



COPPE/UFRJ

# **PANORAMA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO MUNDO E NO BRASIL**

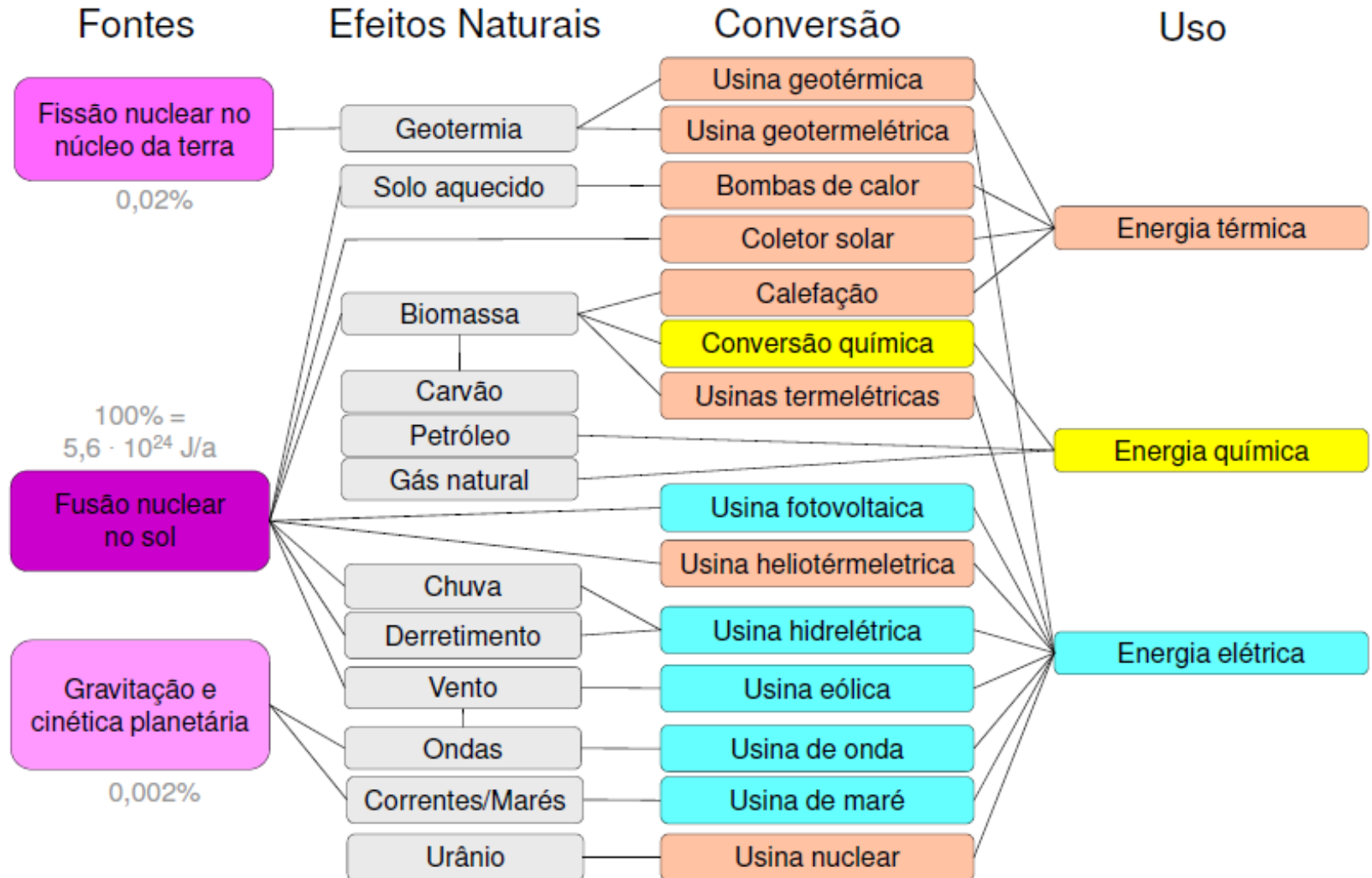
**Rio, 14 de Novembro de 2014**

**Alberto Arruda Villela – DSc. PPE/COPPE/UFRJ**



COPPE/UFRJ

# Fontes e Formas de Energia



Fonte: GIZ – Fontes Renováveis e Eficiência Energética, 2012



# Energia Solar e Radiação na Terra

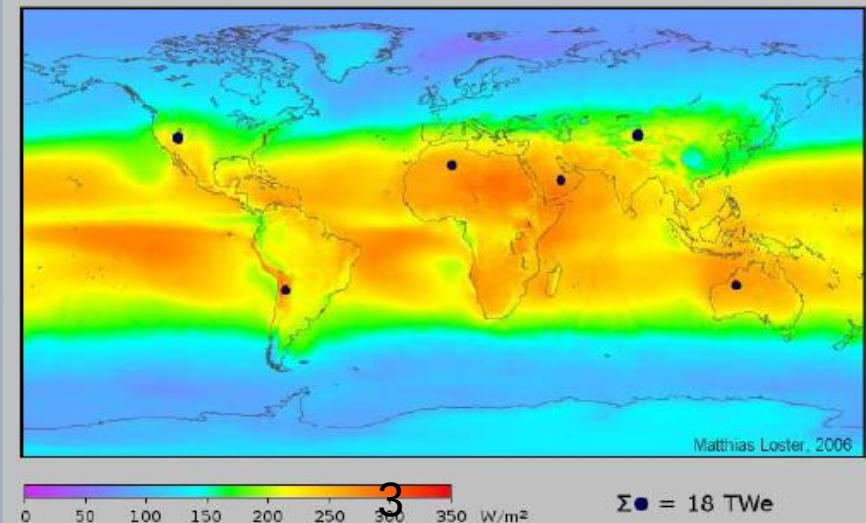
COPPE/UFRJ



A quantidade de energia que chega à atmosfera da Terra por  $m^2$  em um plano perpendicular aos raios do Sol chama-se **constante solar** e seu valor médio é de  $1.367 \text{ W/m}^2$

Fonte: CEPEL - ENERGIA SOLAR: Perspectivas, Eficiência e Sustentabilidade (20009)

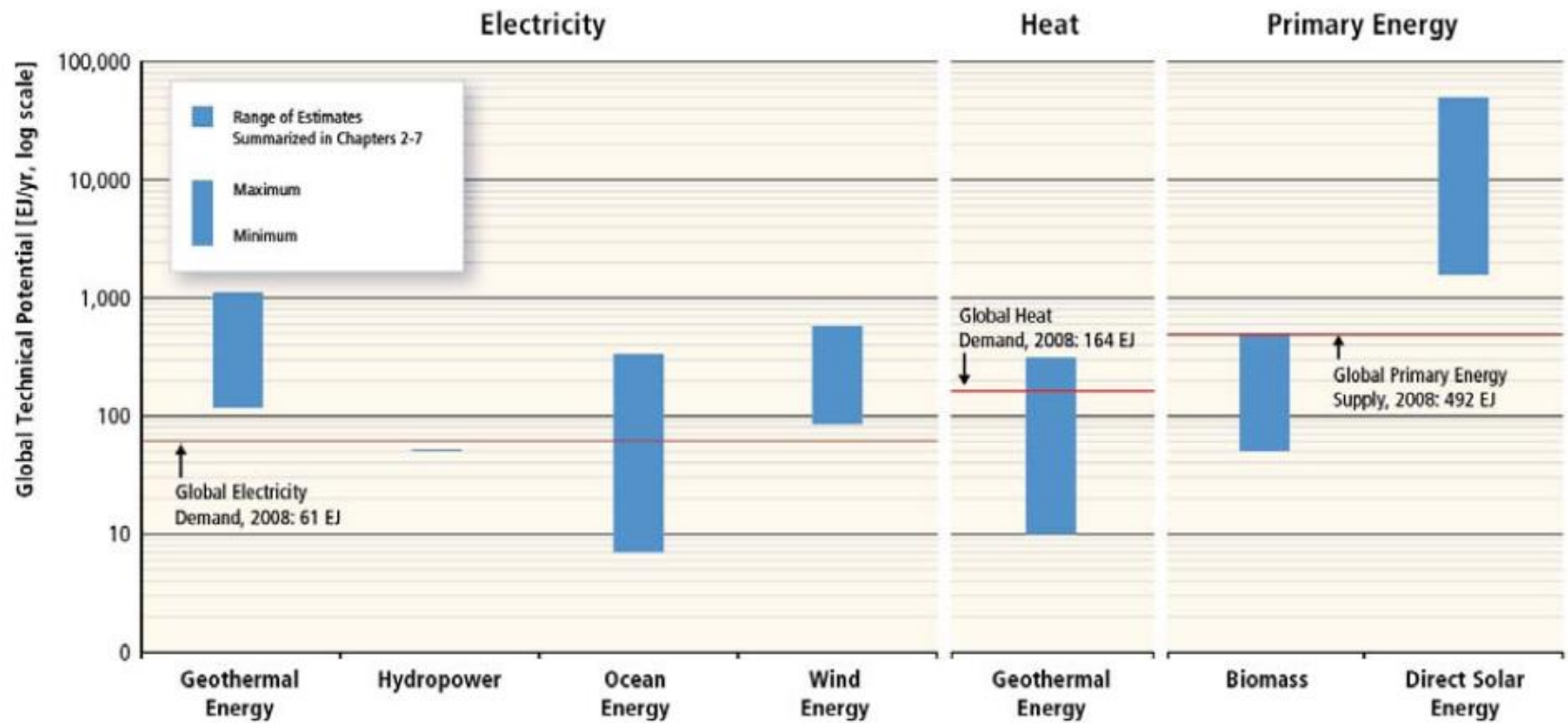
40 N →  
O "Cinturão" Solar  
35 S →





# Potencial Técnico Global de Energias Renováveis

COPPE/UFRJ



Range of Estimates of Global Technical Potentials

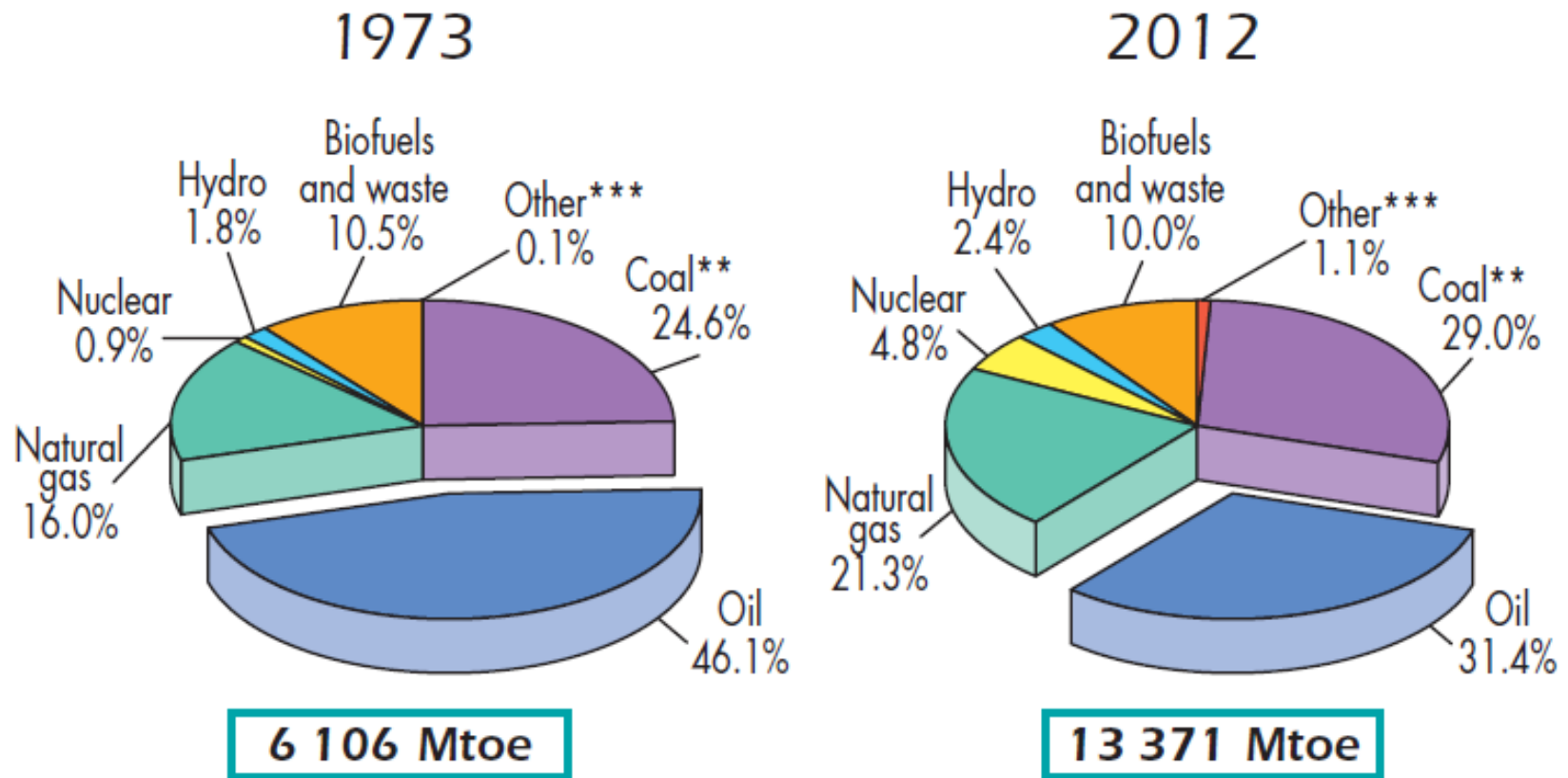
| Max (in EJ/yr) | 1109 | 52 | 331 | 580 | 312 | 500 | 49837 |
|----------------|------|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Min (in EJ/yr) | 118  | 50 | 7   | 85  | 10  | 50  | 1575  |

Fonte: IPCC – *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* (2011)



COPPE/UFRJ

# Oferta Global de Energia Primária



Fonte: IEA – *Key Energy Statistics 2014*



COPPE/UF RJ

# Cenários de Demanda Mundial de Energia Primária (Mtoe) e respectivas emissões (Gt CO<sub>2</sub>)

|                                      | 2000          | 2010          | New Policies  |               | Current Policies |               | 450 Scenario  |               |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                      |               |               | 2020          | 2035          | 2020             | 2035          | 2020          | 2035          |
| <b>Total</b>                         | <b>10 097</b> | <b>12 730</b> | <b>14 922</b> | <b>17 197</b> | <b>15 332</b>    | <b>18 676</b> | <b>14 176</b> | <b>14 793</b> |
| Coal                                 | 2 378         | 3 474         | 4 082         | 4 218         | 4 417            | 5 523         | 3 569         | 2 337         |
| Oil                                  | 3 659         | 4 113         | 4 457         | 4 656         | 4 542            | 5 053         | 4 282         | 3 682         |
| Gas                                  | 2 073         | 2 740         | 3 266         | 4 106         | 3 341            | 4 380         | 3 078         | 3 293         |
| Nuclear                              | 676           | 719           | 898           | 1 138         | 886              | 1 019         | 939           | 1 556         |
| Hydro                                | 226           | 295           | 388           | 488           | 377              | 460           | 401           | 539           |
| Bioenergy*                           | 1 027         | 1 277         | 1 532         | 1 881         | 1 504            | 1 741         | 1 568         | 2 235         |
| Other renewables                     | 60            | 112           | 299           | 710           | 265              | 501           | 340           | 1 151         |
| <i>Fossil fuel share in TPED</i>     | <i>80%</i>    | <i>81%</i>    | <i>79%</i>    | <i>75%</i>    | <i>80%</i>       | <i>80%</i>    | <i>77%</i>    | <i>63%</i>    |
| <i>Non-OECD share of TPED**</i>      | <i>45%</i>    | <i>55%</i>    | <i>60%</i>    | <i>65%</i>    | <i>61%</i>       | <i>66%</i>    | <i>60%</i>    | <i>63%</i>    |
| <b>CO<sub>2</sub> emissions (Gt)</b> | <b>23.7</b>   | <b>30.2</b>   | <b>34.6</b>   | <b>37.0</b>   | <b>36.3</b>      | <b>44.1</b>   | <b>31.4</b>   | <b>22.1</b>   |

Fonte: IEA – *World Energy Outlook 2012*



COPPE/UFRJ

# Bioenergia e Mudanças no Uso da Terra

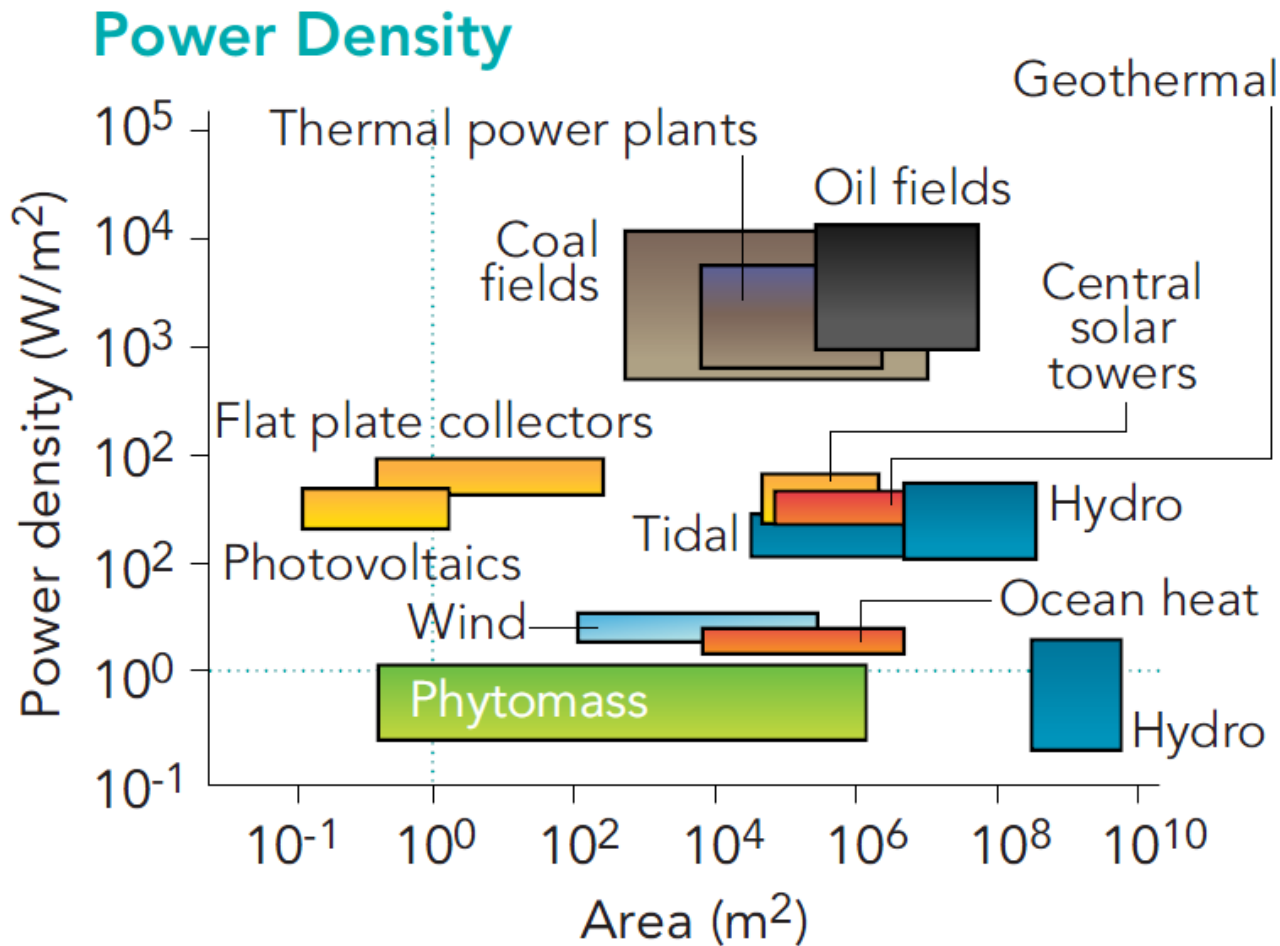
**"Nunca antes a humanidade teve que pensar com tanto cuidado sobre como ela usa a terra.** Até recentemente, havia uma suposição generalizada de que sempre havia novas terras disponíveis, sem conseqüências de longo prazo global para a sua exploração. Esta época já terminou. Como a população mundial e, conseqüentemente, a demanda por alimentos e as necessidades de energia, aumenta, o mesmo ocorre com relação à pressão sobre a terra para atender a essas necessidades ".

Fonte: HART Energy Consulting - ***Land Use Change: Science and Policy Review*** (2010)



COPPE/UFRJ

# Fontes Renováveis: Baixa Densidade Energética pode levar a conflito no uso da terra



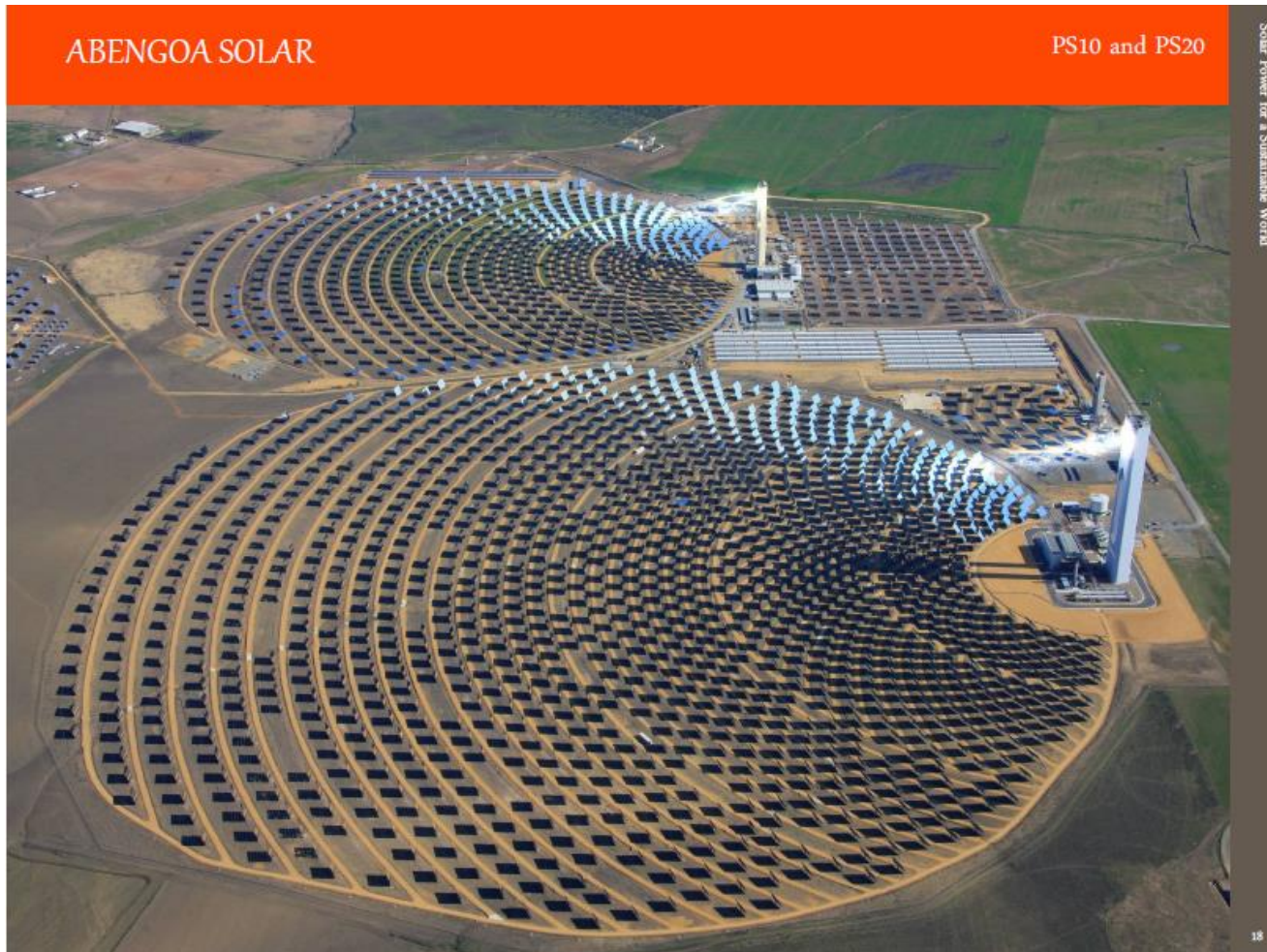
Fonte: Kerr, R. - *Do We Have the Energy for the Next Transition?* - Science (8/2010)





COPPE/UFRJ

# Exemplo: Usina Solar CSP – ABENGOA (Sevilha, Espanha)



Potência Instalada:  
**20 + 10 MW**

1.255 heliostatos com  
120 m<sup>2</sup> cada

Área total requerida:  
**90 hectares**



COPPE/UFRJ

# Usinas Nucleares Angra I e II

- **Angra I**

**Área: 33.646,51 m<sup>2</sup>**

**Potência instalada : 657 MW**

- **Angra II**

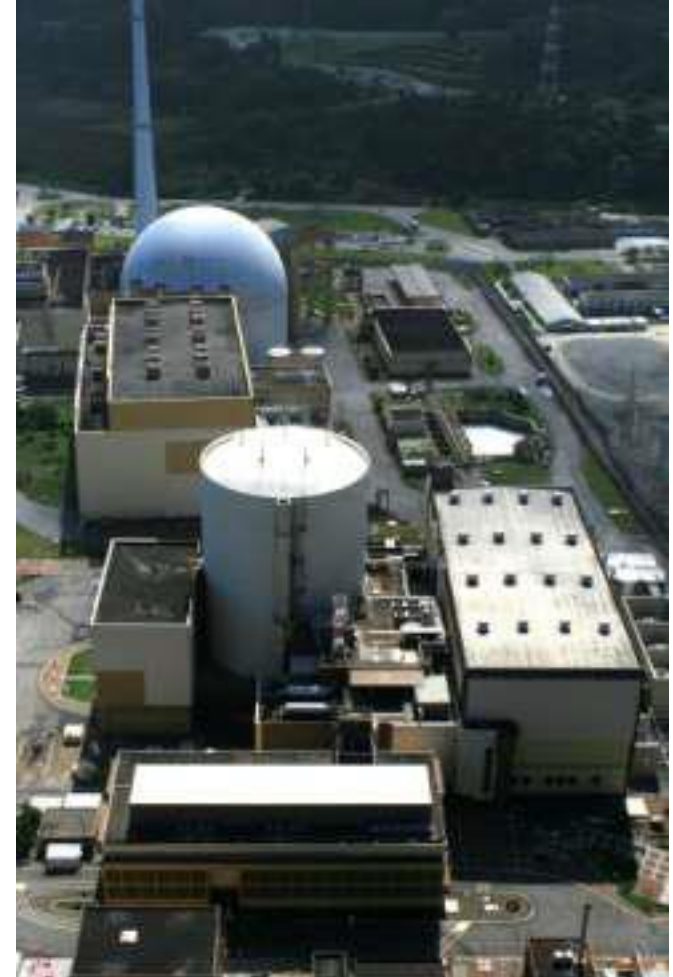
**Área: 93.802,74 m<sup>2</sup>**

**Potência instalada : 1.350 MW**

- **Total**

**Área: cerca de 127.449,25 m<sup>2</sup>**

**Potência instalada: 2.007 MW**



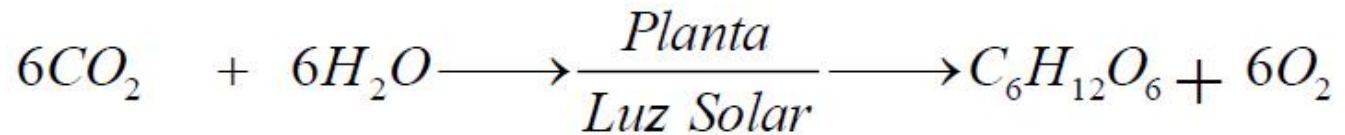
Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br>



COPPE/UFRJ

# BIOENERGIA

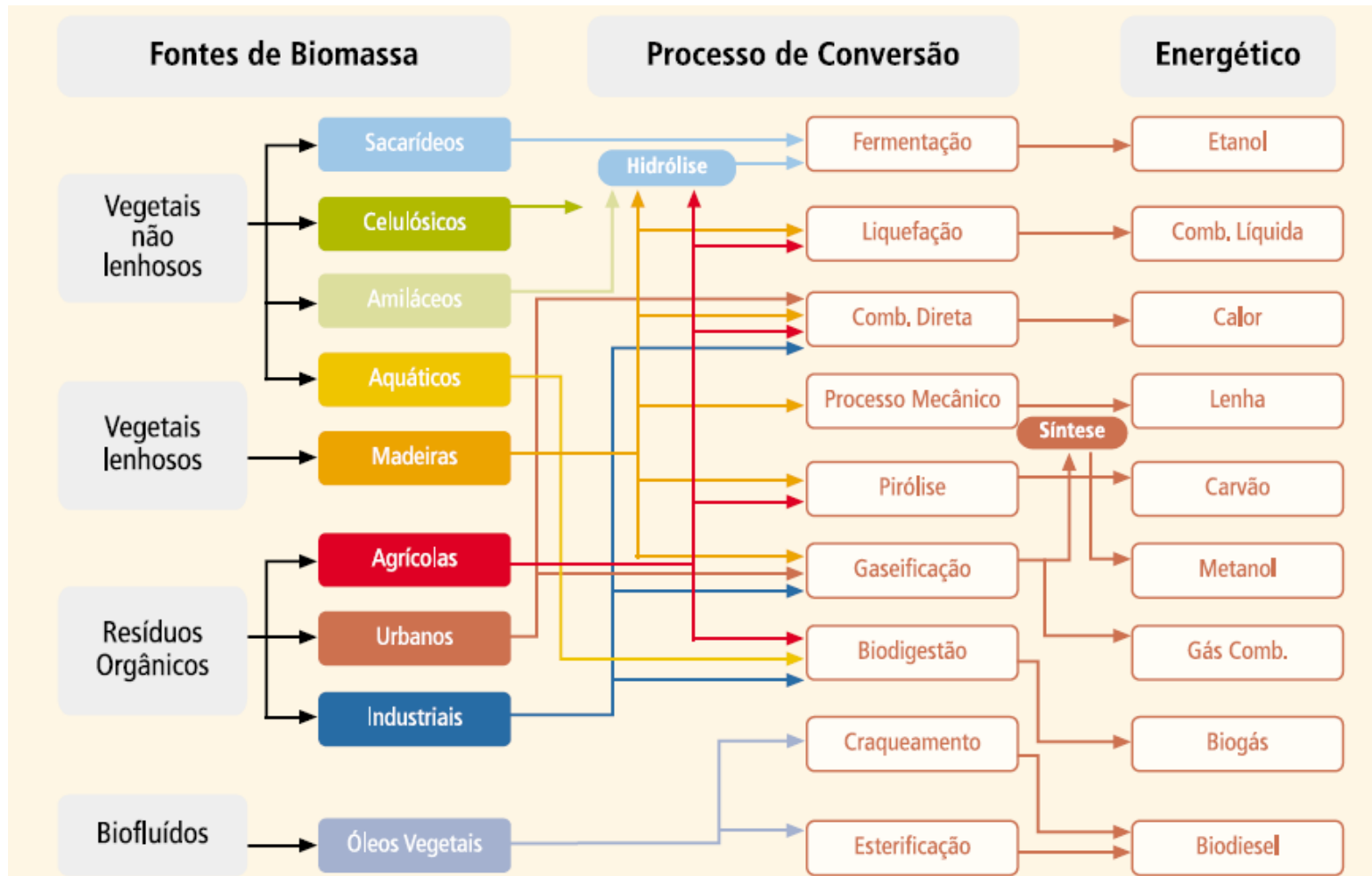
## *Fotossíntese*



- Biodiesel
- Álcool
- Gás de Síntese
- Biocombustível
- Lenha
- Etc.



# Rotas Tecnológicas para a Produção de Bioenergia

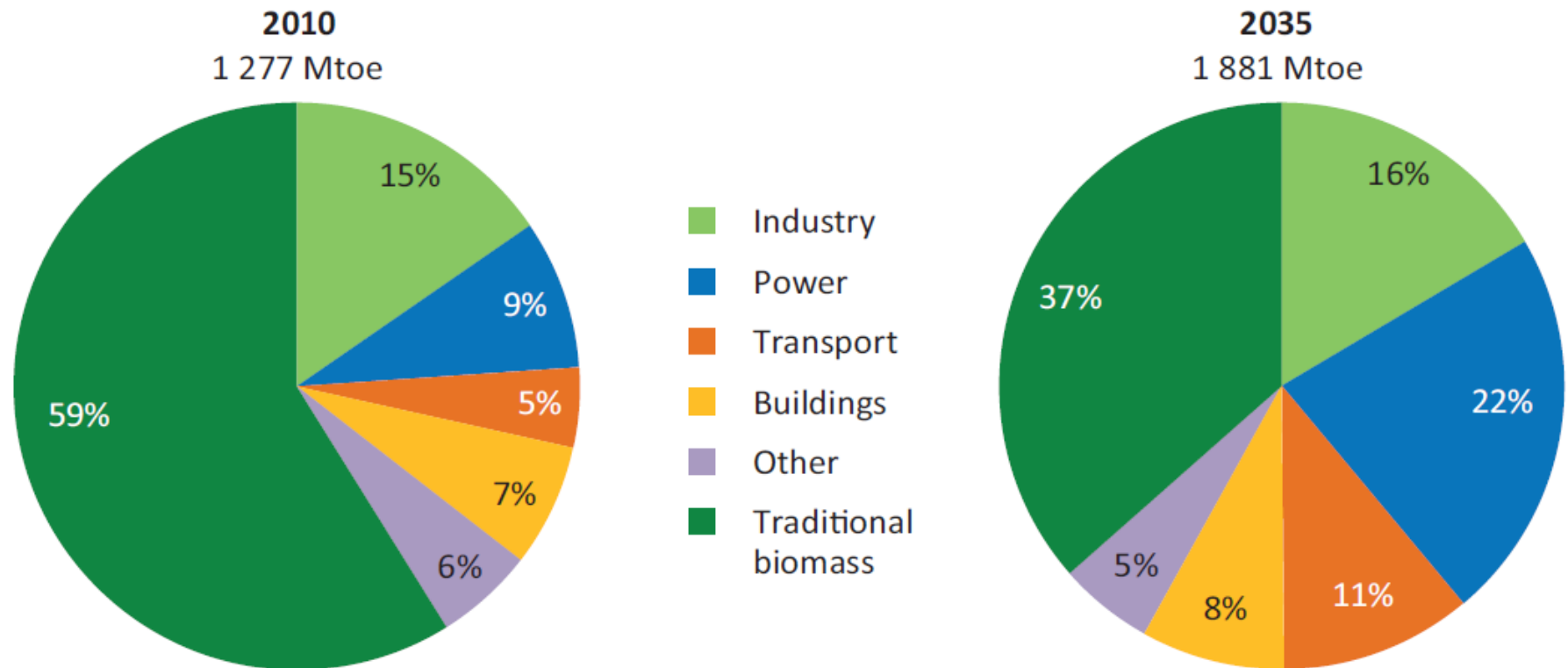




COPPE/UFRJ

# Bioenergia: Mudança de Perfil?

Uso global de bioenergia por setor e o uso tradicional de biomassa no Cenário IEA de Novas Políticas, 2010 e 2035



Fonte: IEA – *World Energy Outlook 2012*





COPPE/UFRJ

# Produção Global de Biocombustíveis, 2013 (bilhões de litros)

| COUNTRY         | FUEL<br>ETHANOL | BIODIESEL | HVO | TOTAL | COMPARISON WITH<br>TOTAL VOLUMES<br>PRODUCED IN 2012 |
|-----------------|-----------------|-----------|-----|-------|------------------------------------------------------|
| billion litres  |                 |           |     |       |                                                      |
| United States   | 50.3            | 4.8       | 0.3 | 55.4  | +1.2                                                 |
| Brazil          | 25.5            | 2.9       |     | 28.4  | +4.1                                                 |
| Germany         | 0.8             | 3.1       |     | 3.9   | +0.2                                                 |
| France          | 1.0             | 2.0       |     | 3.0   | +0.1                                                 |
| Argentina       | 0.5             | 2.3       |     | 2.7   | -0.3                                                 |
| The Netherlands | 0.3             | 0.4       | 1.7 | 2.5   | no change                                            |
| China           | 2.0             | 0.2       |     | 2.2   | -0.1                                                 |
| Indonesia       | 0.0             | 2.0       |     | 2.0   | +0.2                                                 |
| Thailand        | 1.0             | 1.1       |     | 2.0   | +0.5                                                 |
| Canada          | 1.8             | 0.2       |     | 2.0   | +0.1                                                 |
| Singapore       | 0               | 0.93      | 0.9 | 1.8   | +0.9                                                 |
| Poland          | 0.2             | 0.9       |     | 1.2   | +0.3                                                 |
| Colombia        | 0.4             | 0.6       |     | 0.9   | no change                                            |
| Belgium         | 0.4             | 0.4       |     | 0.8   | no change                                            |
| Spain           | 0.4             | 0.3       |     | 0.7   | -0.2                                                 |
| Australia       | 0.3             | 0.4       |     | 0.6   | no change                                            |

Fonte: REN21 (2014)



# Por que Biocombustíveis?

- \* **Ganhos ambientais**

- sequestro de carbono
- menor nível de emissão no consumo

- \* **Renovabilidade**

- ciclo curto de produção
- processo controlado pelo homem

- \* **Aspectos econômicos**

- novo componente de demanda
- impactos na balança comercial

- \* **Aspectos sociais**

- geração de postos de trabalho
- desconcentração da renda

- \* **Aspectos políticos: democracia**

- novo paradigma agrícola mundial: Doha



# Diferentes Visões dos Principais Atores

COPPE Principais Players: 3 visões



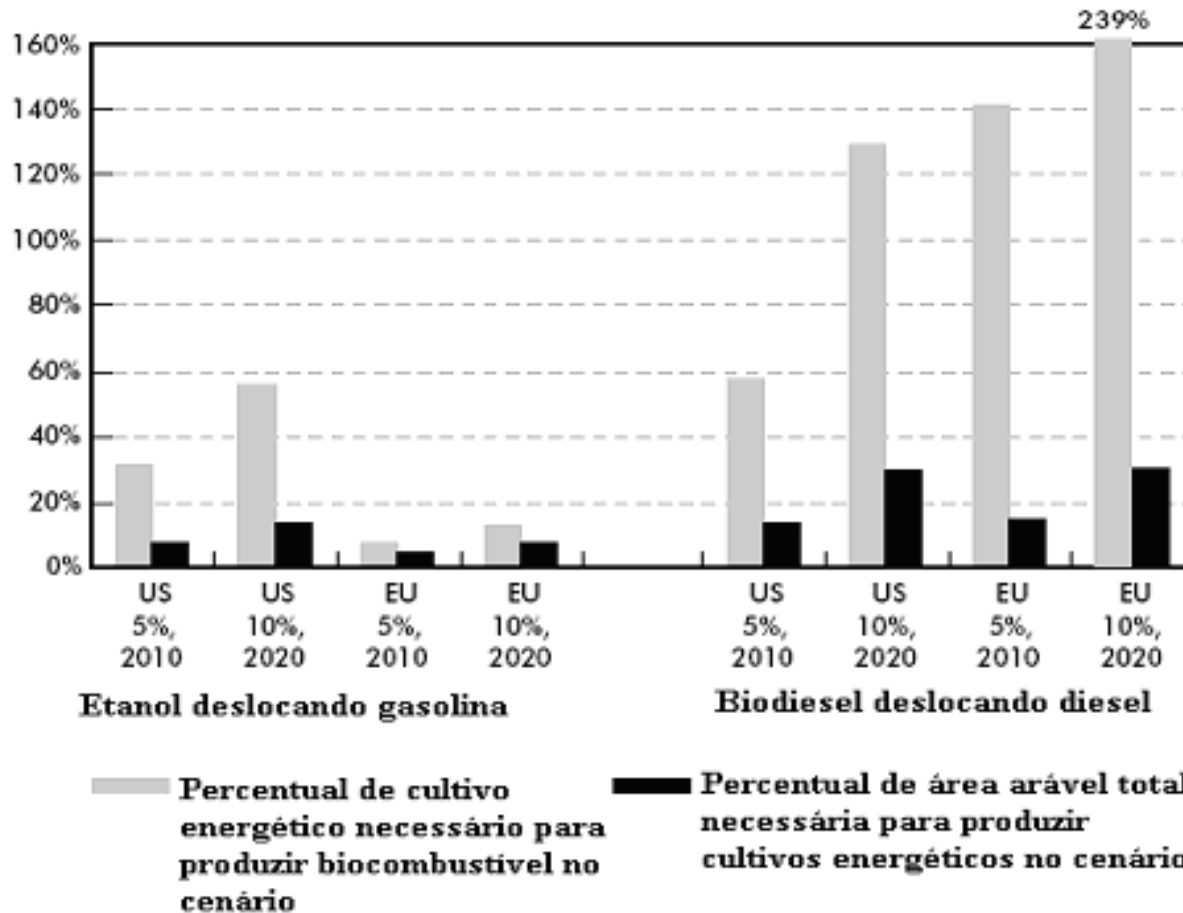
Fonte:  
ABIOVE,  
2006

“Todos os commodities energéticos hoje são negociados internacionalmente, sem restrições, exceto biocombustíveis”





# Área Cultivada p/ EUA e UE atenderem metas de inserção de biocombustíveis (2020)

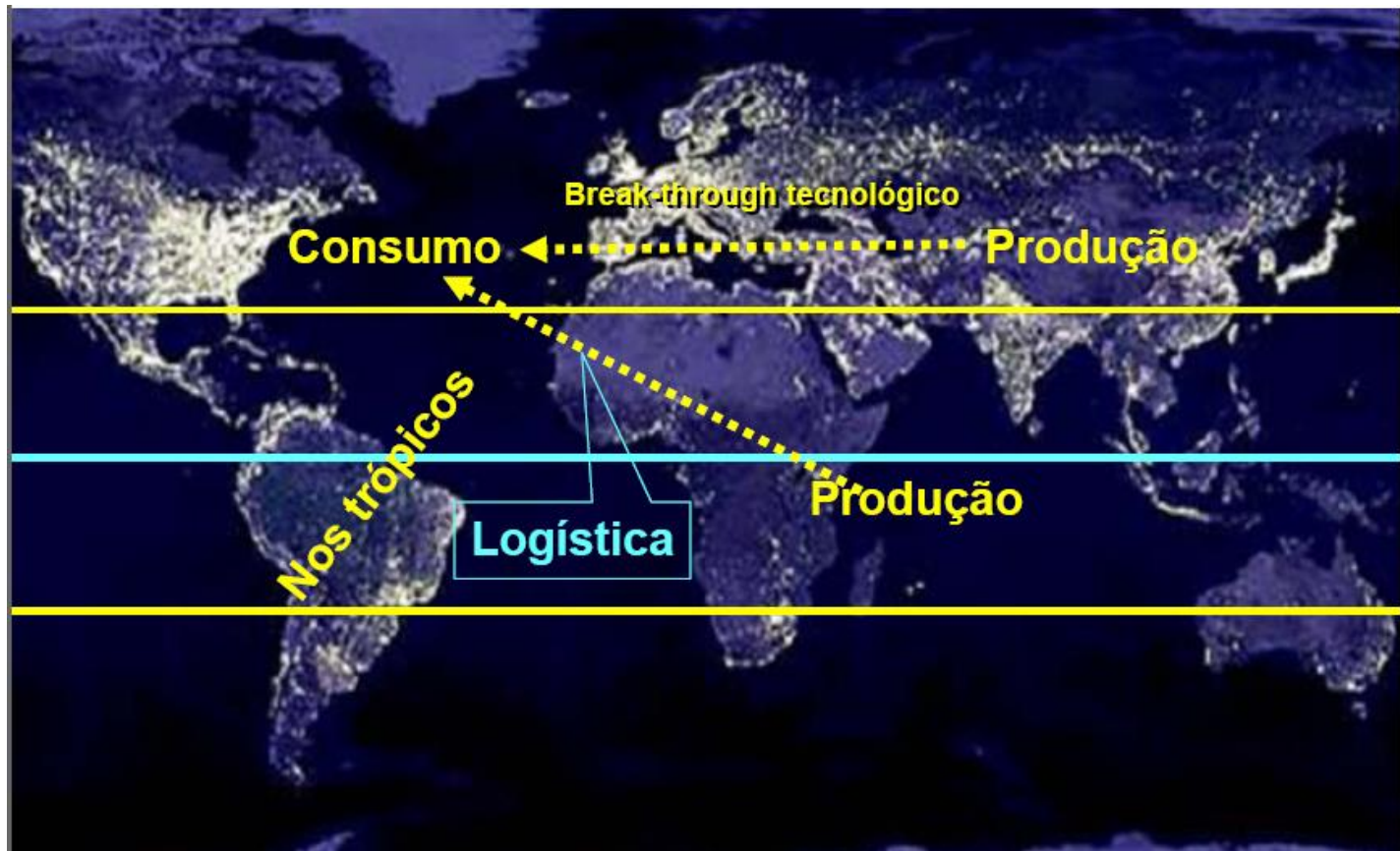


“O deslocamento de 10% da gasolina e diesel em 2020 irá requer 43% da área cultivada nos EUA e 38% na EU.”



COPPE/UFRJ

# Onde expandir a produção de Biocombustíveis?

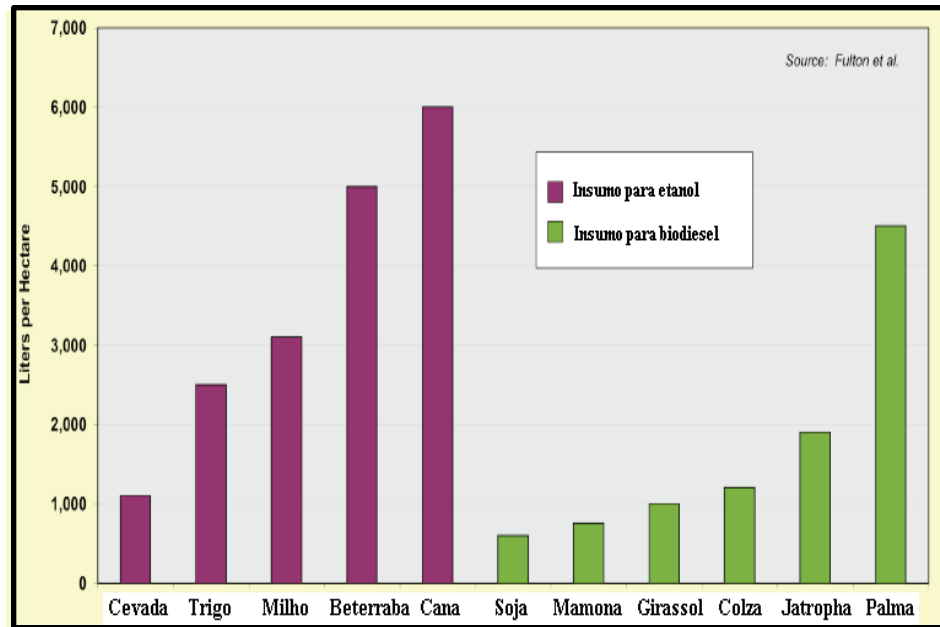


Fonte: Gazzoni, D. – “As Políticas Públicas de Biocombustíveis e o Mercado de Oleaginosas”, 2006



# Eficiência dos Principais Cultivos Bioenergéticos

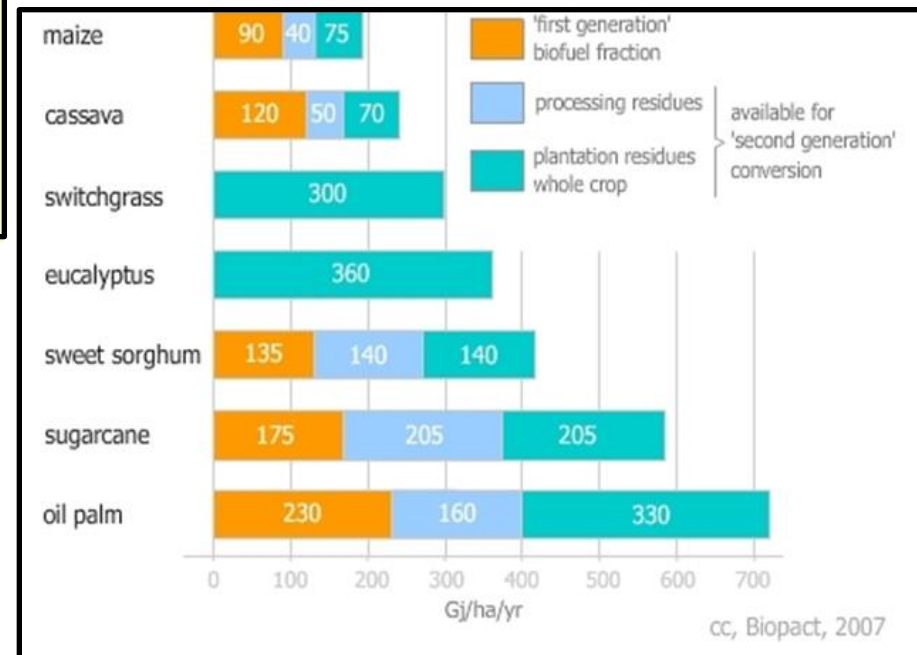
COPPE/UFRJ



Litros/ hectare \* ano

Fonte: WWI/GTZ - "Biofuels for Transportation", 2007

GJ/ hectare \* ano





# Campos e pastagens disponíveis e apropriados para cultivo agrícola (1000 ha)

| País          | Área total potencialmente disponível | Área potencialmente disponível e apropriada para cultivos | Área potencialmente disponível e apropriada para milho | Área potencialmente disponível e apropriada para soja | Área potencialmente disponível e apropriada para cana |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|               |                                      |                                                           |                                                        |                                                       |                                                       |
| <b>Brasil</b> | <b>251.137</b>                       | <b>101.119</b>                                            | <b>38.105</b>                                          | <b>75.364</b>                                         | <b>33.434</b>                                         |
| Sudão         | 99.237                               | 53.083                                                    | 50.984                                                 | 0                                                     | 795                                                   |
| Rússia        | 509.264                              | 49.628                                                    | 3.315                                                  | 0                                                     | 0                                                     |
| Austrália     | 457.146                              | 39.457                                                    | 25.148                                                 | 8.345                                                 | 414                                                   |
| Argentina     | 170.240                              | 37.652                                                    | 28.922                                                 | 30.179                                                | 11.782                                                |
| RD Congo      | 54.390                               | 34.317                                                    | 6.607                                                  | 23.624                                                | 18.337                                                |
| EUA           | 273.815                              | 27.016                                                    | 12.762                                                 | 17.976                                                | 3.621                                                 |
| Moçambique    | 36.643                               | 22.663                                                    | 22.238                                                 | 21.507                                                | 2.176                                                 |
| Colômbia      | 36.050                               | 19.676                                                    | 1.382                                                  | 2.352                                                 | 2.379                                                 |
| Madagascar    | 40.183                               | 19.085                                                    | 16.641                                                 | 16.382                                                | 6.849                                                 |

▮ Terras apropriadas para pelo menos um dos seguintes cultivos: trigo, milho, soja, cana-de-açúcar, palma de óleo, mandioca ou sorgo.

Fonte: FISCHER et SHAH - "Farmland Investments and Food Security" (2010)



COPPE/UFRJ

## Área cultivada e potencialmente disponível e apropriada para plantio de Palma (Mha)

| País             | Área cultivada com Palma (2012) [1] | Área potencialmente disponível e apropriada para Palma (pastagens e campos) | Área potencialmente disponível e apropriada para Palma (florestas) | Área total potencialmente disponível e apropriada para Palma |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Brasil           | <b>109</b>                          | <b>7.268</b>                                                                | <b>109.384</b>                                                     | <b>116.652</b>                                               |
| RD Congo         | 179                                 | 11.289                                                                      | 52.670                                                             | 63.959                                                       |
| Indonésia        | 6.090                               | 13.640                                                                      | 30.450                                                             | 44.090                                                       |
| Peru             | 32                                  | 2.632                                                                       | 39.155                                                             | 41.787                                                       |
| Colômbia         | 165                                 | 6.427                                                                       | 31.747                                                             | 38.174                                                       |
| Congo            | 11                                  | 2.842                                                                       | 10.532                                                             | 13.374                                                       |
| Papua Nova Guiné | 140                                 | 3.544                                                                       | 9.428                                                              | 12.972                                                       |
| Malásia          | 4.010                               | 685                                                                         | 5.818                                                              | 6.503                                                        |
| Bolivia          | 0                                   | 972                                                                         | 4.626                                                              | 5.598                                                        |
| Venezuela        | 26                                  | 765                                                                         | 3.415                                                              | 4.180                                                        |

Fonte: FISCHER et SHAH (2010);  
[1] FAOSTAT (2013)



COPPE/UFRJ

# Cenário IEA de Expansão Mundial dos Biocombustíveis até 2035

## Consumo de Biocombustíveis no Cenário *Novas Políticas* (Mbe/d)

|                   | Ethanol    |            | Biodiesel  |            | Total biofuels |            | Share of road transport |            |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|------------|-------------------------|------------|
|                   | 2010       | 2035       | 2010       | 2035       | 2010           | 2035       | 2010                    | 2035       |
| <b>OECD</b>       | <b>0.6</b> | <b>1.7</b> | <b>0.2</b> | <b>0.8</b> | <b>0.8</b>     | <b>2.5</b> | <b>4%</b>               | <b>13%</b> |
| Americas          | 0.6        | 1.5        | 0.0        | 0.2        | 0.6            | 1.7        | 4%                      | 15%        |
| United States     | 0.6        | 1.4        | 0.0        | 0.2        | 0.6            | 1.7        | 5%                      | 19%        |
| Europe            | 0.0        | 0.2        | 0.2        | 0.5        | 0.2            | 0.7        | 4%                      | 13%        |
| <b>Non-OECD</b>   | <b>0.4</b> | <b>1.7</b> | <b>0.1</b> | <b>0.3</b> | <b>0.5</b>     | <b>2.0</b> | <b>3%</b>               | <b>6%</b>  |
| E. Europe/Eurasia | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0            | 0.1        | 1%                      | 2%         |
| Asia              | 0.0        | 0.7        | 0.0        | 0.1        | 0.1            | 0.8        | 1%                      | 4%         |
| China             | 0.0        | 0.5        | 0.0        | 0.0        | 0.0            | 0.5        | 1%                      | 5%         |
| India             | 0.0        | 0.2        | 0.0        | 0.0        | 0.0            | 0.2        | 0%                      | 5%         |
| Latin America     | 0.3        | 0.9        | 0.1        | 0.1        | 0.4            | 1.0        | 12%                     | 22%        |
| Brazil            | 0.3        | 0.8        | 0.0        | 0.1        | 0.3            | 0.9        | 22%                     | 37%        |
| <b>World</b>      | <b>1.0</b> | <b>3.4</b> | <b>0.3</b> | <b>1.1</b> | <b>1.3</b>     | <b>4.5</b> | <b>3%</b>               | <b>8%</b>  |
| European Union    | 0.0        | 0.2        | 0.2        | 0.6        | 0.2            | 0.8        | 4%                      | 16%        |

Fonte: IEA – *World Energy Outlook 2012*





COPPE/UFRJ

# Cenário 2030 de Produção Nacional de Biocombustíveis

## Etanol

|            | 1970 | 1980  | 1990   | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Produção   | 625  | 3.676 | 11.518 | 10.700 | 16.040 | 25.486 | 38.594 | 51.547 | 57.198 | 61.875 |
| Importação | 0    | 0     | 1.156  | 64     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Exportação | 0    | 384   | 0      | 227    | 2.494  | 8.199  | 13.360 | 17.080 | 16.684 | 9.518  |

## Biodiesel

| Matéria-prima   | 2005 | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Soja            | 122  | 1.848 | 2.394 | 2.641 | 3.737 | 3.394 |
| Dendê           | 5    | 137   | 408   | 1.062 | 2.571 | 5.695 |
| Mamona          | 11   | 87    | 150   | 229   | 328   | 451   |
| Girassol        | 1    | 22    | 35    | 54    | 78    | 104   |
| Total (mil ton) | 139  | 2.095 | 2.988 | 3.987 | 6.714 | 9.644 |

Fonte: EPE – PNE 2030 Combustíveis Líquidos, 2007



# Brasil: Alcance territorial das UCs, TIs, RL e APPs

COPPE/UFRJ

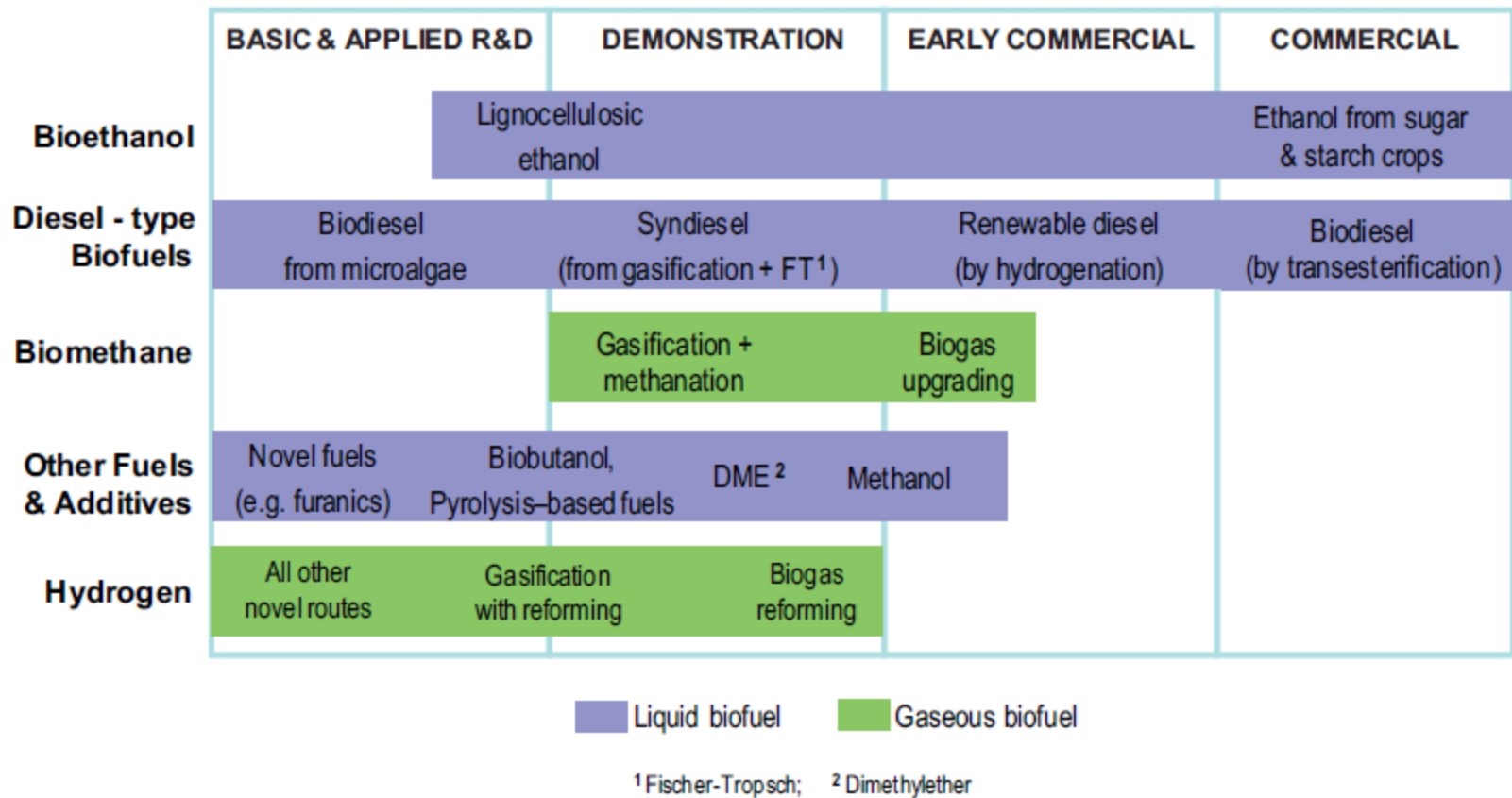
| BIOMA             | Área               | UCE/UCF/TI<br>(1)  | Reserva<br>Legal | Área de RL<br>(2)  | APP Líquida<br>(3) | Área Legalmente<br>Disponível |       |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------|
|                   | (km <sup>2</sup> ) | (km <sup>2</sup> ) | %                | (km <sup>2</sup> ) |                    | km <sup>2</sup>               | %     |
| Amazônia          | 4.195.296          | 1.947.972          | 80%              | 1.798.644          | 782.854            | -334.174                      | -8,0  |
| Caatinga          | 844.062            | 50.500             | 20%              | 158.713            | 60.002             | 574.848                       | 68,1  |
| Cerrado           | 2.031.298          | 212.871            | 20 a 35%         | 455.941            | 254.222            | 1.108.265                     | 54,6  |
| Mata<br>Atlântica | 1.118.353          | 70.695             | 20%              | 209.532            | 180.220            | 657.907                       | 58,8  |
| Pampa             | 176.131            | 6.209              | 20%              | 33.984             | 21.606             | 114.331                       | 64,9  |
| Pantanal          | 149.737            | 6.096              | 20%              | 28.728             | 143.641            | -28.728                       | -19,2 |
| TOTAL             | 8.514.877          | 2.294.343          |                  | 2.685.542          | 1.442.544          | 2.455.350                     | 28,8  |

Fonte: Miranda et al. "O alcance da legislação ambiental e territorial" (2008)



COPPE/UFRJ

# Status do desenvolvimento das principais tecnologias para a produção de biocombustíveis



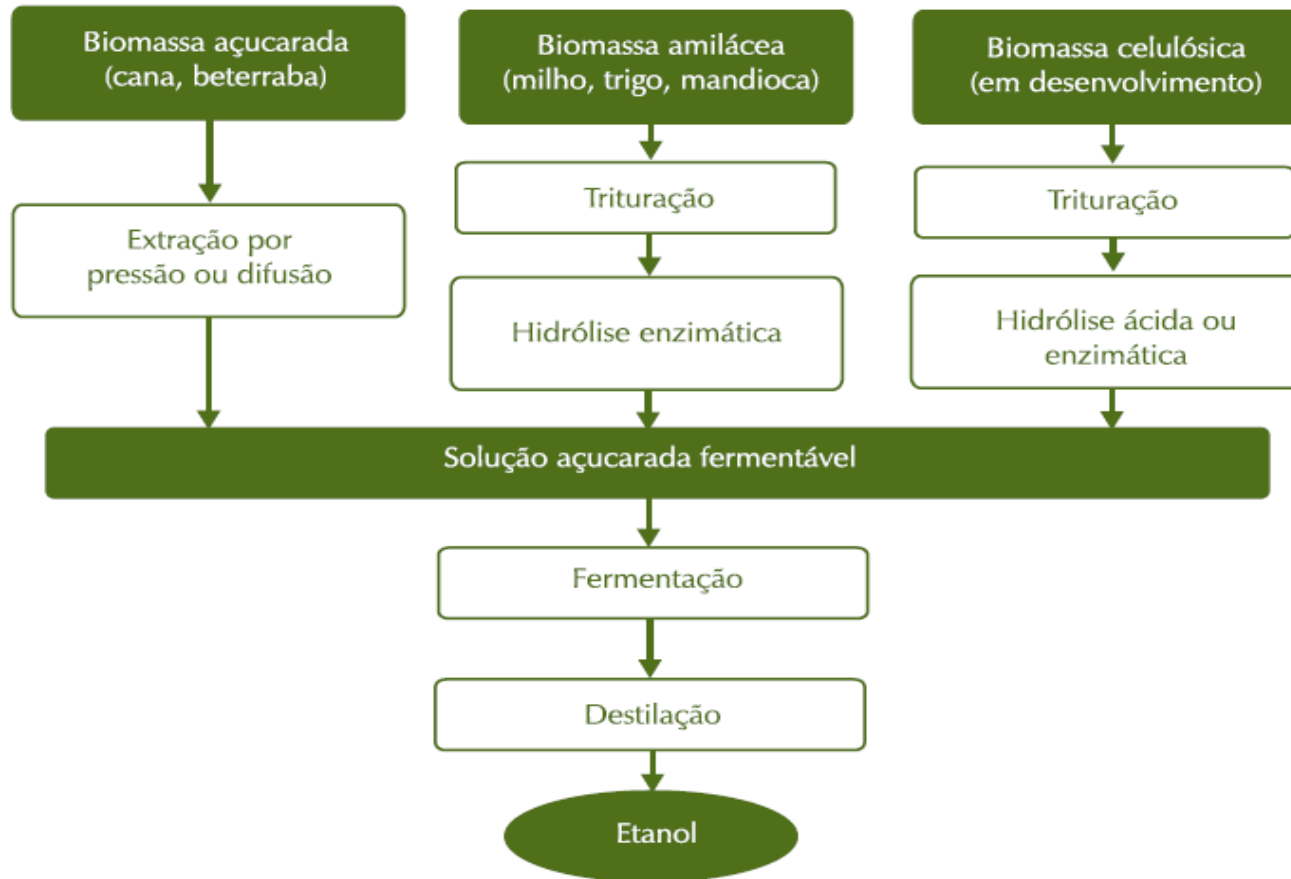


# Aspectos do Etanol



COPPE/UFRJ

# Rotas Tecnológicas para a Produção de Etanol

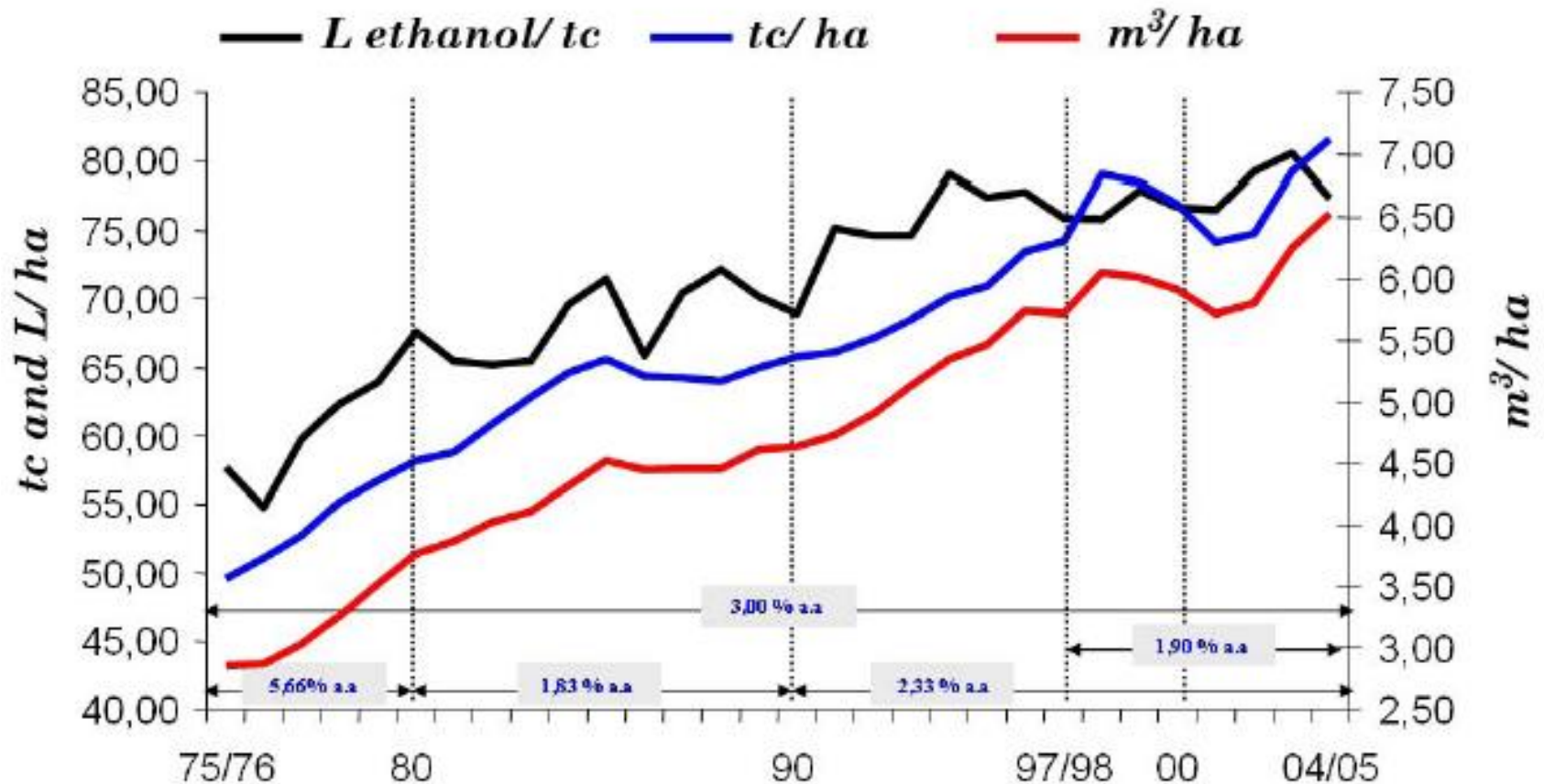


Fonte: Bioetanol de Cana de Açúcar (Nogueira, 2008)



# Avanços Tecnológicos com o PROÁLCOOL: (1975-2005)

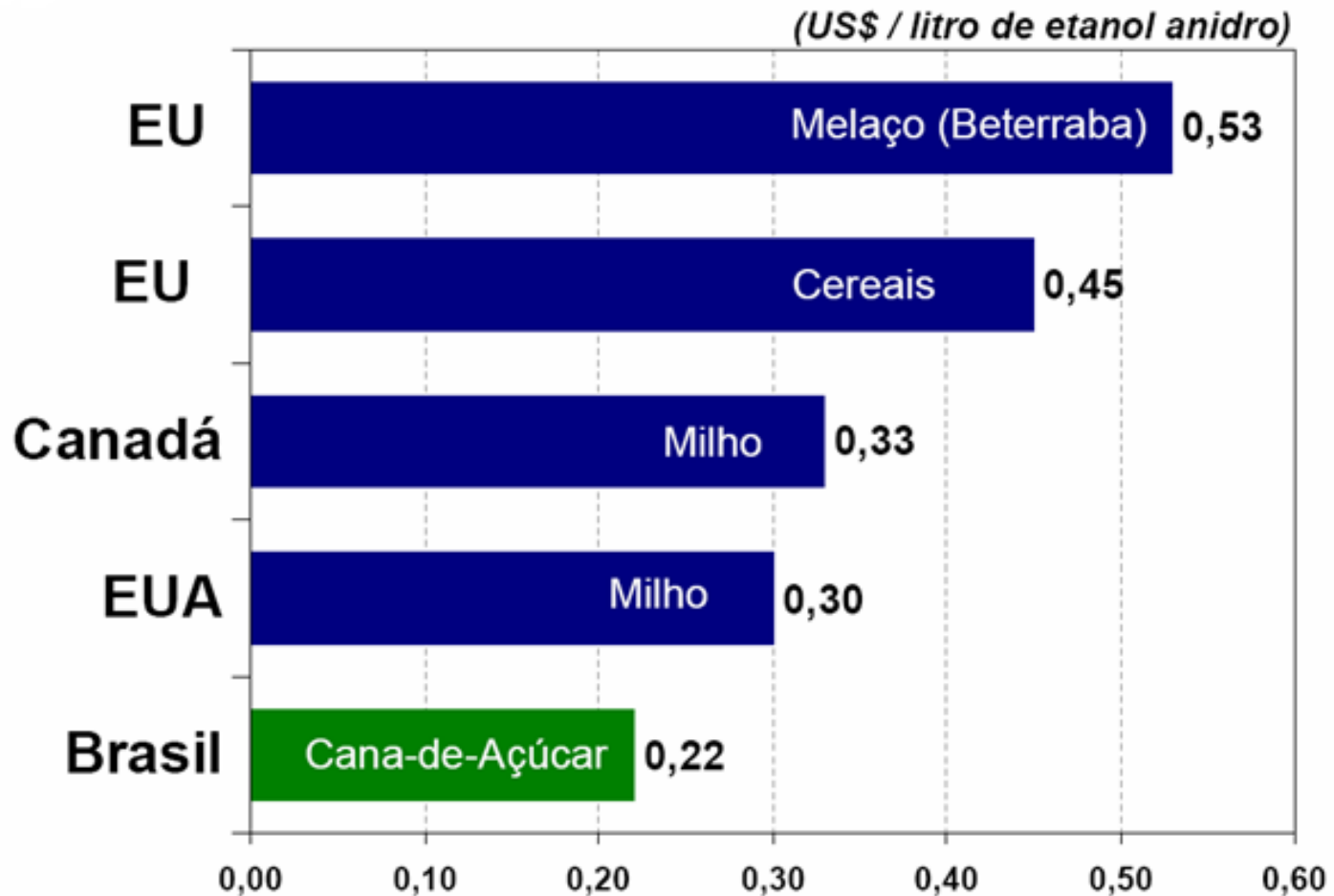
COPPE/UFRJ



Fonte: Novaes (2007)



# Etanol: Custos de Produção (do insumo ao produto final)

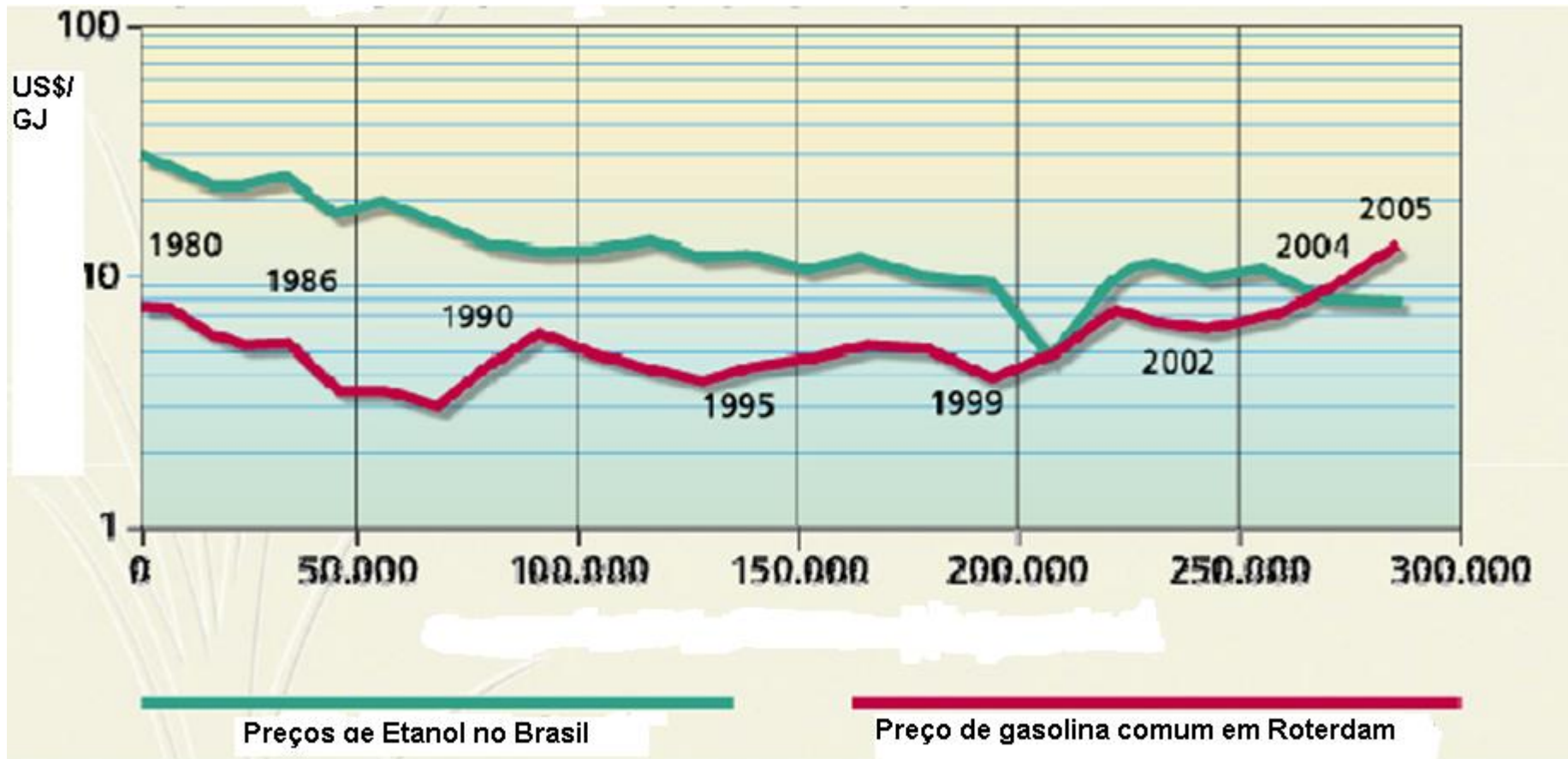






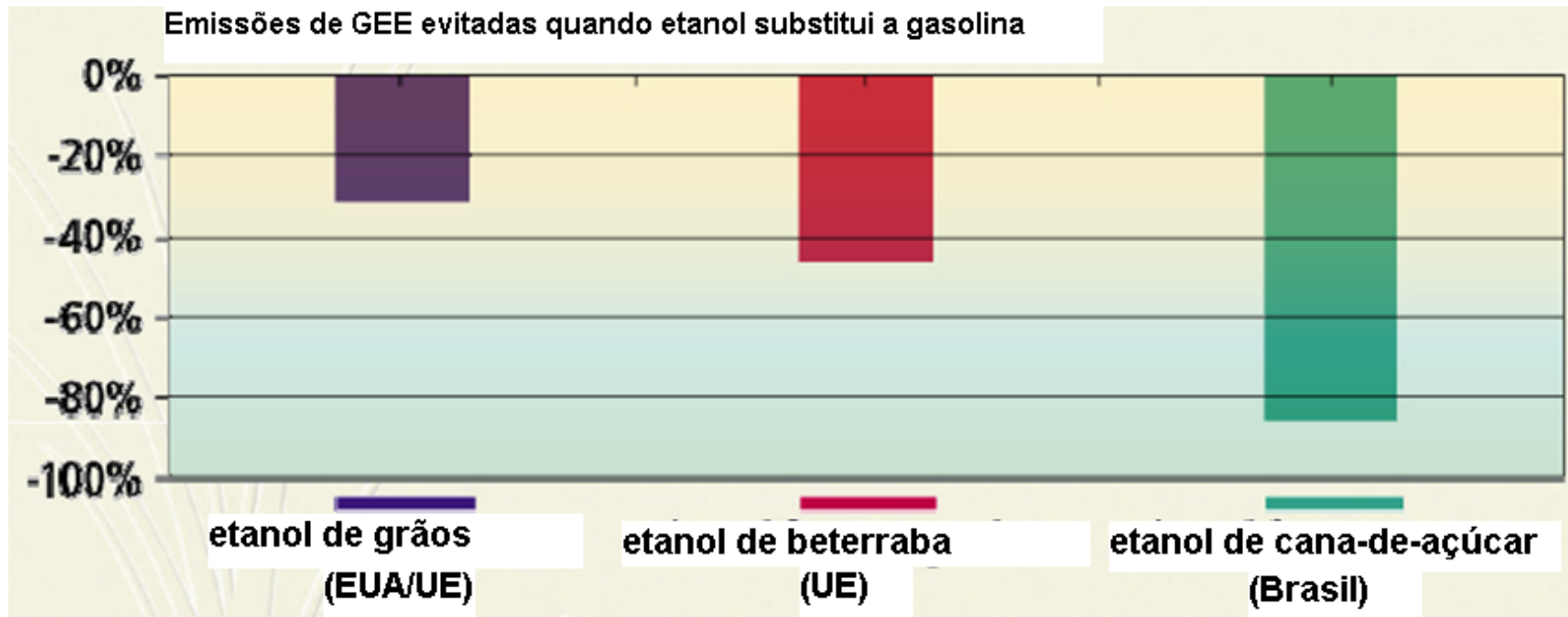
COPPE/UFRJ

# Etanol brasileiro: único biocombustível que compete (?) com equivalente fóssil





# Balanço de emissões de fontes distintas de etanol (ACV)



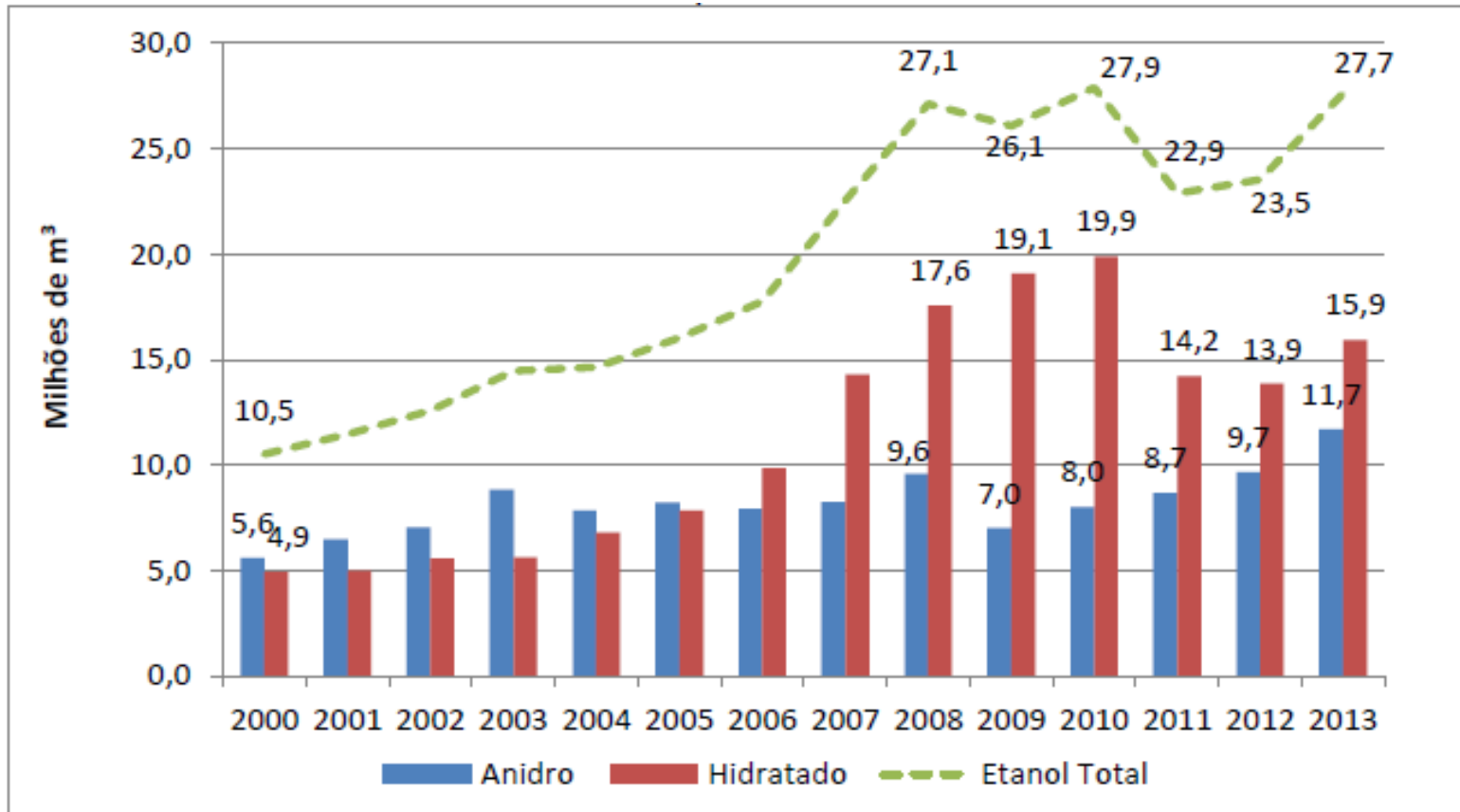
Fonte: IEA – *Biofuels for Transport* (2004)

Obs: de acordo com Crutzen et al (2007), as emissões de N<sub>2</sub>O (fertilizantes nitrogenados) desqualificam o etanol de milho



# Evolução na produção de etanol no Brasil

COPPE/UFRJ



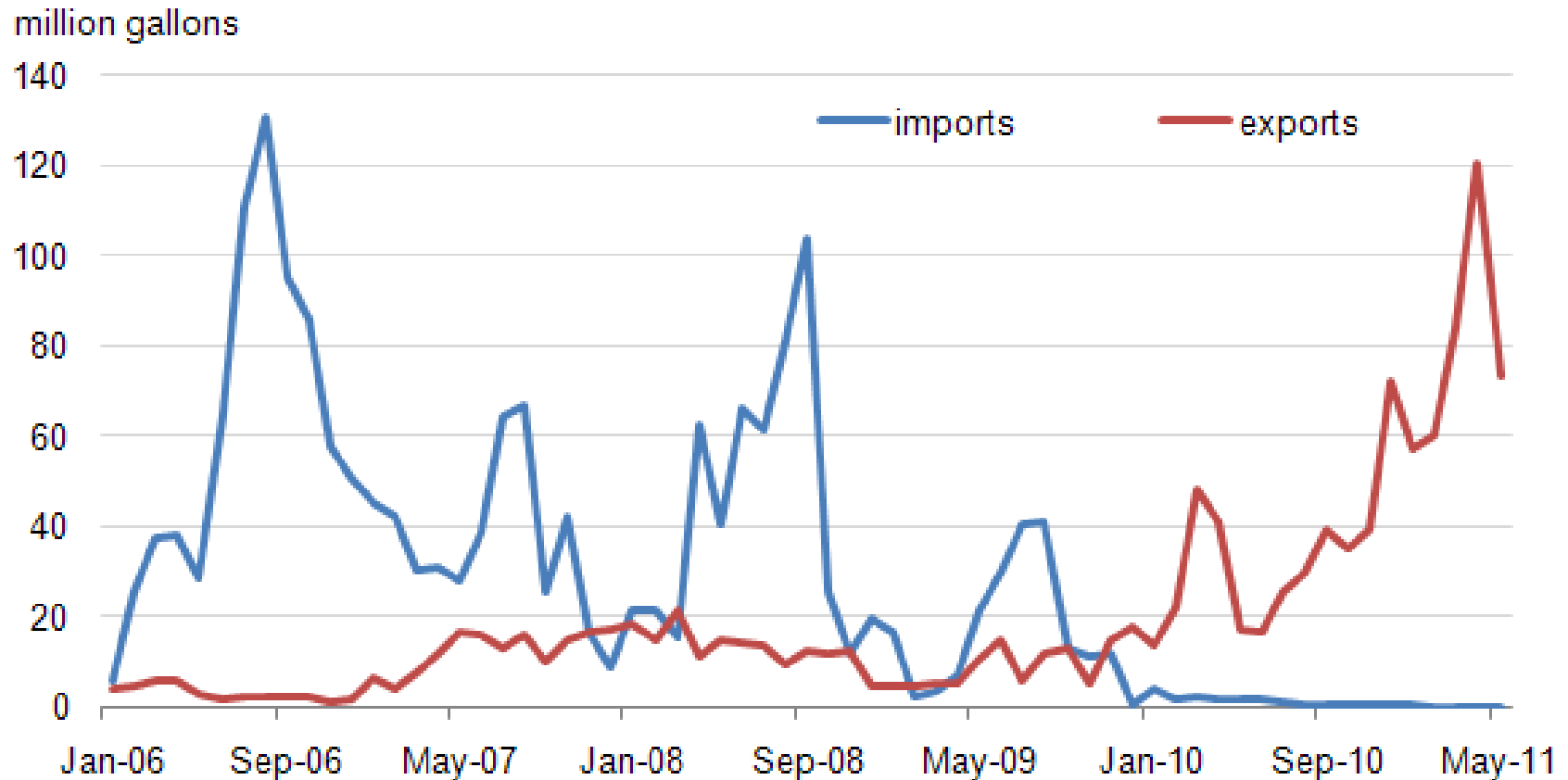
**Produtividade média de cana caiu para 70 t/ha -> 50% clima, 50% mecanização**

Fonte: EPE – Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2013



# EUA: exportador de Etanol para o Brasil?

COPPE/UFRJ



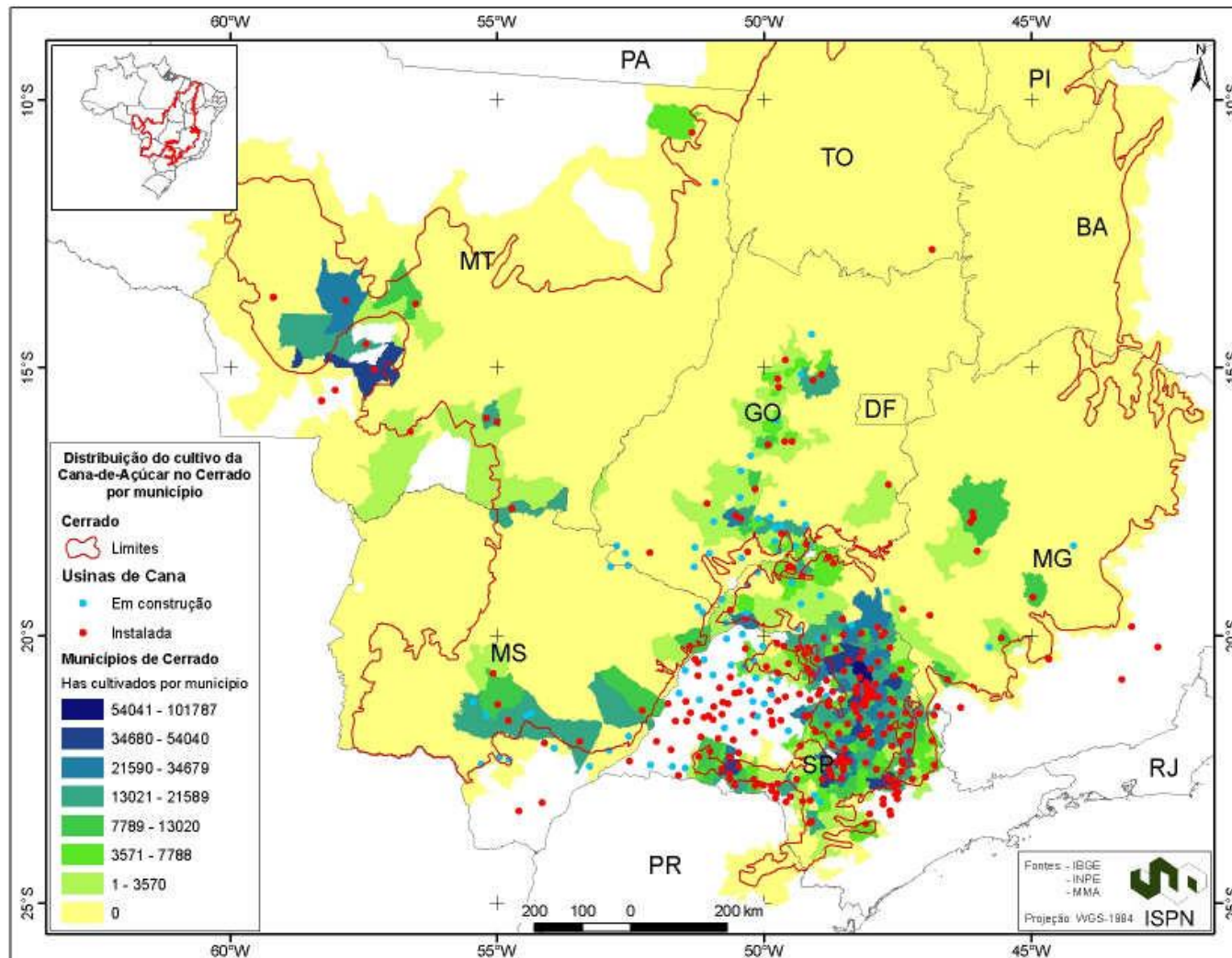
Sources: U.S. Energy Information Administration and U.S. Census Bureau





COPPE/UFRJ

# Cultivo da cana-de-açúcar no Cerrado e usinas instaladas/em construção





# Mitigação de GEE no abandono da queima da cana

## Balanço em Ceq (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)

Cana-de-açúcar com queima



Cana-de-açúcar sem queima



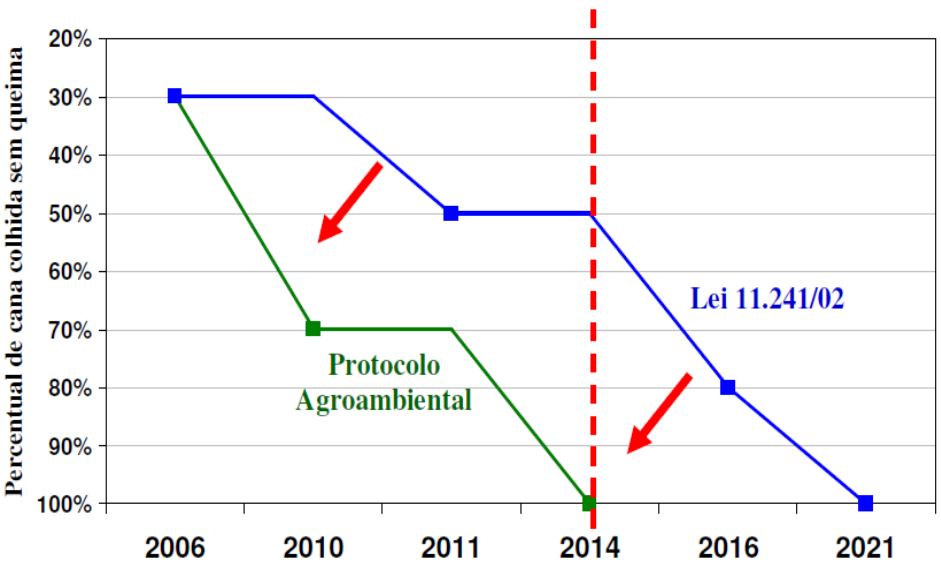
|     |                                       |              |
|-----|---------------------------------------|--------------|
| -   | CO <sub>2</sub> : estocagem no solo   | -1625        |
| 463 | N <sub>2</sub> O: safra e ciclo anual | 460          |
| 191 | CH <sub>4</sub> : safra e ciclo anual | -18          |
| 654 | <b>Total</b>                          | <b>-1183</b> |
|     | <b>Diferença</b>                      | <b>-1837</b> |



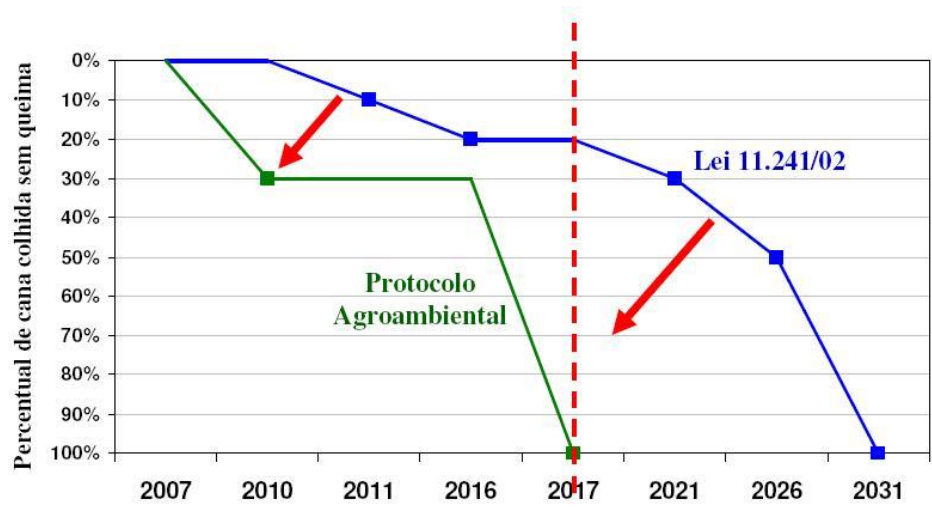


# 5. Eliminação da queima de palha de cana em SP

COPPE/UFRJ



← Áreas mecanizáveis



← Áreas não - mecanizáveis

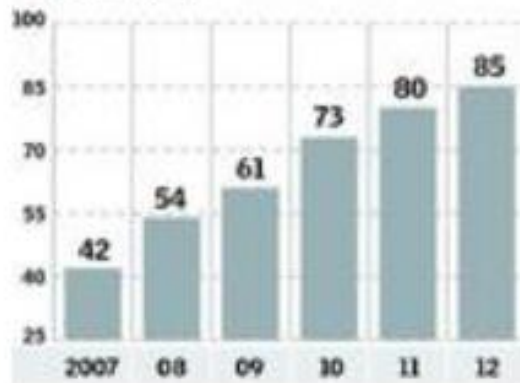
A UNICA calcula que haverá uma redução de 117 mil empregos em 2021 com a eliminação da queima





# Mecanização da Colheita e Plantio da Cana e Reflexos na Oferta de Trabalho (SP)

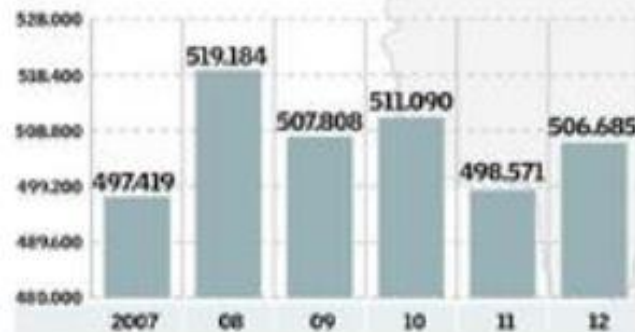
■ Colheita mecanizada  
(% do total)



■ Cortadores de cana empregados\*



■ Empregados na indústria sucroalcooleira



■ Mecanização em SP

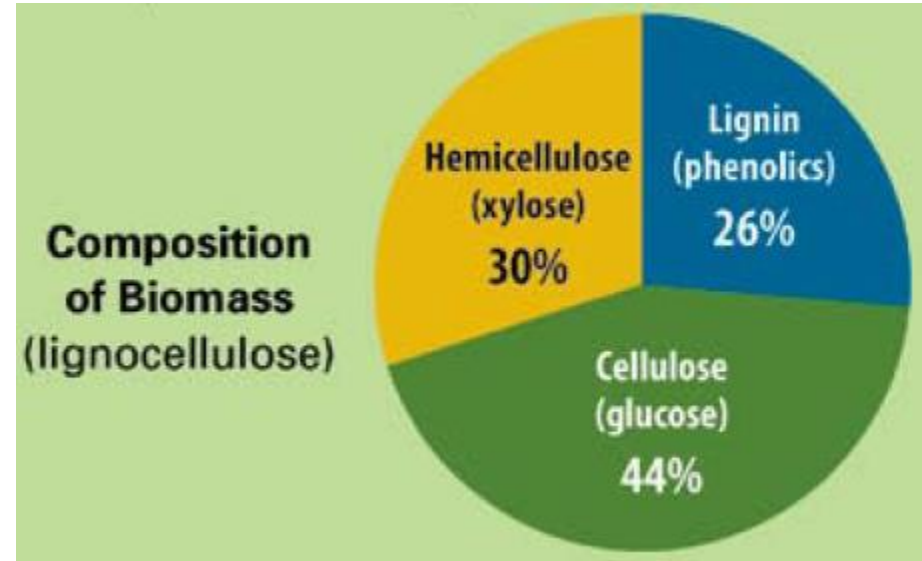
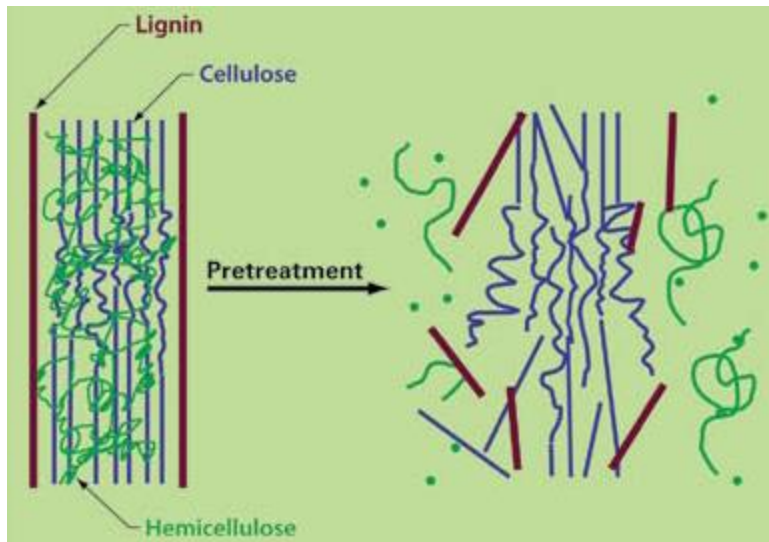
Médias referentes aos canaviais das usinas - em %





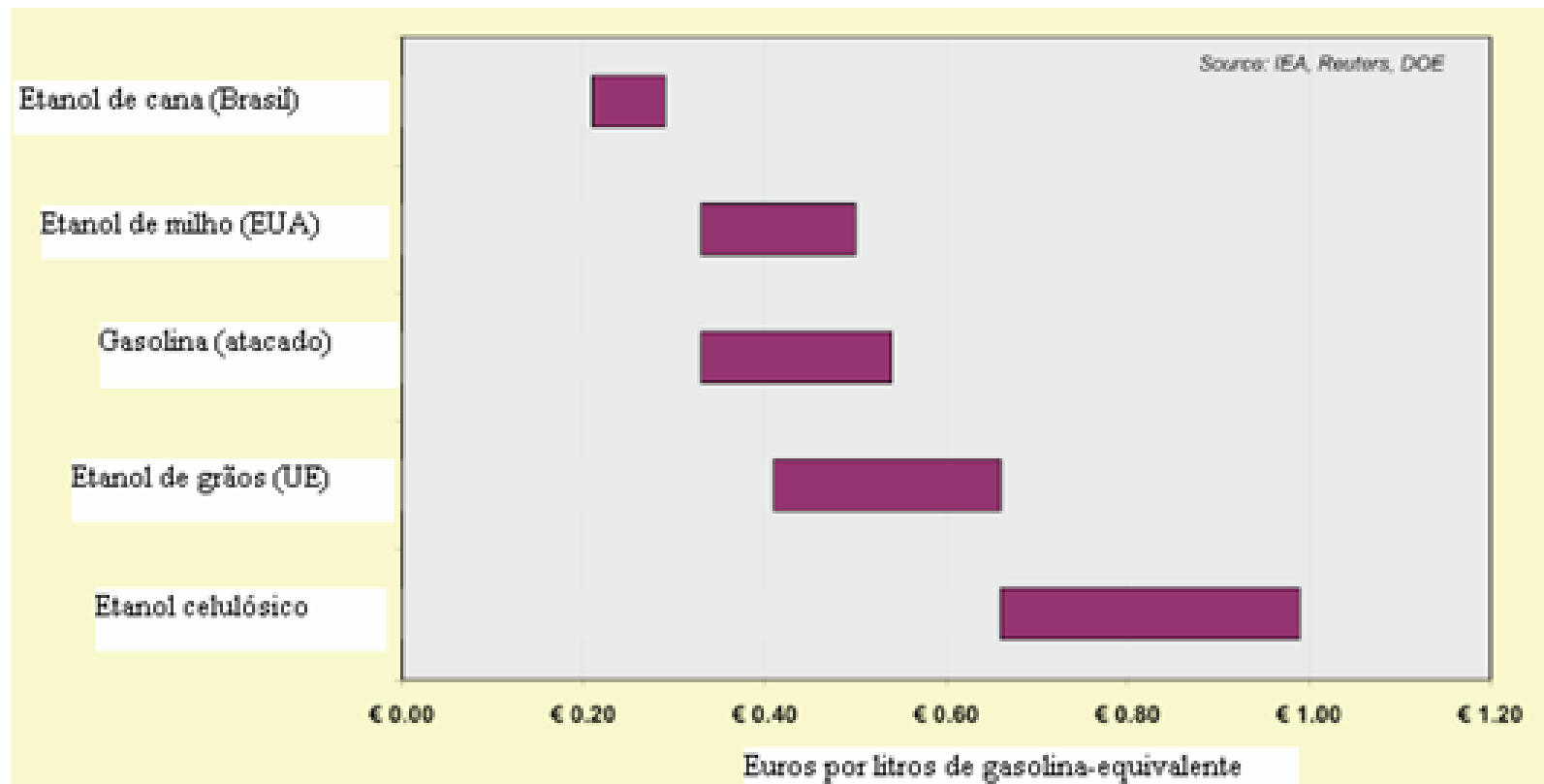
# Etanol Celulósico: o que é e por que sua comercialização é tão buscada

- 1 – Pretratamento
- 2 – Hidrólise (quebra)
- 3 – Fermentação (p/ etanol)





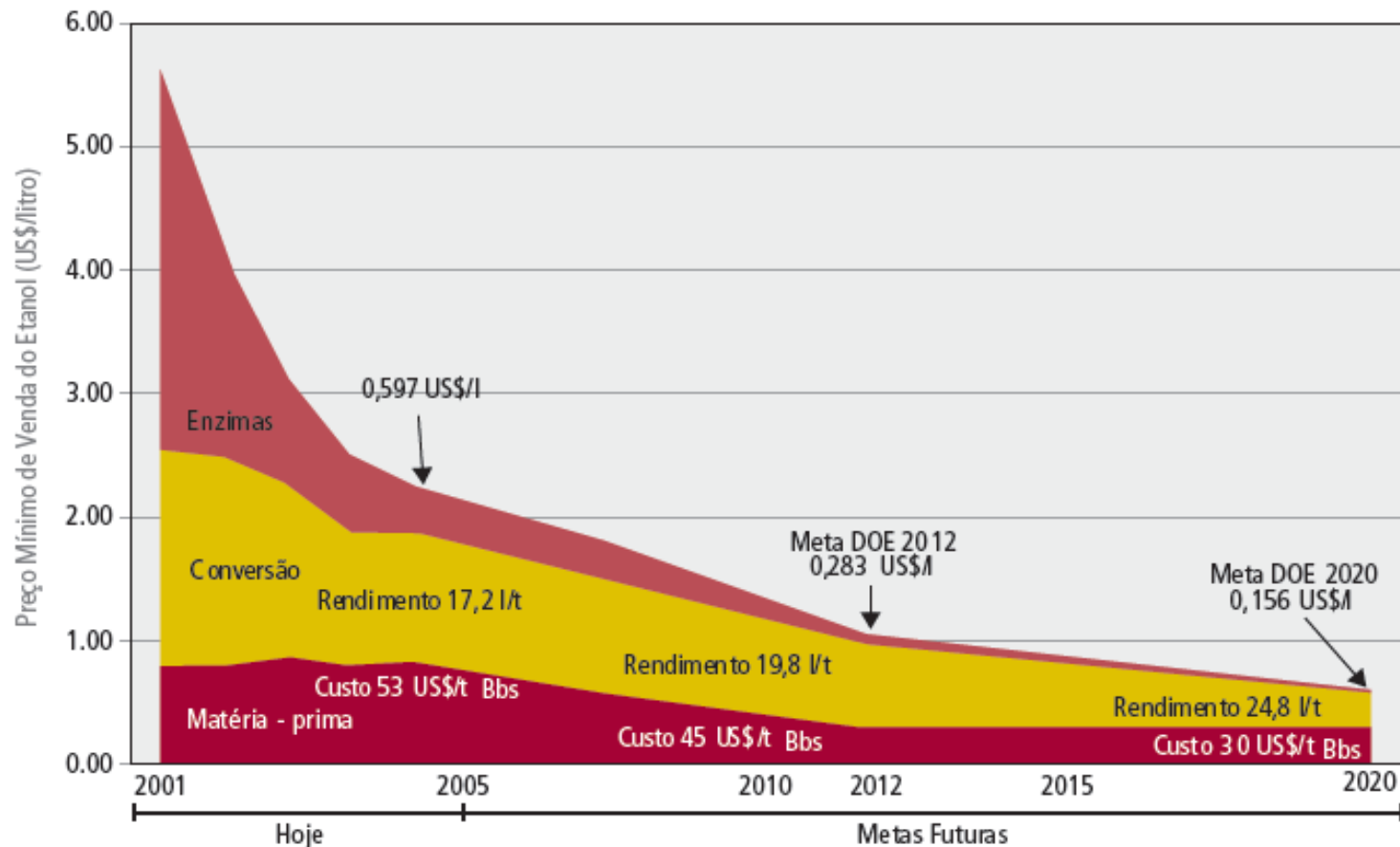
# Etanol Celulósico ainda não é competitivo



Fonte: Kaltner et al – “Liquid Biofuels for Transportation in Brazil”, GTZ-WWI - 2006



# Projeções (US DOE) de custos de etanol celulósico



Fonte: USDOE, 2006.



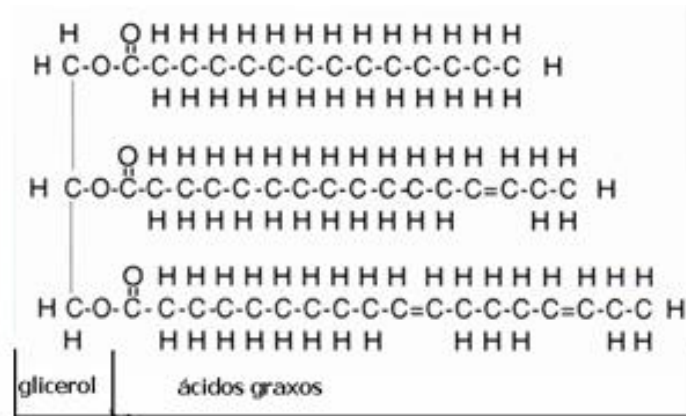
# Aspectos do Biodiesel



COPPE/UFRJ

# Triglicerídeos e Ácidos Graxos

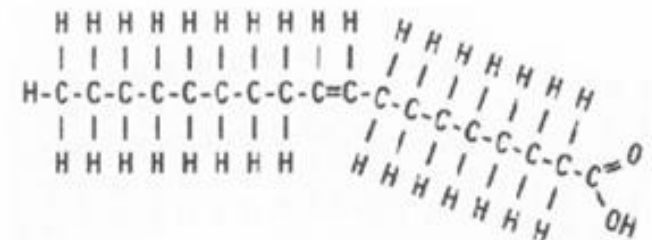
Triglicerídeo ->



Ácidos Graxos ->



Ácido Esteárico: ácido graxo insaturado (18:0)



Ácido Oléico: ácido graxo mono-insaturado (18:1)



# Propriedades Físicas do Diesel vs. Óleos e Gorduras Seletas

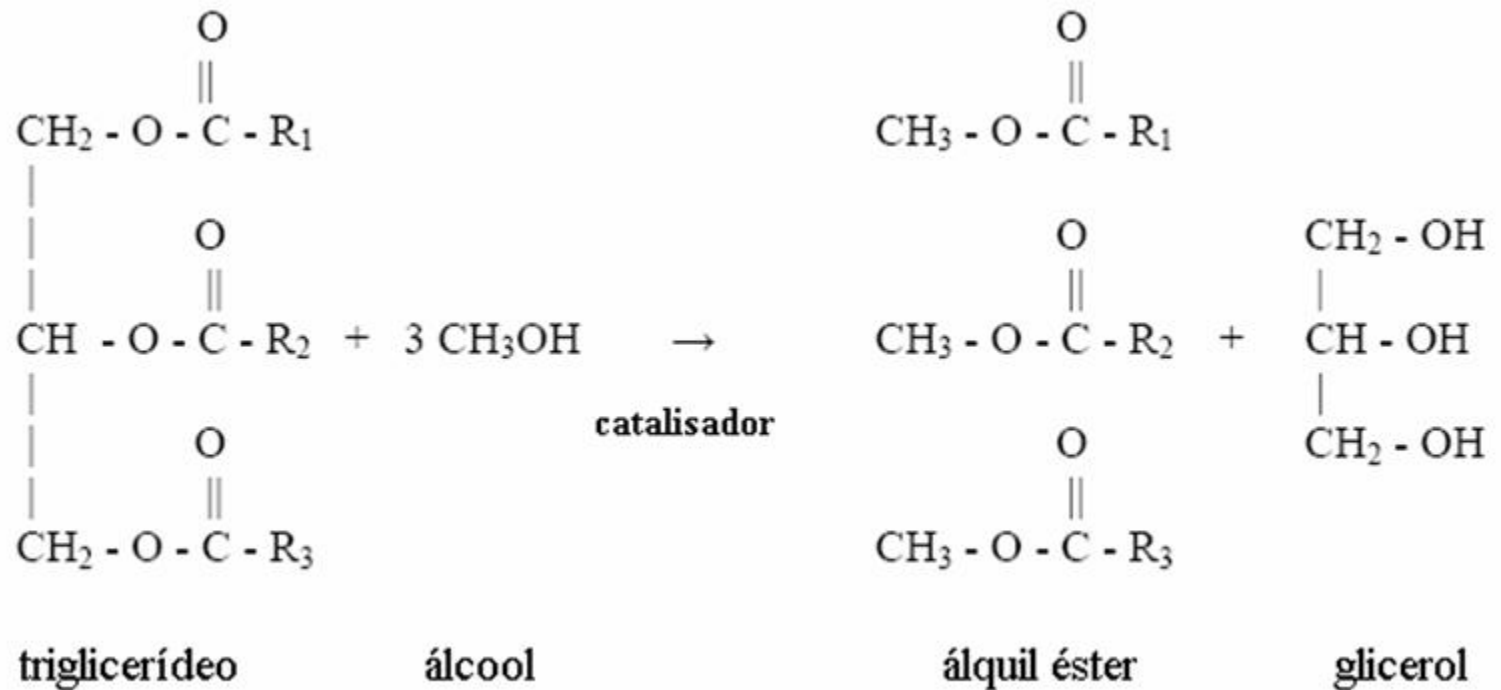
| Insumo      | Cetanagem | PCS (J/Kg) | Viscosidade Cinemática (mm <sup>2</sup> /seg) | Ponto de Fluidiez (C) | Número de Iodo |
|-------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------|
| Palma       | 56,2      | 39.300     | 40,9                                          | 21,0                  | 54             |
| Mamona      | -         | 39.500     | 297                                           | -31,7                 | 85             |
| Soja        | 37,9      | 39.623     | 32,6                                          | -12,2                 | 130            |
| Colza       | 37,6      | 39.709     | 37                                            | -31,7                 | 98             |
| Girassol    | 37,1      | 39.575     | 37,1                                          | -15                   | 125            |
| Sebo Bovino | -         | 40.054     | 51,2                                          | -                     | 50             |
| Diesel #2   | 47        | 45.343     | 2,7                                           | -33                   | n.a.           |

Fonte: Knothe et al – “The Biodiesel Handbook”, 2005





# Biodiesel: Transesterificação de Óleos e Gorduras



Fonte: Knothe et al – “The Biodiesel Handbook”, 2005



# Rotas Tecnológicas para Biocombustíveis em Motores Diesel

- ❑ Misturas de óleos vegetais com diesel - **Não é Biodiesel**
- ❑ Óleos vegetais craqueados - **Não é Biodiesel**
- ❑ Óleos vegetais hidrogenados - **Não é Biodiesel**
- ❑ Ésteres de óleos vegetais e gorduras animais - **Biodiesel**



# Propriedades Físico/Químicas do Diesel e Biodiesel

| Insumo              | Cetanagem | PCS (J/Kg) | Visc. Cinemática (mm <sup>2</sup> /seg) | Ponto de Fluidez (C) |
|---------------------|-----------|------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Palma (etílico)     | 56,2      | 39.070     | 4,5                                     | 6,0                  |
| Mamona              | -         | -          | 13,8                                    | -                    |
| Soja (metílico)     | 49,6      | 37.372     | 4,2                                     | -3,9                 |
| Colza (metílico)    | 47,9      | 39.870     | 4,8                                     | -9,0                 |
| Girassol (metílico) | 54,0      | 38.100     | 4,8                                     | -3,0                 |
| Sebo Bovino         | 61,8      | 37.531     | 5,0                                     | 12,8                 |
| Diesel #2           | 47        | 45.343     | 2,7                                     | -33                  |

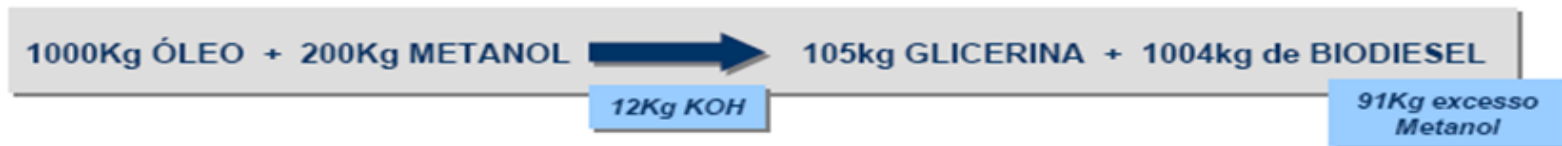
Fonte: Knothe et al – “The Biodiesel Handbook”, 2005



# Comparação entre Rotas Metílica e Etílica

| Propriedades e condições médias       | Rota / Éster metílico            | Rota / Éster etílico            |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Temperatura recomendada de reação (a) | 60 °C                            | 85 °C                           |
| Tempo de reação (a)                   | 45 min                           | 90 min                          |
| Conversão (óleo -> biodiesel) (b)     | 97,5                             | 94,3                            |
| Glicerina no biodiesel (b)            | 0,87                             | 1,4                             |
| Viscosidade (b)                       | 3,9 a 5,6 (mm <sup>2</sup> /seg) | 7,2% superior ao éster metílico |
| % potência em relação ao diesel (b)   | 2,5% menor                       | 4,0% menor                      |
| % consumo em relação ao diesel (b)    | 10% maior                        | 12% maior                       |

## Balanco de Massa – Rota Metílica:

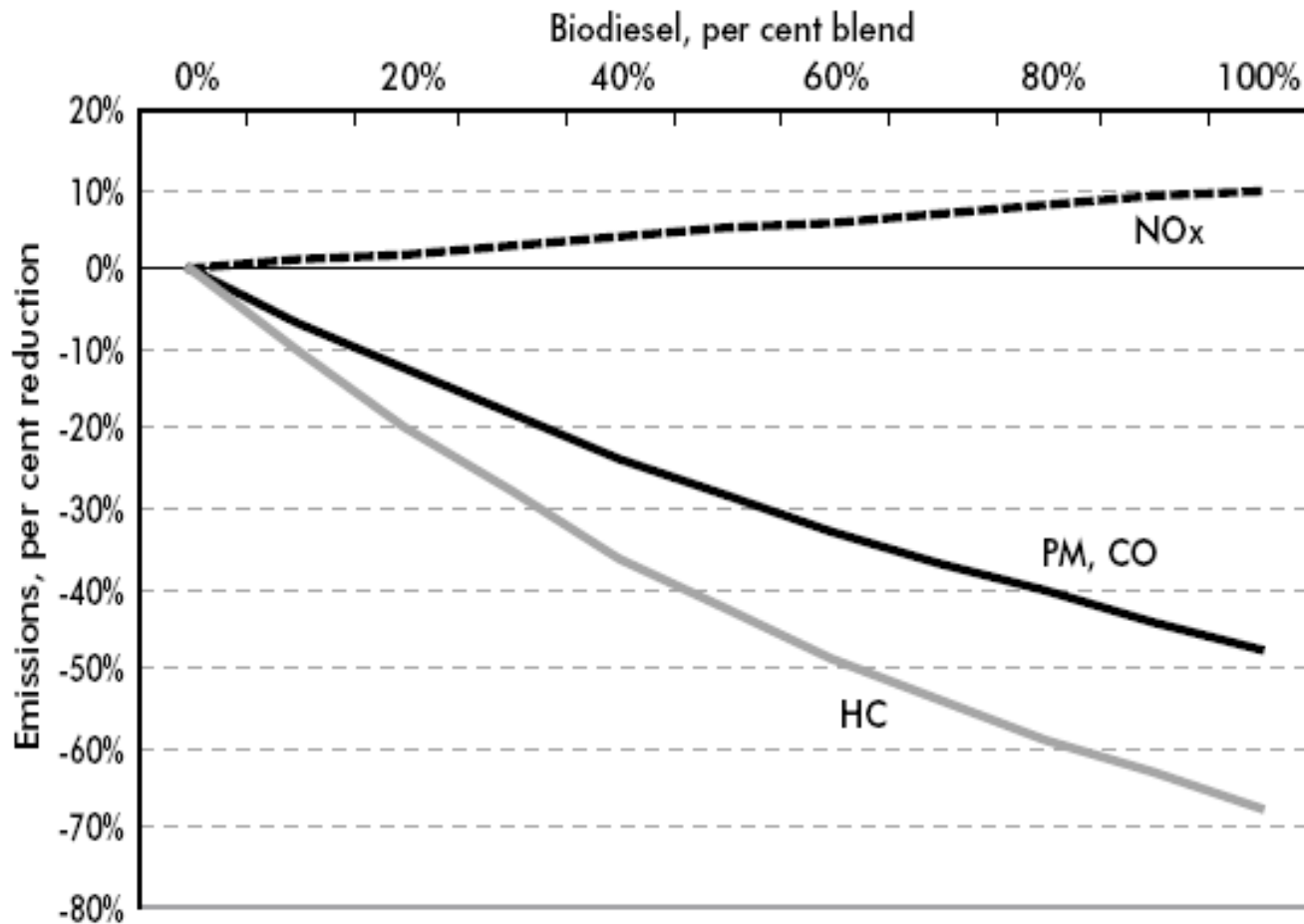


## Balanco de Massa – Rota Etílica:





# Potencial Redução de Emissões de Poluentes com Misturas de Biodiesel com Diesel

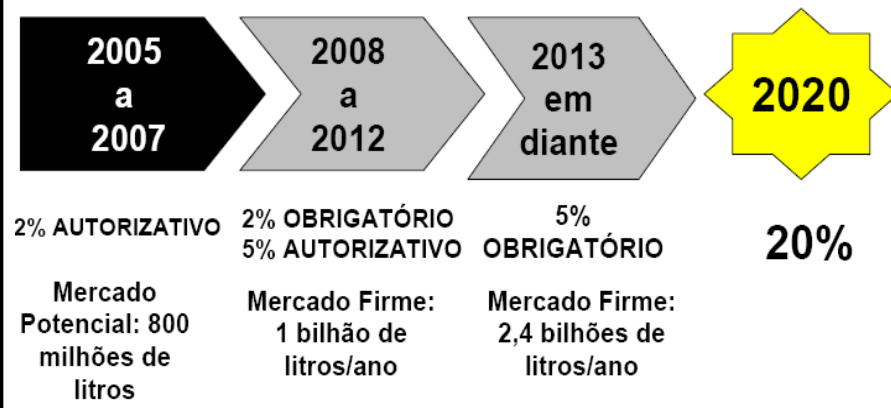




COPPE/UFRJ

# Plano Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)

Lei 11.097/2005: Estabelece percentuais mínimos de mistura de biodiesel e o monitoramento do novo combustível no mercado.



## Produção e Importação de Combustíveis no Brasil (2004)

| Combustível                  | Produção | Importação | Exportação | Importação   | Exportação    |
|------------------------------|----------|------------|------------|--------------|---------------|
|                              | mil m3   | mil m3     | mil m3     | % da demanda | % da produção |
| GASOLINA A                   | 18.583   | -          | 1.960      |              | 11%           |
| DIESEL                       | 38.535   | 2.630      | -          | 6%           |               |
| ÁLCOOL                       | 14.600   | -          | 2.380      |              | 16%           |
| GÁS NATURAL<br>(em mil m³/d) | 36.286   | 22.096     | -          | 38%          |               |

Dependência

Auto-suficiência



# Plano Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB): como ficou (até 2013)

## O nível de mistura efetivado pelo Brasil

O país antecipa os percentuais de mistura de biodiesel ao diesel garantindo um mercado firme de 1+ bilhão de litros/ano (previsto originalmente a partir de 2013)

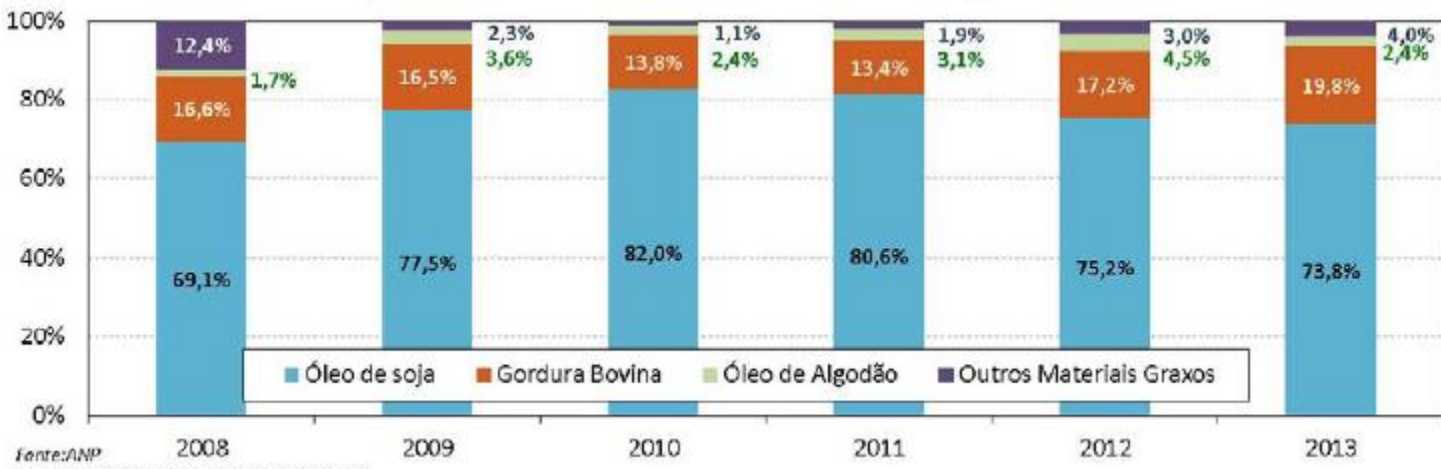






# Insumos e Dinâmica de Preços de Biodiesel no Brasil

COPPE/UFRJ

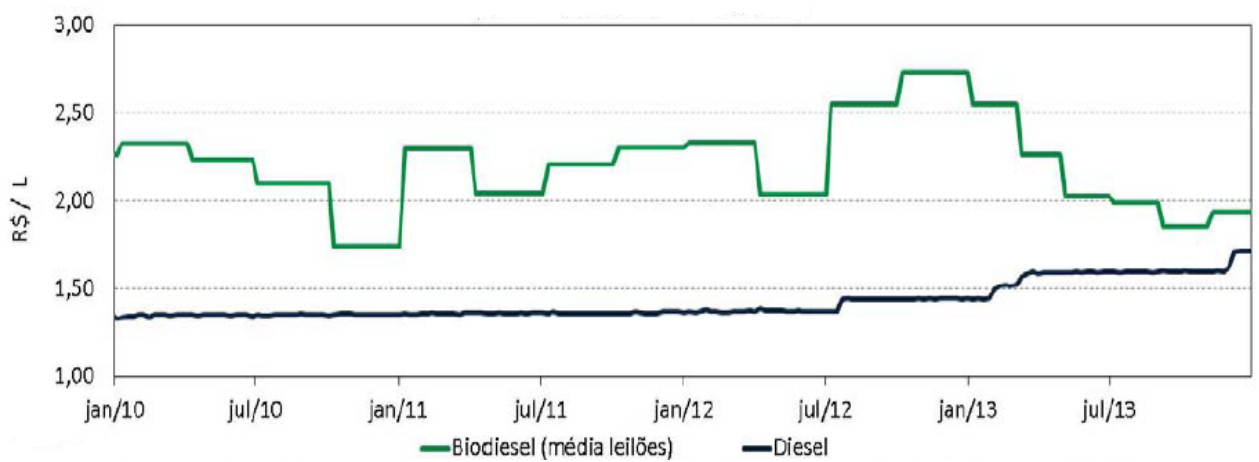


Fonte: ANP  
Elaboração: MME (2013 - média de jan/nov)

Insumos de Biodiesel no Brasil



Preço de Venda no Produtor: Diesel vs. Biodiesel



Fonte: MME (2014)



# **Status e tendências futuras da Bioeletricidade no Brasil**



# Composição Química e Poder Calorífico de Fontes Bioenergéticas

|                                             | Peat    | Wood<br>(saw dust) | Crop residues<br>(sugar cane bagasse) | Municipal solid waste | Energy crops<br>(Eucalyptus) |
|---------------------------------------------|---------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| <b>Proximate Analysis</b>                   |         |                    |                                       |                       |                              |
| Moisture                                    | 70–90   | 7.3                | -                                     | 16–38                 | -                            |
| Ash                                         | -       | 2.6                | 11.3                                  | 11–20                 | 0.52                         |
| Volatile matter                             | 45–75   | 76.2               | -                                     | 67–78                 | -                            |
| Fixed carbon                                | -       | 13.9               | 14.9                                  | 6–12                  | 16.9                         |
| <b>Ultimate Analysis</b>                    |         |                    |                                       |                       |                              |
| C                                           | 45–60   | 46.9               | 44.8                                  | -                     | 48.3                         |
| H                                           | 3.5–6.8 | 5.2                | 5.4                                   | -                     | 5.9                          |
| O                                           | 20–45   | 37.8               | 39.5                                  | -                     | 45.1                         |
| N                                           | 0.75–3  | 0.1                | 0.4                                   | -                     | 0.2                          |
| S                                           | -       | 0.04               | 0.01                                  | -                     | 0.01                         |
| Heating Value,<br>MJ kg <sup>-1</sup> (HHV) | 17–22   | 18.1               | 17.3                                  | 15.9–17.5             | 19.3                         |



# PCI de biomassa em função do PCS e do teor de umidade

| Teor de umidade (%) | PCS = 18 MJ/kg | PCS = 20 MJ/kg | PCS = 22 MJ/kg |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | PCI (MJ/kg)    | PCI (MJ/kg)    | PCI (MJ/kg)    |
| 0                   | 16,79          | 18,79          | 20,79          |
| 5                   | 15,84          | 17,74          | 19,64          |
| 10                  | 14,89          | 16,68          | 18,49          |
| 15                  | 13,94          | 15,64          | 17,34          |
| 20                  | 12,98          | 14,58          | 16,18          |
| 25                  | 12,03          | 13,53          | 15,03          |
| 30                  | 11,08          | 12,48          | 13,88          |
| 35                  | 10,12          | 11,42          | 12,72          |
| 40                  | 9,17           | 10,37          | 11,57          |
| 45                  | 8,22           | 9,32           | 10,42          |
| 50                  | 7,27           | 8,27           | 9,27           |



COPPE/UFRJ

# Empreendimentos termoeletricos utilizando biomassa no Brasil (em 2012)

| Operação                 |            |                  |            |
|--------------------------|------------|------------------|------------|
| Combustível              | Quantidade | Potência (kW)    | %          |
| Licor Negro              | 14         | 1.245.198        | 13,82      |
| Resíduos de Madeira      | 38         | 319.635          | 3,55       |
| Capim Elefante           | 2          | 31.700           | 0,35       |
| Biogás                   | 19         | 77.308           | 0,86       |
| Bagaço de Cana de Açúcar | 349        | 7.271.588        | 80,73      |
| Óleo de Palmiste         | 2          | 4.350            | 0,05       |
| Carvão Vegetal           | 3          | 25.200           | 0,28       |
| Casca de Arroz           | 8          | 32.608           | 0,36       |
| <b>Total</b>             | <b>435</b> | <b>9.007.587</b> | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL, disponível em  
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.asp?Classe=Biomassa>



COPPE/UFRJ

# Empreendimentos termoeletricos utilizando biomassa no Brasil (em 2012)

| Construção               |            |                  |            |
|--------------------------|------------|------------------|------------|
| Combustível              | Quantidade | Potência (kW)    | %          |
| Resíduos de Madeira      | 3          | 43.200           | 3,83       |
| Bagaço de Cana de Açúcar | 19         | 1.025.928        | 91,07      |
| Casca de Arroz           | 1          | 3.825            | 0,34       |
| Capim Elefante           | 3          | 53.600           | 4,76       |
| <b>Total</b>             | <b>26</b>  | <b>1.126.553</b> | <b>100</b> |

| Outorga                  |            |                  |            |
|--------------------------|------------|------------------|------------|
| Combustível              | Quantidade | Potência (kW)    | %          |
| Resíduos de Madeira      | 10         | 105.247          | 4,85       |
| Bagaço de Cana de Açúcar | 32         | 1.674.242        | 77,12      |
| Licor Negro              | 3          | 284.400          | 13,1       |
| Biogás                   | 6          | 42.246           | 1,95       |
| Carvão Vegetal           | 1          | 2.000            | 0,09       |
| Capim Elefante           | 2          | 62.926           | 2,9        |
| <b>Total</b>             | <b>54</b>  | <b>2.171.061</b> | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL, disponível em  
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.asp?Classe=Biomassa>



COPPE/UFRJ

# Geração Específica de Energia Elétrica a partir da Biomassa

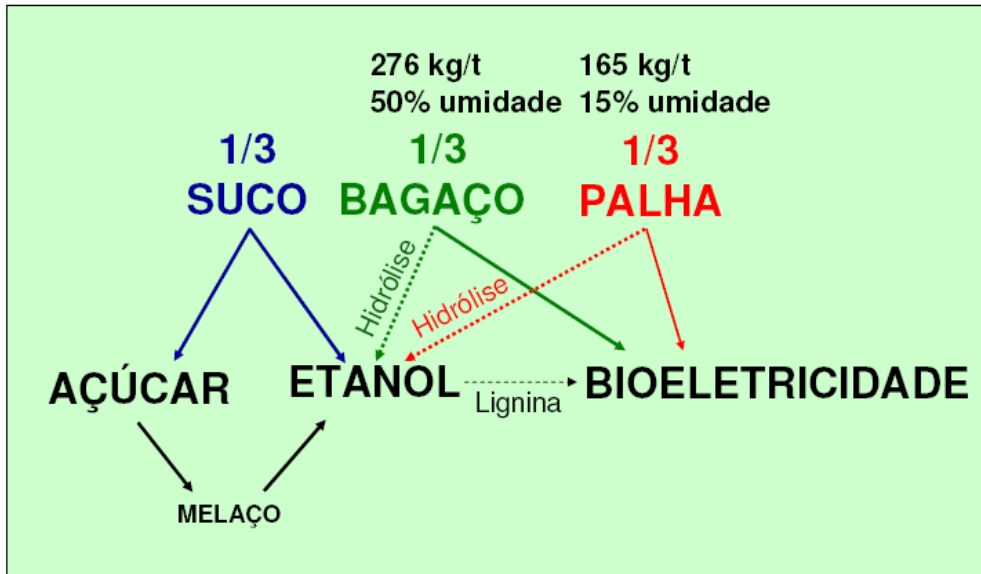
| TECNOLOGIA                                                         | EM COGERAÇÃO<br>(kWh/ton <sub>Biomassa</sub> ) <sup>1</sup> | EM GERAÇÃO PURA<br>(kWh/ton <sub>Biomassa</sub> ) <sup>1</sup> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Ciclo a vapor de baixa eficiência (sistemas atualmente utilizados) | 15                                                          | -                                                              |
| Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão                        | 215                                                         | -                                                              |
| Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração               | 340                                                         | 530                                                            |
| Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa               | 1.050                                                       | 1.150                                                          |

<sup>1</sup>referenciado à biomassa em base seca.



# Onde se Encontra a Energia da Cana-de-Açúcar?

COPPE/UFRJ



Fonte: UNICA

Fonte: EPE



|                             |   |                            |
|-----------------------------|---|----------------------------|
| 153 kg açúcares e álcool    | → | 608 x 10 <sup>3</sup> kcal |
| 275 kg bagaço (50% umidade) | → | 598 x 10 <sup>3</sup> kcal |
| 280 kg palha (50% umidade)  | → | 512 x 10 <sup>3</sup> kcal |

1 ton cana  
1.718 x 10<sup>3</sup> kcal

1 barril de petróleo  
1.386 x 10<sup>3</sup> kcal



1 ton cana-de-açúcar

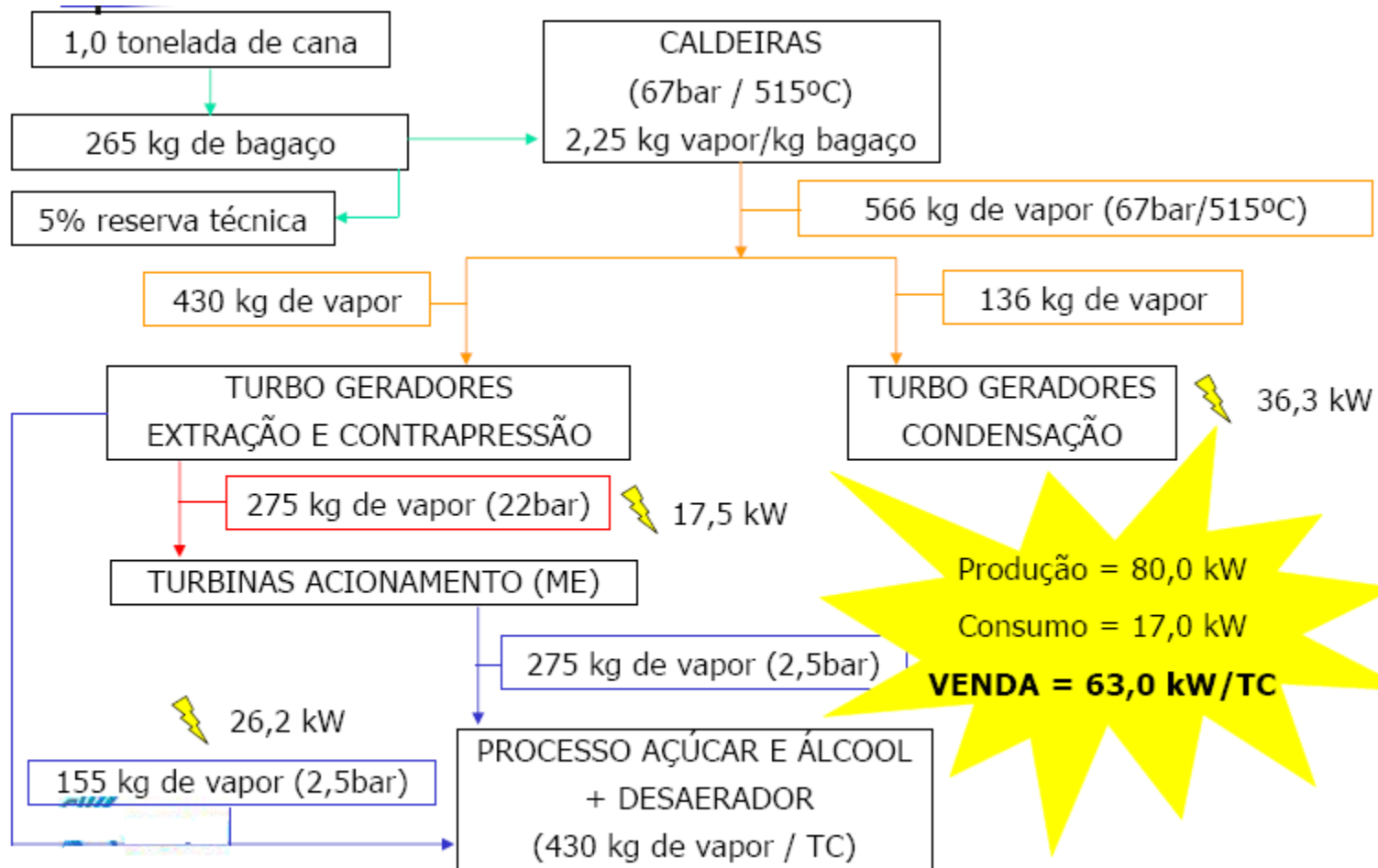
=

1,24 barril de petróleo





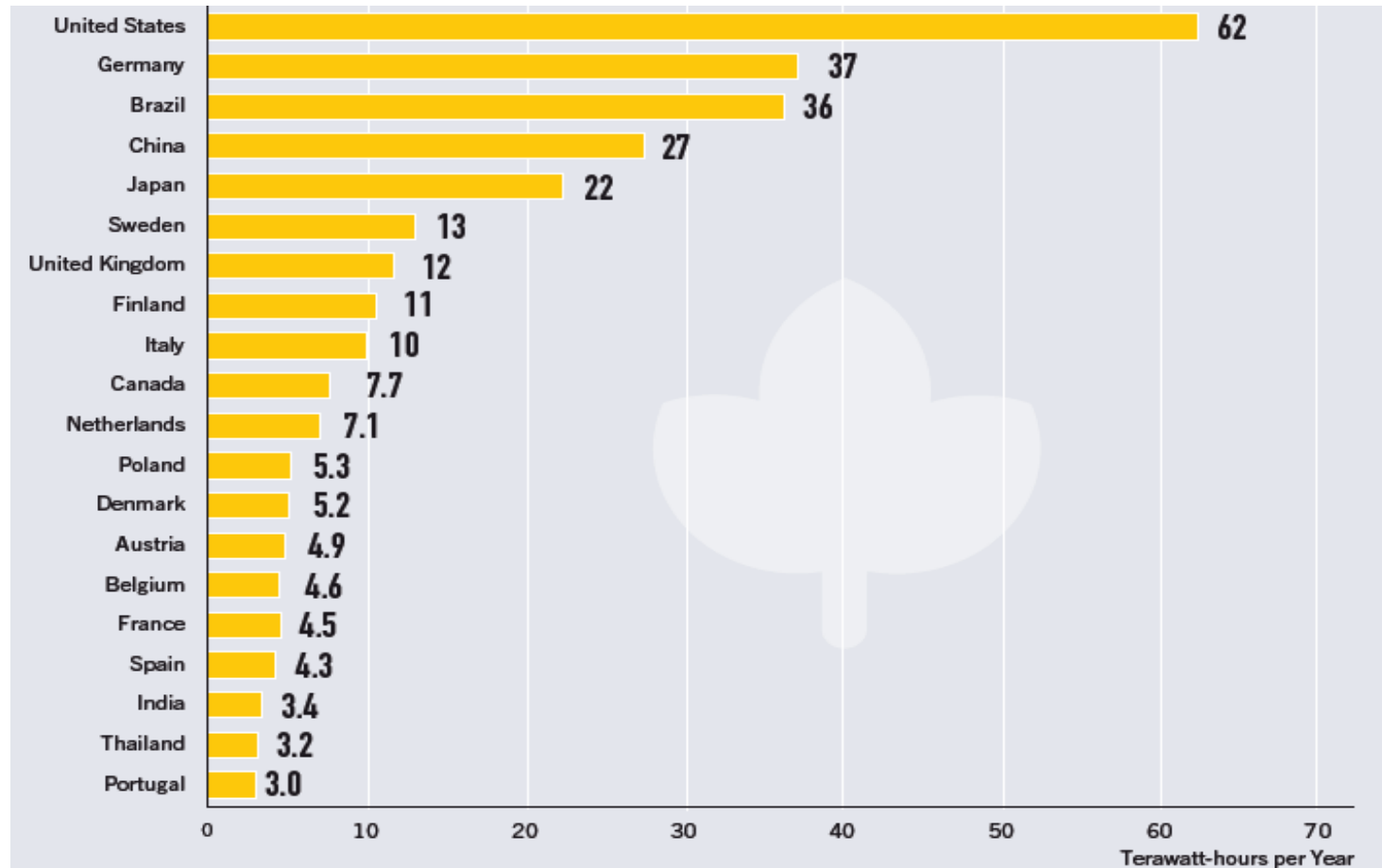
# Usinas Atuais Otimizadas (p/ Venda de Energia Elétrica)





COPPE/UFRJ

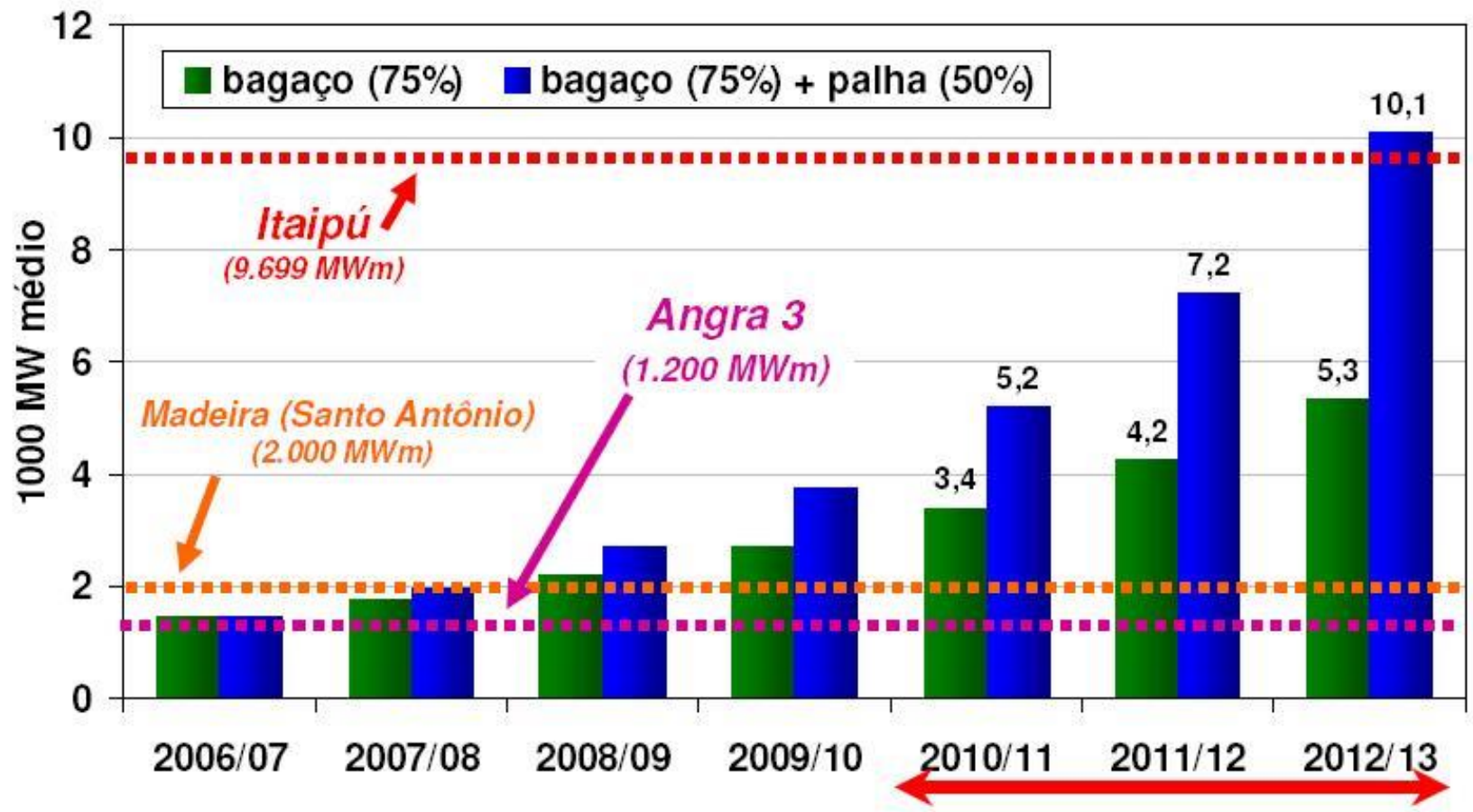
# Bioeletricidade: Principais Geradores (média 2010-2012)



- Capacidade Instalada Mundial de Sistemas de Bioeletricidade: ~ 83 GW
- Em 2012, cerca de 350 TWh de eletricidade foi gerado no globo



# Potencial de geração de energia a partir do bagaço e palha da cana

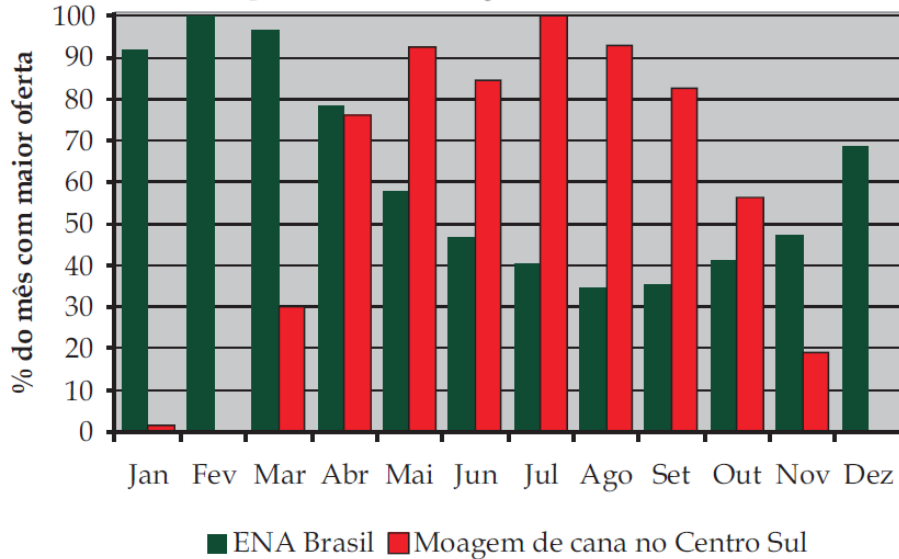




COPPE/UF RJ

# Complementaridade: bioeletricidade sucroenergética e o regime de chuvas

Brasil: Comparação da ENA e Moagem de Cana no Sudeste. 2008..



ENA = ciclo anual de afluições

## Complementaridade da Bioeletricidade Sucroenergética ao Sistema Elétrico (em GWméd)

