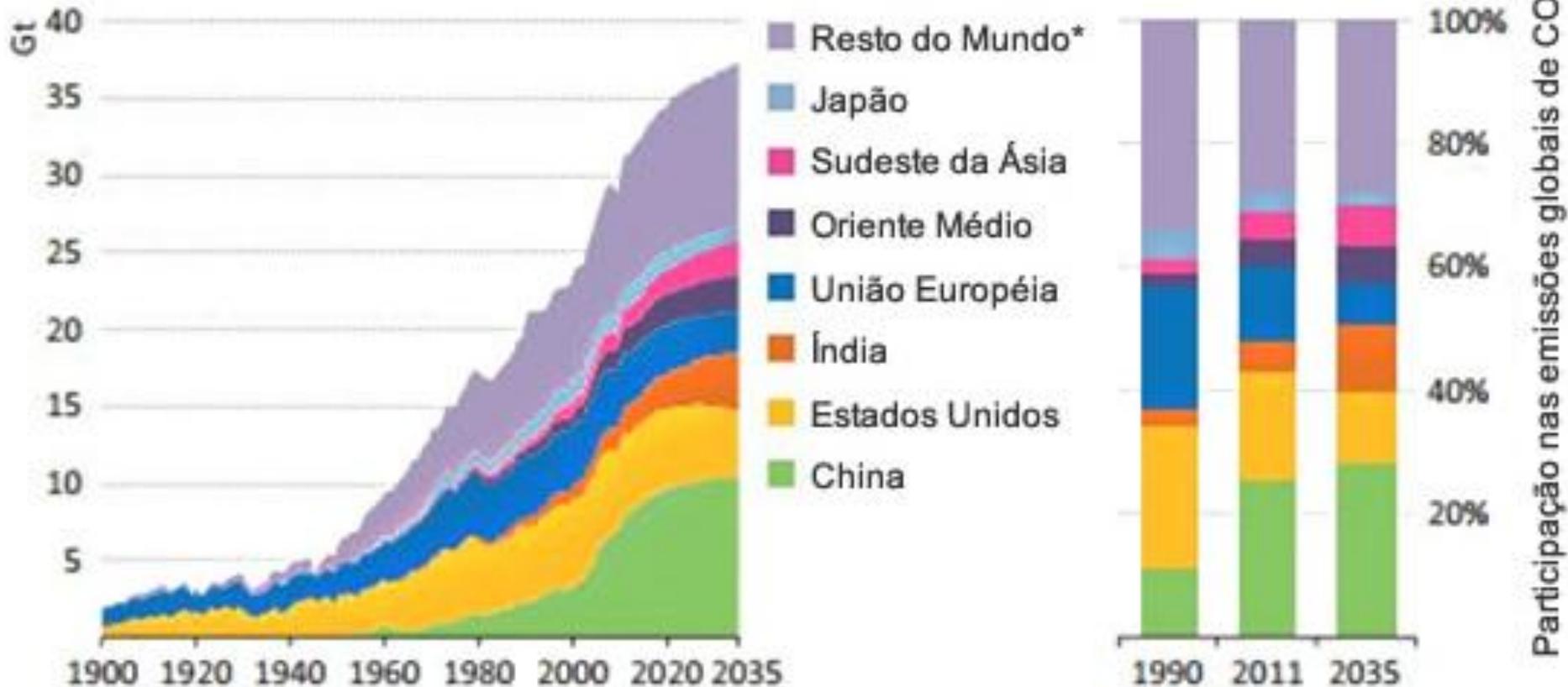
Estrutura da Apresentação

- Fontes de Energia e Uso
- Emissões de CO₂ no mundo
- Motivação: Por que utilizar Energia Renovável?
- Energias Alternativas: Energia Eólica
- Energias Alternativas: Energia Solar
- Energias Alternativas: Energia Geotérmica
- Energias Alternativas: Energia Hidráulica
- Energias Alternativas: Energia de Biomassa
- Energia Elétrica/Fontes: Custos
- Fontes de Energia Total (elétrica + calor) Brasil-Mundo: Comparação
- Uso de Biomassa para gerar Energia
- Problemática do Biodiesel
- Tecnologias Inovadoras
- Agradecimento
- Referência Bibliográfica



Emissões de CO₂ no mundo

Emissões de CO₂ relacionadas a energia por região no Cenário de Novas Políticas



*Resto do mundo inclui bunkers internacionais

Motivação: Por que utilizar Energia Renovável?

- ✓ **Escassez de combustíveis fósseis**
- ✓ **Autonomia energética países** – reduz dependência energética combustíveis fósseis
- ✓ **Impacto ambiental menor** - reduz emissões gases efeito estufa, especialmente CO₂
- ✓ **Melhorar a qualidade vida** – redução de poluentes – ar limpo e vida mais saudável
- ✓ **Consideradas fontes inesgotáveis** - comparados aos combustíveis fósseis
- ✓ **Menor risco que a energia nuclear**
- ✓ **Criação de postos de emprego** com investimentos em áreas desfavorecidas
- ✓ **Investigação p/ desenvolvimento de novas tecnologias** p/ sua utilização/melhoria da eficiência energética

Energias Alternativas: Energia Eólica

“Transformação da energia do vento em energia útil”

Ex.:

- aerogeradores p/ produzir eletricidade
- moinhos de vento para produzir energia mecânica
- ✓ Parques eólicos - conj. centenas aerogeradores ligados a rede de transmissão de energia elétrica.



MOINHOS DE VENTO E PARQUE EÓLICO, PAÍSES BAIXOS

- ✓ Parques eólicos pequenos - energia em áreas isoladas.

Obs: Companhias de produção elétrica cada vez mais compram o excedente elétrico produzido por aerogeradores domésticos.

Energias Alternativas: Energia Eólica

Vantagens

- ✓ É inesgotável;
- ✓ Não emite gases poluentes/resíduos;
- ✓ Reduz emissão de gases efeito estufa;
- ✓ Geração de empregos.

Desvantagens

- ✓ Alto custo (relativo hidrelétrica)
- ✓ Vida útil das turbinas (15 anos)
- ✓ Velocidade adequada funcionamento (4 a 7 m/s em média)
- ✓ Vento x Necessidade energia
- ✓ Impactos: visual, migração/morte de aves, sonoro (200m distância)



PARQUE EÓLICO DE GERIBATU, SANTA VITÓRIA DO PALMAR/RS

- **Região Litorânea- Ampla aplicação**
- **Região Nordeste: 38% do total utilizada (08/2016)**

Energias Alternativas: Energia Solar

“Se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol”

Técnicas solares ativas:

- Painéis fotovoltaicos;
- Concentradores solares térmicos - usinas heliotérmicas;
- Aquecedores solares



USINA SOLAR (TORRE), PS10, SEVILHA/ ESPANHA

- 624 espelhos concentram raios do sol na torre de 160 metros de altura.
- Torre-fluido é aquecido a mais de 400 ° C, evapora e movimenta as turbinas que produzem en.elétrica.

- **Painéis Fotovoltaicos:** a energia luminosa é convertida diretamente em energia elétrica
- **Usinas Heliotérmicas:** produção de eletricidade acontece em dois passos, 1º) raios solares concentrados aquecem um receptor, 2º) este calor é usado para iniciar o processo convencional da geração de energia elétrica - movimentação de uma turbina.
- **Aquecimento Solar**-luz do Sol é utilizada p/ aquecer a água de casas e prédios (≈80°C)



Usina Solar, PS10, Sevilha/ Espanha

Vantagens

- ✓ É inesgotável;
- ✓ Não emite gases poluentes/resíduos;
- ✓ Reduz emissão de gases efeito estufa;
- ✓ Tem em abundância.

Desvantagens

- ✓ Altíssimo custo para implantação de sistema heliotérmico

❖ **Brasil - potencial p/installação :
Nordeste e Norte**

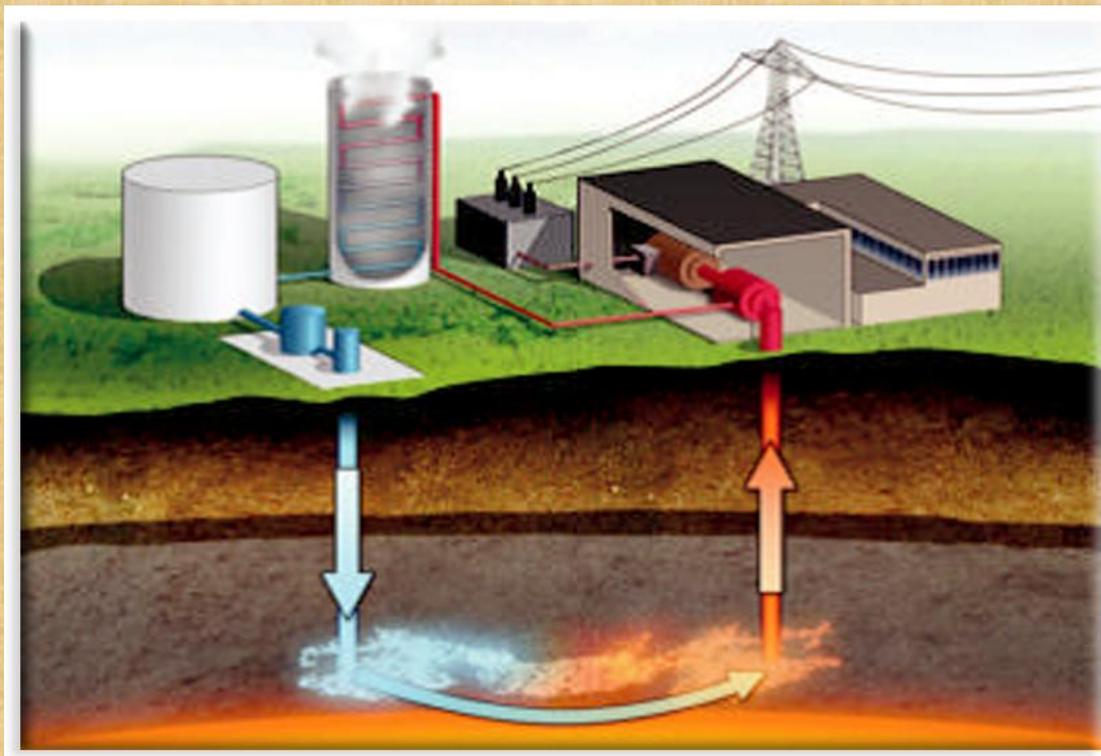
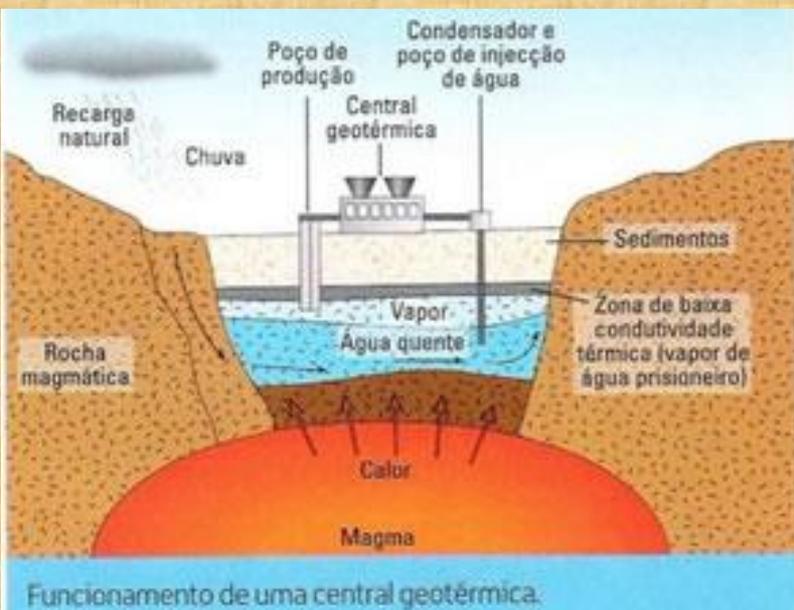
Energias Alternativas: Energia Geotérmica

”Geo: terra; Térmica: calor - é a energia obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra”

Existe abaixo da superfície do planeta - em algumas partes está mais perto da superfície do que outras - mais fácil sua utilização.

Aplicações:

- ✓ Aquecer habitações, estufas, piscinas;
- ✓ Centrais geotérmicas para a produção de energia elétrica.



Energias Alternativas: Energia Geotérmica



Vantagens

- ✓ Energia limpa- centrais construídas em fazendas e florestas, partilham terreno com o gado/ vida selvagem
- ✓ Não emite gases poluentes/resíduos;
- ✓ Benefício para áreas afastadas;
- ✓ Ocupam áreas reduzidas;
- ✓ Fiável-funcionam 24 horas/ano, sem interferências naturais ou externas.

Desvantagens

- ✓ Se não usado onde se tem géiseres vulcões- perfuração dos solos para a introdução de canos é dispendiosa.
- ✓ Custo inicial elevado;
- ✓ Emissão de H₂S junto ao vapor d'água
- ✓ Manutenção cara;
- ✓ Opera apenas em alguns lugares

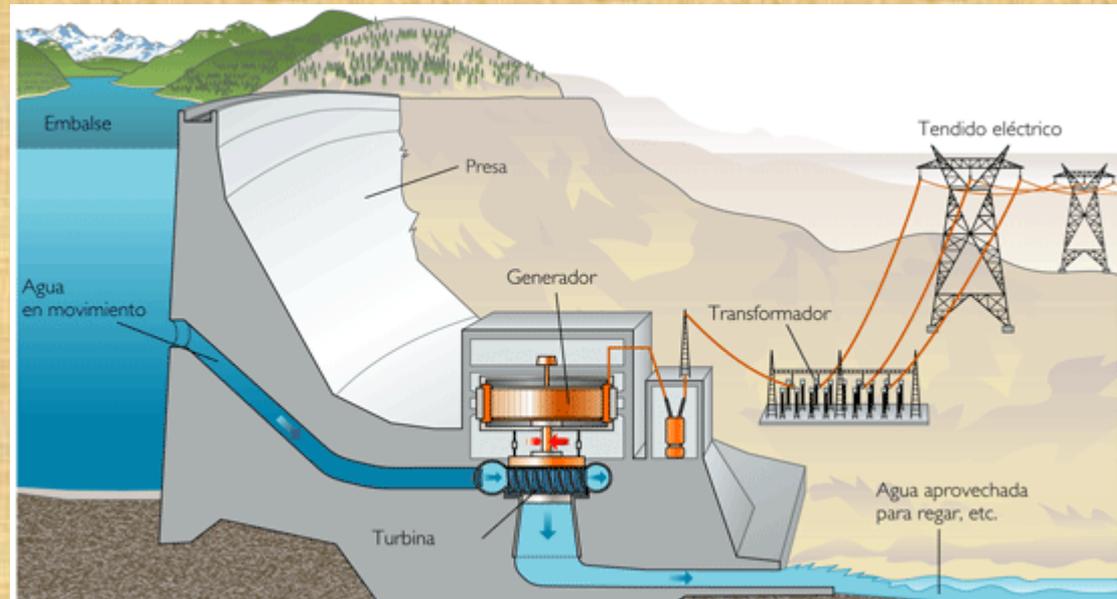
Energias Alternativas: Energia Hidráulica



“Hídrica/hidrelétrica - é aquela obtida através do aproveitamento da energia das correntes de água em rios, mares ou quedas d’água”

A energia contida na água (potencial e cinética) é transformada em energia elétrica através do movimento das turbinas existentes nas usinas hidrelétricas.

- Representa cerca de 69% da matriz energética brasileira .
- Brasil - excelente potencial hidrelétrico - usinas em todas as regiões – muitos rios - continua investindo nesta fonte de energia.



Energias Alternativas: Energia Hidráulica

Vantagens

- ✓ Não ocorre emissão de gases poluentes.
- ✓ É uma fonte de energia renovável.
- ✓ A água represada pode, dependendo do projeto, ser usada para irrigação de plantações nas proximidades da usina.
- ✓ Através da represa é possível regular a vazão do rio.
- ✓ Custo operacional baixo, pois as usinas atuais são automatizadas.
- ✓ Preços da energia elétrica gerada p/ o consumidor final não varia com o aumento dos comb. fósseis - sofrem poucas alterações.

Desvantagens

- ✓ Pouca chuva nas cabeceiras dos rios - pode ocorrer diminuição da geração de energia elétrica.
- ✓ Represa em local de cidade ou aldeia indígena - há grande transtorno p/ população - devem ser deslocadas.
- ✓ Represa em região de mata/floresta - ocorre impacto ambiental - muitas espécies animais /vegetais podem ser prejudicadas.
- ✓ O aumento ou diminuição do fluxo de água das barragens - pode afetar vida nos ecossistemas dos rios.



Pellets de biomassa

Biomassa- “abrange os derivados recentes de organismos vivos - são empregados como combustíveis ou p/ sua produção”

Exemplos: Madeira, cascas diversas (arroz, cana, pinhão, laranja, etc.), sementes diversas (azeitona, açaí, pêsego, etc.), palha de milho, biomassa florestal, resíduo orgânico, biocombustíveis/seus resíduos (etanol, biodiesel, glicerol bruto), etc.

Produzir energia, através de processos :

- ✓ Pirólise
- ✓ Gaseificação
- ✓ Fermentação
- ✓ Combustão
- ✓ Co-combustão



- ✓ **Pirólise**: biomassa é exposta a altas temp. sem O_2 p/ acelerar sua decomposição. Produz mistura de gases , líquidos (óleos vegetais) e sólidos (carvão vegetal);
- ✓ **Gaseificação**: converte biomassa em combustível na forma gasosa - H_2 e CO - utilizados na geração de energia e/ou calor;
- ✓ **Fermentação**: desintegra a biomassa com bactéria anaeróbica - mistura CH_4 e CO_2 - utilizado p/ geração de eletricidade/purificação de lixo/esgoto.
- ✓ **Combustão**: reação química exotérmica entre um combustível (biomassa) e um oxidante que liberam calor e luz - usado p/ produção de eletricidade, ou produzir calor e eletricidade.
- ✓ **Co-combustão**: substituição de parte de combustível de alto PCS (ex:carvão mineral), utilizado em usinas termoelétricas, por biomassa (menor PCS). Dessa forma, reduz-se significativamente a emissão de poluentes.

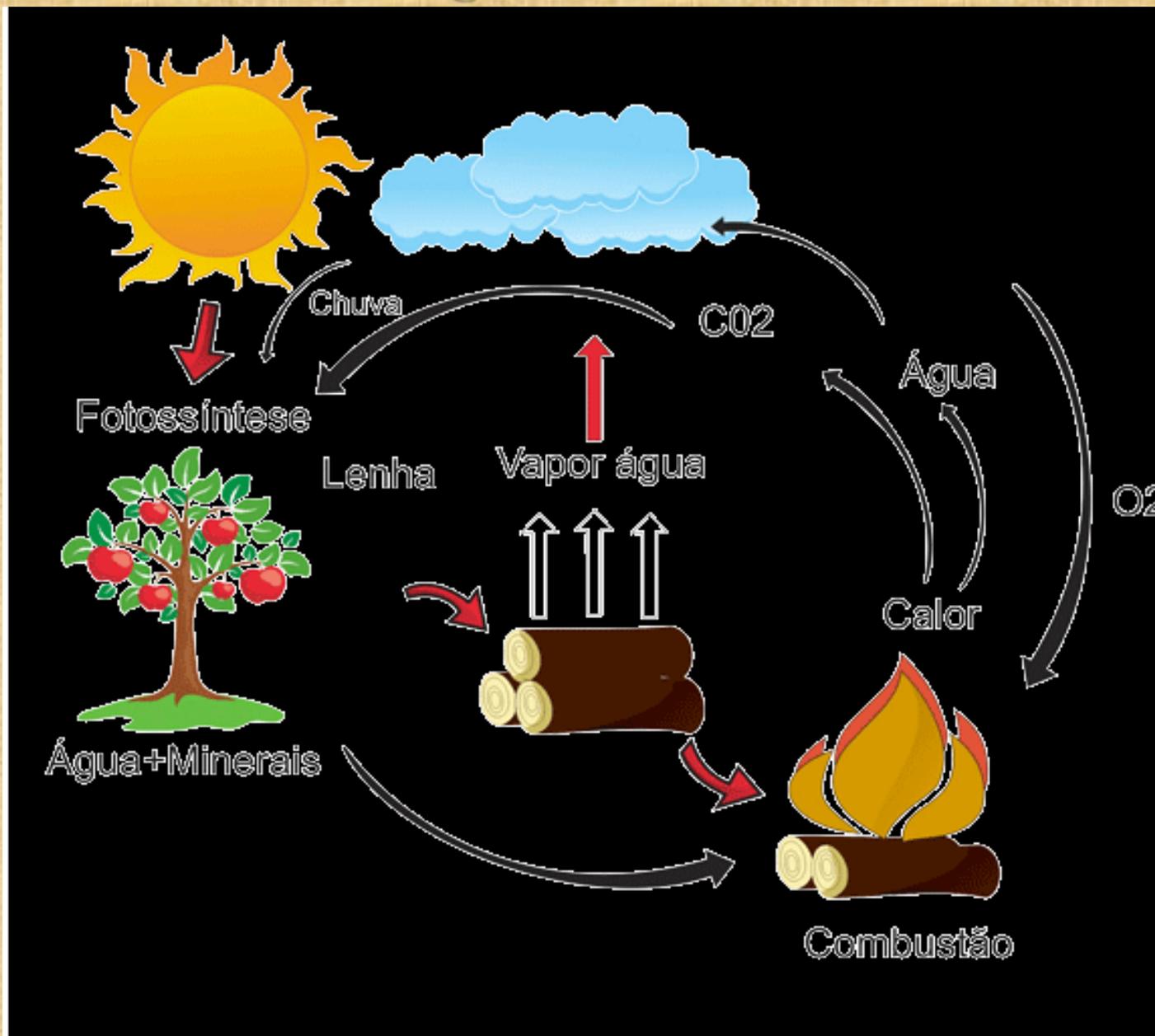
Biomassa em Energia

Vantagens:

- ✓ Baixo custo de aquisição;
- ✓ Não emite SO₂;
- ✓ Cinzas-menos agressivas ao meio ambiente - combustíveis fósseis;
- ✓ Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- ✓ Menor risco ambiental;
- ✓ Recurso renovável;
- ✓ Emissões não contribuem para o efeito estufa.

Desvantagens:

- ✓ Menor poder calorífico;
- ✓ Maior possibilidade de geração de material particulado p/ atmosfera - maior custo de investimento p/ a caldeira/equipamentos - remoção de material particulado;
- ✓ Dificuldades no estoque e armazenamento.



Energia Elétrica/Fontes: Custos

Tabela 7 – Custo da eletricidade e produção anual de usinas brasileiras típicas

PROJETO (Potência)	Custo da energia	Produção anual [*]	Prazo de construção
Carvão (350 MW)	US\$ 134 / MWh	1.534.000 MWh	~ 4 anos
Nuclear (1.345MW)	US\$ 113 / MWh	10.258.000 MWh	~ 7 anos
Gás natural (500 MW)	US\$ 79 / MWh	1.315.000 MWh	~ 3 anos
Bagaço de cana (12 MW)	US\$ 74/ MWh	63.000 MWh	~ 3 anos
Hidroelétrica (6.450 MW)	US\$ 46 /MWh	28.270.350 MWh	~ 5 anos

* Fatores de capacidade: Hidro = 0,50; Nucleares = 0,87; Gás = 0,80; Carvão = 0,50; Bagaço = 0,60.

Fonte: Energy Policy (2009).

- ✓ **Biomassa:** após hidrelétricas – tem menor custo/prazos de construção baixo - porém tem menor produção no Brasil

Fontes Geração de Eletricidade/Brasil-Mundo: Comparação

	Total (GWh)	Total per inhabitant (MWh)	Source of energy (*)					
			Coal & lignite	Oil	Gas	Nuclear	Hydro (²)	Renewables & waste
			(% of total energy generation)					
EU-28	3 302 120	6.5	26.5	1.8	16.4	26.6	13.2	15.4
World	23 405 687	3.3	41.2	4.4	21.6	10.6	16.6	5.6
Argentina	139 467	3.3	2.4	14.2	54.3	4.5	22.5	2.1
Australia	249 060	10.7	64.7	1.4	21.3	0.0	7.3	5.3
Brazil	570 329	2.8	3.8	4.7	12.1	2.6	68.6	8.2
Canada	651 919	18.5	10.0	1.2	10.3	15.8	60.1	2.7
China	5 447 231	4.0	75.5	0.1	1.7	2.0	16.9	3.8
India	1 193 480	0.9	72.8	1.9	5.5	2.9	11.9	5.0
Indonesia	215 590	0.9	51.2	12.4	24.0	0.0	7.9	4.5
Japan	1 045 293	8.2	32.2	14.3	38.4	0.9	8.1	6.0
Mexico	297 079	2.4	10.8	16.1	55.8	4.0	9.4	3.9
Russia	1 059 092	7.4	15.3	0.8	50.0	16.3	17.2	0.3
Saudi Arabia	284 017	9.4	0.0	47.2	52.8	0.0	0.0	0.0
South Africa	256 073	4.8	92.6	0.1	0.0	5.5	1.6	0.2
South Korea	541 996	10.9	41.1	4.0	26.7	25.6	1.5	0.9
Turkey	240 154	3.2	26.6	0.7	43.8	0.0	24.7	4.1
United States	4 306 160	13.6	39.8	0.9	26.9	19.1	6.7	6.5

(*) Other sources not shown.

(²) Includes production from pumped hydro.

Source: Eurostat and the International Energy Agency (Electricity), 2013

✓ Fonte mais usada: Hídrelétrica (68,6%)

✓ Renováveis e resíduos: (8,2%)

Fontes de Energia Total (elétrica + calor)

Brasil-Mundo: Comparação

	Production (million toe)	Energy type (excluding heat)				
		Coal & lignite	Oil	Natural gas	Nuclear energy	Renewables & waste
		(% of total primary production)				
EU-28	790.4	19.7	9.1	16.7	28.6	25.9
World	13 594.1	29.1	31.0	21.4	4.8	13.7
Argentina	71.4	0.1	42.3	45.3	2.3	10.0
Australia	343.9	76.7	5.8	15.2	0.0	2.3
Brazil	252.9	1.3	43.5	7.1	1.5	46.5
Canada	435.1	8.1	44.9	30.0	6.2	11.0
China	2 565.7	73.8	8.2	3.9	1.1	12.9
India	523.3	45.5	8.2	5.5	1.7	39.0
Indonesia	460.0	61.1	9.2	13.7	0.0	16.0
Japan	28.0	0.0	2.0	9.8	8.7	79.6
Mexico	216.5	3.5	69.3	18.7	1.4	7.1
Russia	1 340.2	13.7	39.1	42.0	3.4	1.7
Saudi Arabia	614.5	0.0	89.1	10.9	0.0	0.0
South Africa	165.7	87.5	0.1	0.6	2.2	9.5
South Korea	43.5	1.9	1.4	1.0	83.1	12.7
Turkey	32.3	48.5	7.3	1.4	0.0	42.8
United States	1 881.0	25.4	25.3	30.1	11.4	7.8

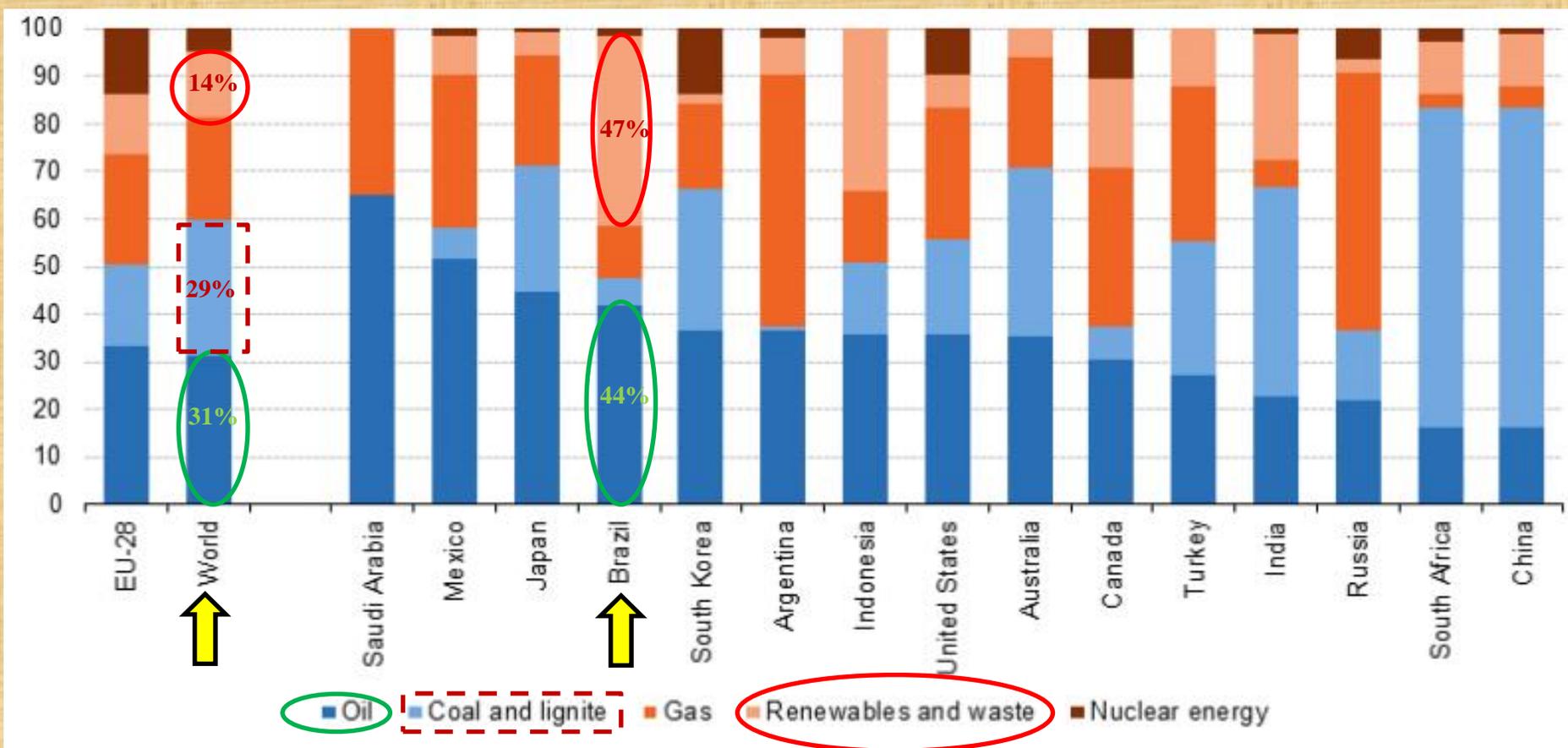
Fonte: Eurostat and the International Energy Agency (Electricity), 2013

✓ **Brasil**: energia total/fonte mais usada: 1º) renováveis e resíduos (46,5%) – 2º) óleos (43,5)

✓ **China**: energia total/fonte mais usada: 1º) carvão e lignita (73,8%) – 2º) renováveis (12,9%)

Fontes de Energia Total (elétrica + calor)

Brasil-Mundo: Comparação



Note: countries ranked according to the share of oil in gross inland consumption. In addition energies are ranked according to their share in the world total.

Fonte: Eurostat and the International Energy Agency (Electricity), 2013

Uso de Biomassa para gerar Energia - Brasil: Cenário Atual

✓ **Energia Biomassa:** após hidrelétricas – tem menor custo / prazos de construção baixo (3 anos ~ termoelétrica GN)- porém tem menor produção no Brasil

✓ **Brasil/Total:** fonte mais usada: 1º Renováveis e Resíduos (46,5%) – 2º Óleos (43,5%)

✓ **Brasil/Eletricidade:**– 1º Hidrelétrica: 69% - 2º Renováveis e resíduos: 8,2%

✓ **Combustão** - Fonte de Geração de Energia mais usada no mundo (~70%)

❖ **Necessário a Utilização de Biomassa como Fonte de Energia**

Uso de Biomassa para gerar Energia: Biocombustíveis/Resíduos

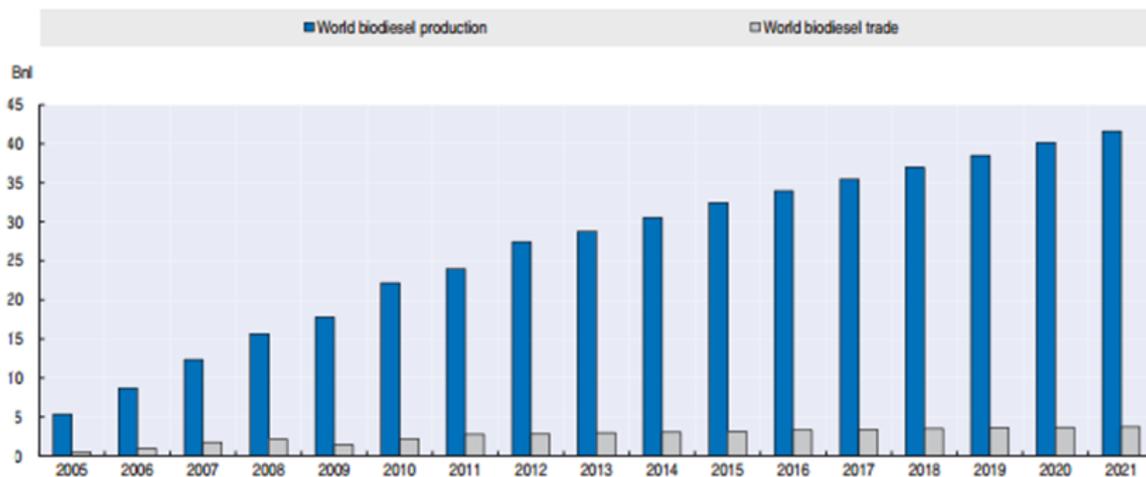
- ✓ Biocombustíveis – têm potencial para substituição do diesel - petróleo
- ✓ **Problema:** glicerol (bio-subproduto), **poluidor** - um problema ambiental/econômico.
- ✓ **Biodiesel – Produção exponencial**
 - Brasil, **2005: 874 mil litros – 2015: 4,7 bilhões litros**
 - **2015: 470 milhões litros de glicerol** (ANP, 2016)
 - Demanda nac. glicerol – **40 milhões litros** (ABIQUIM) – **Demanda: 1/12 da produção**
- ❖ **Urgente: Desenvolvimento de novas Tecnologias - Novas Áreas aplicação de forma sustentável**

- ✓ Bio-subproduto: glicerol, $C_3H_8O_3$, (IUPAC: propano-1,2,3-triol) – 10%
- ✓ Riscos à saúde humana e ao meio ambiente.



- ✓ Causador dos gases do efeito estufa (CO_2 , N_2O , UHC) e outros gases: CO, SO_x , NO_x , acroleína

Figure 3.3. Development of the world biodiesel market



Source: OECD and FAO Secretariats.

StatLink <http://dx.doi.org/10.1787/888932639400>

(poluente cancerígeno, causa broncopneumonia, lesões vias respiratórias, rinites, lesões pulmonares, hemorragias etc.)

- ✓ Curto prazo-alta produção de glicerol bruto - grande problema ambiental e econômico:

- ✓ Esforços p/ utilização em outros setores industriais-aplicação saturada-purificação (95%) cara.
- ✓ Glicerol bruto não tem composição química constante – dificulta sua aplicação

Prós/Contras - Biodiesel

Prós:

- ✓ Diminuição da dependência energética dos combustíveis fósseis
- ✓ Utilização de outras fontes energéticas: Biocombustíveis
- ✓ Diminuição dos gases causadores do efeito estufa
- ✓ Créditos de Carbono
- ✓ Biodiesel/Glicerol
 - redução do CO₂, plantas oleaginosas consomem parte do CO₂ gerado durante o processo de combustão.

Contras:

- ✓ Seriam necessárias décadas para a neutralização completa das emissões
 - Grandes áreas de plantio das oleaginosas-biodiesel, aliado a um grande consumo diário do CO₂
- ✓ Terras para plantio das oleaginosas X cultivo de alimentos
- ✓ Desenvolver Novas Tecnologias - queima de biocombustíveis eficiente e ecológica, facilite a captura do CO₂

Problemática do Biodiesel

Geração de Energia: Desafios e Consequências

Desafios

- ✓ Usar glicerol como combustível (bio-subproduto) para gerar energia.
- ✓ Tecnologias inovadoras para obter a queima, com redução das emissões.
- ✓ Tecnologia nacional p/ queima de glicerol c/ eficiências energética, econômica e ambiental.

Consequências

- ✓ Melhorar eficiência energética das plantas biodiesel / geração de energia p/ outras indústrias.

Etapas e Dificuldades do Glicerol

Etapas:

- ✓ Tratamento do glicerol bruto para a retirada de impurezas.
- ✓ Atomização do glicerol.
- ✓ Combustão do Glicerol para geração de energia.

Dificuldades para uso do Glicerol

Científico e Tecnológico: operações são bastante complexas:

- ✓ Baixo poder calorífico;
- ✓ Alta viscosidade;
- ✓ Elevada temperatura de auto-ignição;
- ✓ Complexidade da cinética química;
- ✓ Emissão de poluentes tóxicos durante a queima do glicerol.

Tecnologias Inovadoras

✓ Tecnologias inovadoras a serem utilizadas / redução das emissões:

I) Combustão *oxy-fuel*

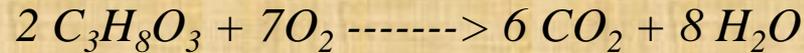
II) *Flameless combustion (FLOX)* – Combustão sem chama visível

III) Co-combustão: glicerol (combustível principal) + *syngas*

OBS: Gaseificação - *syngas*

I) Processo de Combustão *Oxy-Fuel*

- Consiste na queima do combustível com variações de O_2 até 100%
- Um dos métodos de *oxy-fuel* mais promissores - substituição do N_2 atmosférico por CO_2 - grande concentração de CO_2 exaustão - posterior captura - NO_x zero



Vantagem: redução (ou nula) emissões NO_x , UHC, CO e CO_2 (se for sequestrado)



25% O_2



39% O_2

**Chamas no Regime
*Oxy-Fuel***

(Fonte: LCP/INPE)

II) Processo de combustão sem chama visível (*flameless combustion-FLOX*)

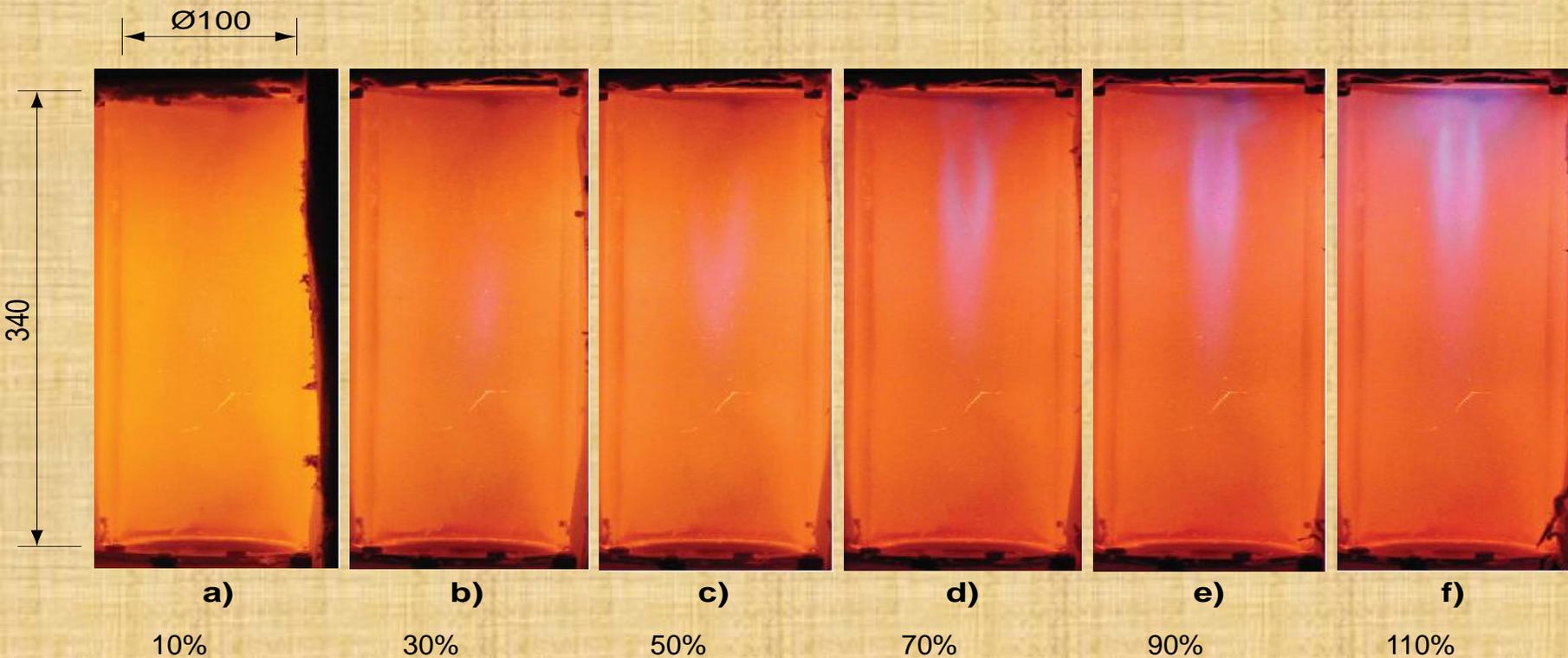
- interesse internacional: Indústria e Ciência

Vantagens:

- concentrações de NO_x ~ zero;
- redução emissões CO_2 (se o calor da exaustão for recuperado);
- melhora na eficiência da queima (emite baixas emissões de CO e de UHC);
- economia de combustível (até 80%);
- aumenta o tempo de vida útil do equipamento;
- promove diminuição do ruído na câmara de combustão

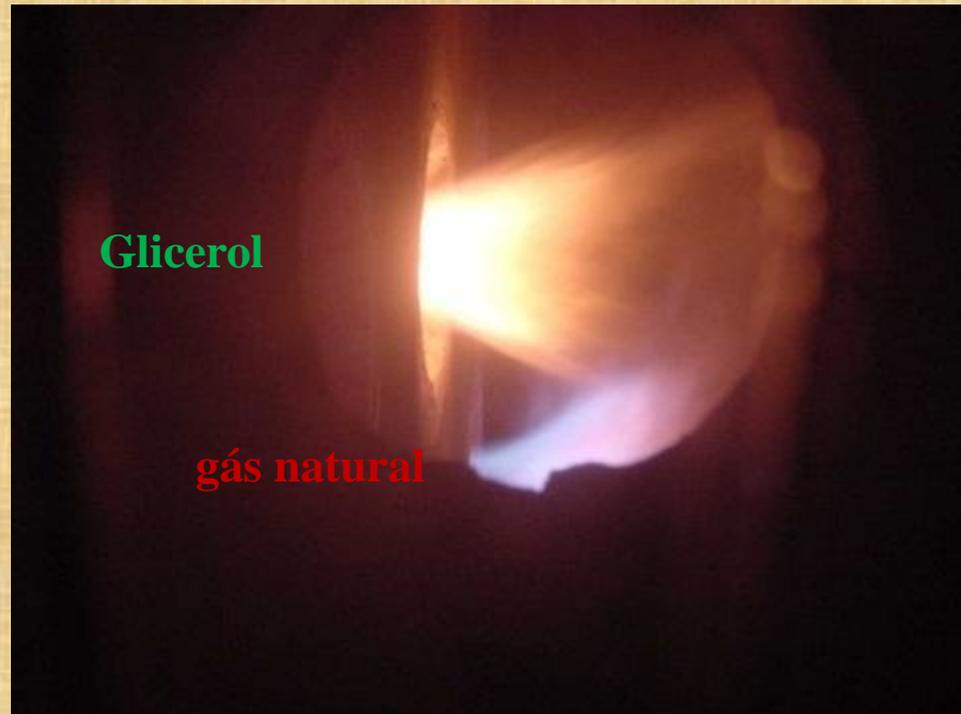
✓ Aparentemente, este regime pode ser aplicado a vários equipamentos que utilizam combustão

II) Combustão sem Chama Visível (FLOX) Variação de excesso de ar



III) Combustão *Co-Firing*

- Queima do combustível principal (glicerol) + outro combustível secundário – PCI diferentes
- Combustível secundário – conversão térmica biomassa/resíduos de combustível (↑ PCI)
- Gaseificação glicerol: *Syngas* (CH_4 , CO , H_2 , CO_2 , N_2)
- Glicerol + *Syngas*



Resultados Imediatos:

- ✓ Minimizar emissões de poluentes-**mais viável p/ geração energia**
- ✓ **Tecnologia nacional** queima do bio-subproduto do biodiesel – **desafio mundial.**
- ✓ Aproveitamento direto de bio-resíduo prejudicial ao meio-ambiente.
- ✓ Estudo fornecerá dados p/ compreensão fenômenos físico-químicos nestes processos.
- ✓ Solucionar problemas referentes ao **uso glicerol.**
- ✓ **Aumentar valor energético das plantas biodiesel-** aplicação mais imediata do glicerol.

❖ Órgãos de Fomento



❖ Órgãos Sede e/ou Colaboradores dos Projetos



Referência Bibliográfica

Acevedo, B., Barriocanal, C., 2014, “Fuel-oils from co-pyrolysis of scrap tyres with coal and a bituminous waste. Influence of oven configuration”. *Fuel*, Vol. 125, pp. 155-163.

Amato, A., Hudak, B., D’Souza, P., D’Carlo, P., Noble, D., Scarborough, D., Seitzman, J., Lieuwen, T., “Measurements and analysis of CO and O₂ emissions in CH₄/CO₂/O₂ flames”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol.33, pp. 3399-3405 (2011).

Andersson, K.; Johnsson, F.: “Flame and radiation characteristics of gas-fired O₂/CO₂ combustion”. *Fuel*, vol. 86 (5-6) pp. 656-668 (2007).

ANIP. Associação Nacional de Indústria de Pneus. Número de fábricas no Brasil 2015.

Arghode, V. K., Gupta, A. K., Yu, K. H., Colorless Distributed Combustion (CDC): Effect of Flowfield Configuration 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition 5 - 8 January 2009, Orlando, Florida.

Arghode, V.K. and Gupta, A.K. 2010. Effect of flow field for colorless distributed combustion (CDC) for gas turbine combustion. *Applied Energy*, 87, 1631–1640.

Aydin, H., Ilkiliç, C., 2012, “Optimization of fuel production from waste vehicle tires by pyrolysis and resembling to diesel fuel by various desulfurization methods”. *Fuel*, Vol.102, pp. 605-612.

Balzhiser, R., Samuels, M., Eliassen, J., 1972, “Chemical Engineering Thermodynamics: the study of energy, entropy and equilibrium. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice – Hall, 696p.

Banar, M., Akyildiz, V., Ozkan, A., Çokaygil, Z., Onay, O., 2012, “Characterization of pyrolytic oil obtained from pyrolysis of TDF (Tire Derived Fuel)”. *Energy Conversion and Management*, Vol. 62, pp. 22–30.

Boushaki, T., Sautet, J.-C., Labégorre, B., “Control of flames by tangential jet actuators in oxy-fuel burners” *Combust. Flame*, vol. 156, no 11, pp. 2043-2216, 2009.

Bracewell, R. 2000. *The Fourier Transform and its Applications*, McGraw-Hill, New York.

Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução No 456, de 22 de Dezembro de 2011.



Referência Bibliográfica



Carvalho, J., Lacava, P., 2003, “Emissões em processos de combustão”. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 135p.

Carvalho, J., MCQuay, M., 2004, “Princípios de Combustão Aplicada”. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 178p.

Contreras, R., Martinez, J., Armas, O., Murillo, R., Garcia, T., 2015, “Study of a residential boiler under start-transient conditions using a tire pyrolysis liquid (TPL)/diesel fuel blend”. Fuel, Vol. 158, pp. 744-752.

Dogan, O., Bahattin, Ç., Ozdalyan, B., 2012, “The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions”. Fuel, Vol. 95, pp. 340-346.

Duwig, C., Stankovic, D., Fuchs, L., Li, G., and Gutmark, E. 2008. Experimental and numerical study of flameless combustion in a model gas turbine combustor, Combust. Sci. Technol., 180, 279-295.

Friego, S., Seggiani, M., Puccini, M., Vitolo, S., 2014, “Liquid fuel production from waste tyre pyrolysis and its utilisation in a Diesel engine”. Fuel, Vol. 116, pp. 399–408.

Glarborg, P., Bentzen, L. L. B., “Chemical effects of a high CO₂ concentration in oxy-fuel combustion of methane”, Energy and Fuels, Vol. 22, pp. 291-296 (2008).

Gordon, S., McBride, B., 1994, “Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications” .Ohio. National Aeronautics and Space Administration, 58p.

H.K. Kim, Y. Kim, S.M. Lee, K.Y. Ahn, Proc.Combust. Inst., vol 31, no 2, pp. 3377-3384, 2007.

Hasegawa, T. Environmentally-compatible Regenerative Combustion Heating System. The 2nd International Seminar on High Temperature Combustion, Jan. 17-18, 2000, Stockholm, Sweden.

Hinrichs, R.A. e Kleinbach, M.. “Energia e Meio Ambiente”, 3ª edição, editora THOMSON, 2003

Hjærtstam, S., Andersson, K., Johnsson, F., Leckner, B., “Combustion characteristics of lignite-fired oxy-fuel flames”. Fuel, vol. 88, no. 11, pp. 2216-2224, 2009.

Jantaraksa, N., Prasassarakich, P., Reubroycharoen, P., Hinchiranan, N., 2015, “Cleaner alternative liquid fuels derived from the hydrodesulfurization of waste tire pyrolysis oil”. Energy Conversion and Management, Vol. 95, pp. 424-434.

Jarungthammachote, S., Dutta, A., 2008, “Equilibrium modeling of gasification: Gibbs free energy minimization approach and its application to spouted bed and spout-fluid bed gasifiers”. Energy Conversion and Management, Vol. 49, n. 6, pp. 1345-1356.



Referência Bibliográfica

Kayadelen, H., Ust, Y., 2013, "Prediction of equilibrium products and thermodynamic properties in H₂O injected combustion for C_αH_βO_γN_δ type fuels". Fuel, Vol. 113, p. 389-401.

Lee, J.G., and Santavicca, D.A. 2003. Experimental diagnostics for the study of combustion instabilities in lean premixed combustors, J. Propul. Power, 19, 735-750.

LI, P. et al. Progress and recent trend in MILD combustion. Science China Technological Sciences, Vol. 54, February 2011. 255-269.

Mancini, M., Schwoppe, P., Weber, R., and Orsino, S. 2007. On mathematical modelling of flameless combustion, Combust. Flame, 150, 54-59.

Martínez, J., Fernandez, J., Valdepeñas, J., Murillo, R., Garcia, T., 2014, "Performance and emissions of an automotive diesel engine using a tire pyrolysis liquid blend". Fuel, Vol. 115, pp. 490-499.

Martínez, J., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M., Mastral, A., 2013, "Waste tyre pyrolysis - A review". Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 23, pp. 179-213.

McBride, B., Zehe M, Gordon S., 2002, "NASA Glenn Coefficients for Calculating Thermodynamic Properties of Individual Species". Ohio. National Aeronautics and Space Administration.

Medwell, P.R., Kalt, P.A.M., and Dally, B.B. 2007. Simultaneous imaging of OH, formaldehyde, and temperature of turbulent nonpremixed jet flames in a heated and diluted coflow, Combust. Flame, 148, 48-61.

Mendiburu, A., 2012, "Simulação da produção e combustão de gás de síntese oriundo de gaseificadores de leito fixo". 2012. 185 f. Disertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - Energia) - Faculdade de Engenharia do Campo de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

Mendiburu, A., Carvalho, J., Zanzi, R., Coronado, C., Silveira, J., 2014, "Thermochemical equilibrium modeling of a biomass downdraft gasifier: Constrained and unconstrained non-stoichiometric models". Energy, Vol. 71, pp. 624-637.

Mi, J., Li, P., Dally, B.B., and Craig, R.A. 2009. Importance of initial momentum rate and air-fuel premixing on moderate or intense low oxygen dilution (MILD) combustion in a recuperative furnace, Energy Fuels, 23, 5349-5356.

Murugam, S., Ramaswamy, M.C., Nagarajan, G., 2009, "Assesment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines". Fuel Processing Technology, Vol. 90, pp. 67-74.

Murugan, S., Ramaswamy, C., Nagarajan, G., 2008, "The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines". Waste Management, Vol. 28, n. 12, pp 2743-2749.



Néron, A., Lantagne, G., Marcos, B., 2012, "Computation of complex and constrained equilibria by minimization of the Gibbs free energy". *Chemical Engineering Science*, Vol. 82, pp. 260-271.

Ott, B., Goates, B., 2000, "Chemical thermodynamics: Principles and Applications". Academic Press, 664p.

Parente, A., Galletti, C., and Tognotti, L. 2008. Effect of the combustion model and kinetic mechanism on the MILD combustion in an industrial burner fed with hydrogen enriched fuels, *Int. J. Hydrogen Energy*, 33, 7553-7564.

Rakopoulos, C., Hountalas, D., Tzanos, E., Taklis, G., 1994, "A Fast Algorithm for Calculating the Composition of Diesel Combustion Products Using 11 Species Chemical-Equilibrium Scheme". *Advances in Engineering Software*, Vol. 19, pp. 109-119.

Ramarad, S., Khalid, M., Ratnam, C.T., Luqman Chuah, A., Rashmi, W., 2015, "Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future". *Progress in Materials Science*, Vol. 72, pp. 100-140.

Rao, S., 1996, "Engineering Optimization: Theory and Practice". 3 ed. New York: John Wiley and Sons, 875p.

Rashidi, M., 1998, "Calculation of equilibrium composition in combustion products". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 18, n. 3-4, p. 103-109.

Rocha, A.M.A., Veríssimo, A.S., and Costa, M. 2010. Experimental study of a small-scale laboratory combustor operating under flameless oxidation conditions, submitted for publication.

Shabbar, S., Janajreh, I., 2013, "Thermodynamic equilibrium analysis of coal gasification using Gibbs energy minimization method". *Energy Conversion and Management*, Vol. 65, pp. 755-763.

Sharma, A., Murugan, S., 2013, "Investigation on the behaviour of a DI diesel engine fueled with Jatropa Methyl Ester (JME) and Tyre Pyrolysis Oil (TPO) blends". *Fuel*, Vol. 108, pp. 699-708.

Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik H., Balas A., 2012, "Progress in used tyres management in the European Union: A review". *Waste Management*, Vol. 32, pp. 1742-1751.

Szegö, G.G. Dally, B.B., and Nathan, G.J. 2009. Operational characteristics of a parallel jet MILD combustion burner system, *Combust. Flame*, 156, 429-438.

Tanaka, R., 1995, *New Progress of Energy Saving Technology Toward the 21st Century*, Frontier of Combustion & Heat Transfer Technology, Proceedings of 11th IFRF Members Conference, Noordwijkerhout, Holanda.

Tsuji, H., Gupta, A. K., Hasegawa, T., Katsuki, M., Kishimoto, K., Morita, M., 2003, *High Temperature Air Combustion: From Energy Conservation to Pollution Reduction*. CRC Press. UK.

Turns, S., 2013, “Introdução à Combustão: Conceitos e aplicações”. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 404p.

UNDERSTANDING Global Warming Potentials. EPA United States Environmental Protection Agency, 11 December 2015. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/sources.html>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2016.

Veríssimo, A. S., Rocha, A. M. A. e Costa, M. Importance of the inlet air velocity on the establishment of flameless combustion in a laboratory combustor. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Volume 44, 2013, páginas 75–81.

VERÍSSIMO, A. S.; ROCHA, A. M. A.; COSTA, M. Operational, Combustion, and Emission Characteristics of a Small-Scale Combustor. *Energy & Fuels*, Vol. 25, 03 May 2011. pp. 2469-2480.

Veríssimo, A.S., Rocha, A.M.A., and Costa, M. 2011. Operational, combustion and emission characteristics of a small-scale combustor, submitted for publication.

Wang, L., Qi, D., Sui, X., Xie, X., Analysis of Re Influence on MILD Combustion of Gas Turbine. *Energy and Power Engineering*, 2013, 5, 92-96.

Weber, R. Smart, J. P., Kamp W. v, On the (MILD) combustion of gaseous, liquid, and solid fuels in high temperature preheated air. *Proceedings of the Combustion Institute* Volume 30, Issue 2, January 2005, Pages 2623–2629.

White, W., Johnson, S., Dantzig, G., 1957, “Chemical Equilibrium in Complex Mixtures”. California, The RAND Corporation, 14p.

Williams, P. T, 2013, “Pyrolysis of waste tyres: A review”. *Waste Management*, Vol.33, n. 8, p. 1714–1728.

Williams, P. T., Bottrill, R. P., and Cunliffe, A. M., 1998, “Combustion of Tyre Pyrolysis Oil”. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 76, v. 4, pp. 291–301.

WÜNNING, J. A.; WÜNNING, J. G. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation. *Progress in energy and combustion science*, Vol. 23, 1997. pp. 81-94.

Wüning, J.A., and Wüning, J.G. 1997. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 23, 81-94.

Wunning, J.G. 2003. FLOX – Flameless Combustion, Thermprocess Symposium, Dusseldorf, Germany.

Zelesnik, F., Gordon, S., 1967, “Calculation of complex chemical equilibria”. National Aeronautics and Space Administration. 84 p.

Obrigada!