
Energia do Futuro

Desenvolvimento Sustentável

FA014/AS053



Arnaldo Walter (awalter@fem.unicamp.br)
FEM / Unicamp



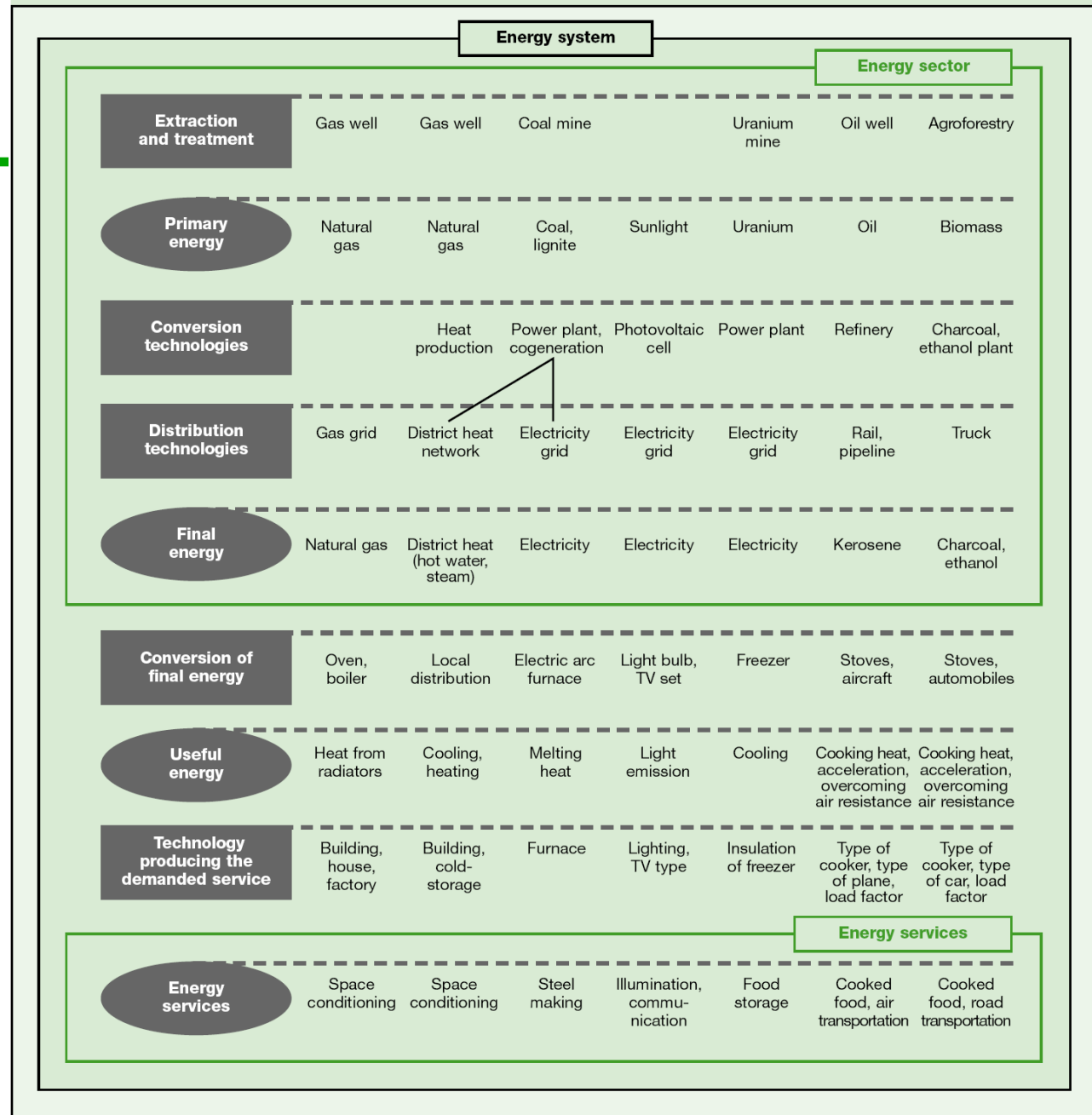
- Serviços energéticos;
- Matriz energética mundial e matriz de geração elétrica;
- Emissões de GEE nas cadeias energéticas e alternativas para a redução;
- Energia e qualidade de vida;
- Desafios para a redução das emissões de GEE;
- Cenários;
- Conclusões.

Energia, para que?

- O consumo de energia está associado à aspiração da satisfação de serviços energéticos.
- Serviços energéticos são serviços associados à produção (e.g. produzir aço), à mobilidade (e.g. deslocar pessoas), ao bem estar (e.g. usufruir equipamento de ar condicionado), à segurança (e.g. iluminação), etc., que requerem uma fonte de energia (e.g. carvão mineral, óleo diesel, eletricidade, etc.).
- Nesse sentido, a demanda de energia é uma demanda derivada.

Serviços energéticos

FIGURE 6.1. ENERGY CONVERSION STEPS, TYPES OF ENERGY, AND ENERGY SERVICES: POTENTIALS FOR ENERGY EFFICIENCY



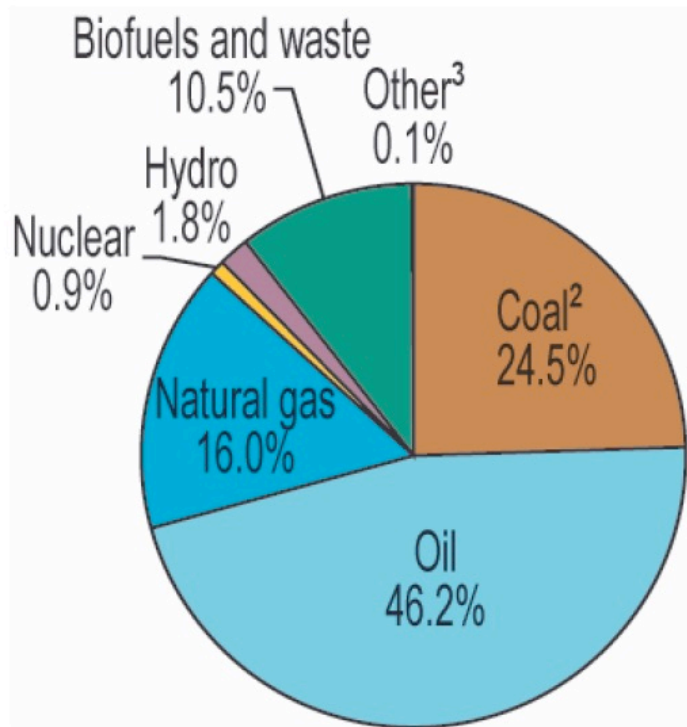
Fonte: World Energy Assessment (2000)

A matriz energética mundial (1)

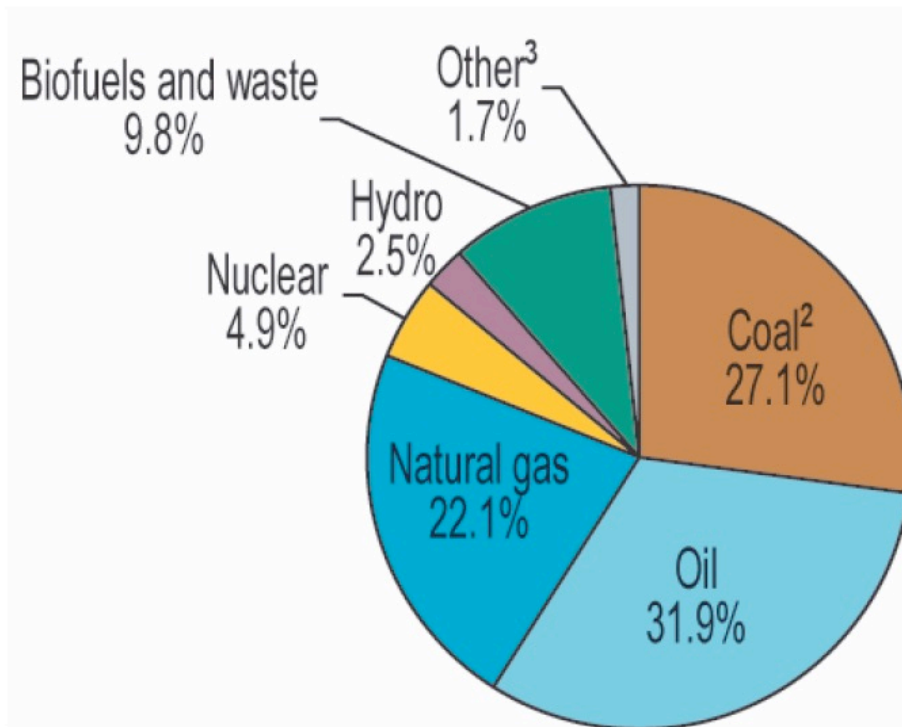
1973

Fonte: IEA (2018)

2016



6 101 Mtoe

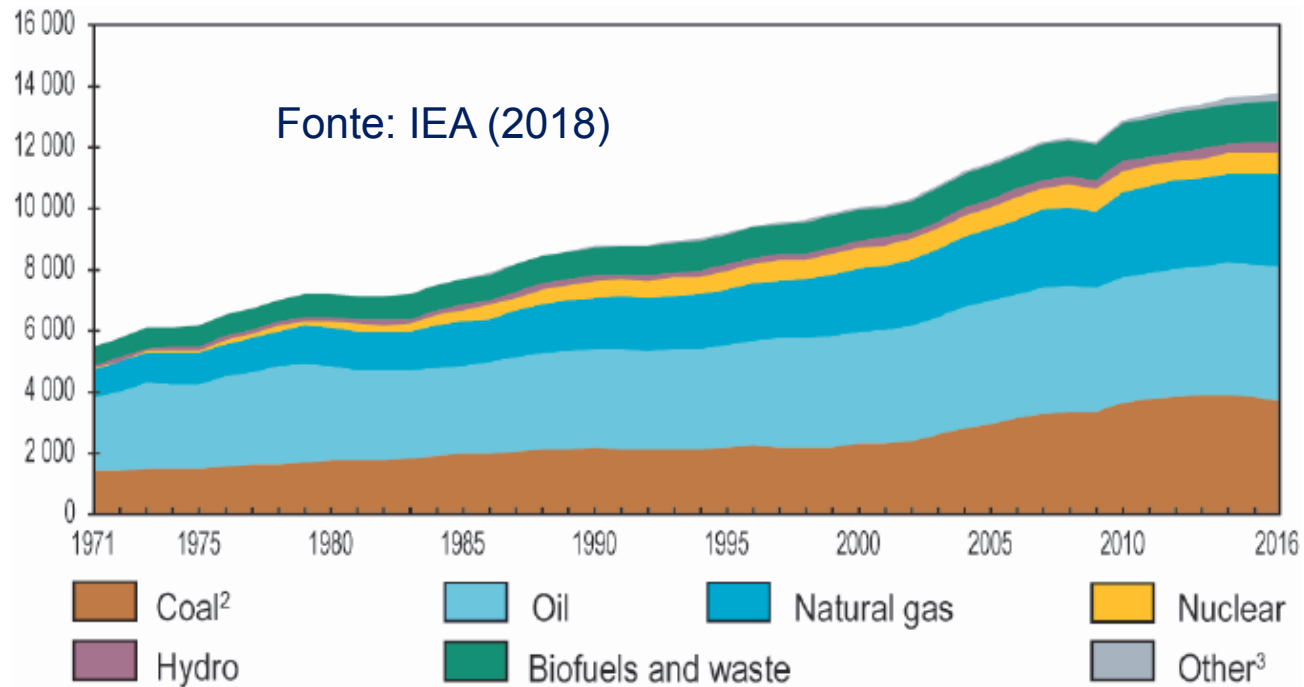


13 761 Mtoe

- A figura mostra a evolução do Total Primary Energy Supply (TPES) em 43 anos. Como pode ser a matriz energética em 2060?

A matriz energética mundial (2)

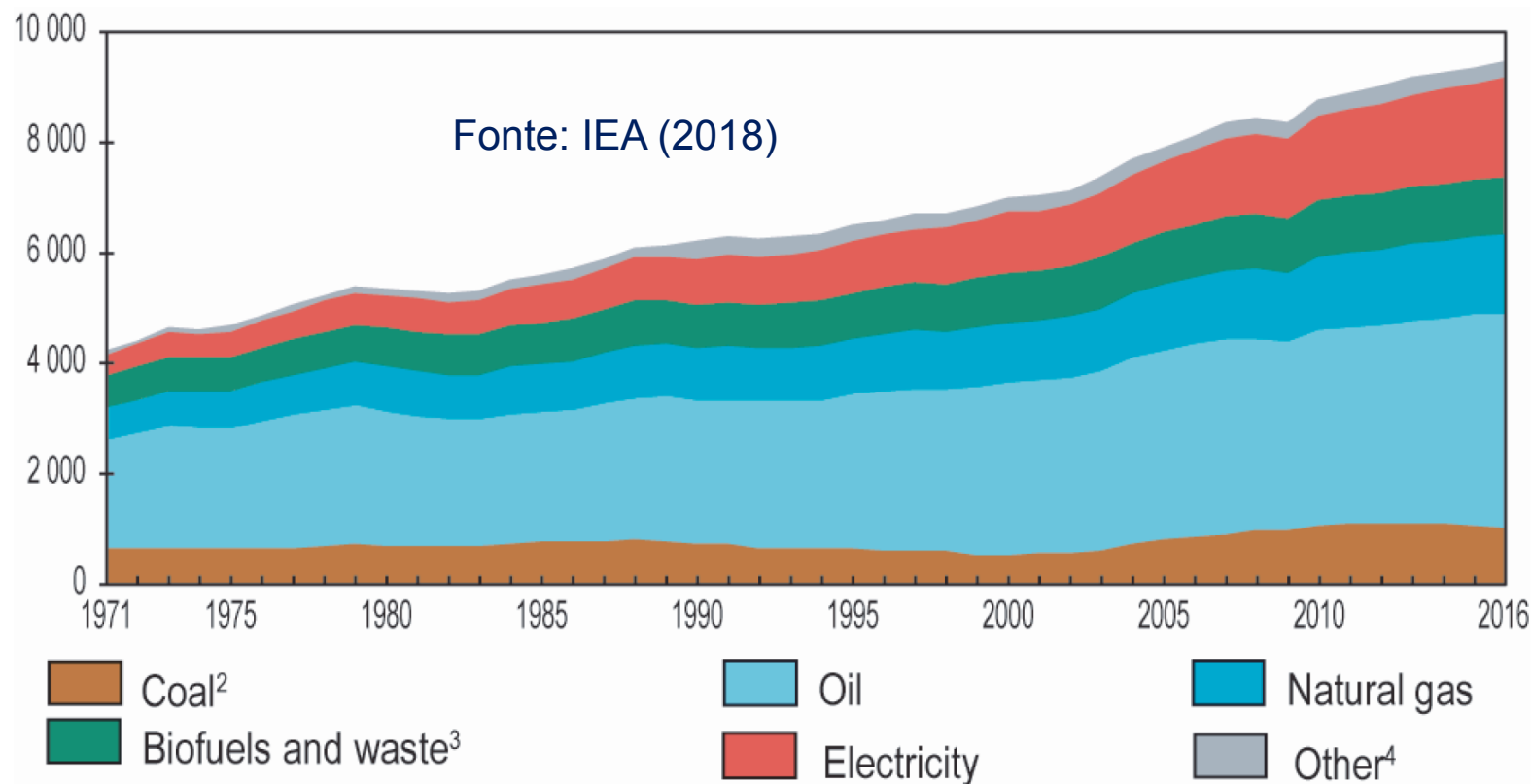
World¹ TPES from 1971 to 2016 by fuel (Mtoe)



- O que mudou significativamente em mais de 40 anos?
- E por que mudaria significativamente nos próximos 40-50 anos?

O consumo mundial de energia

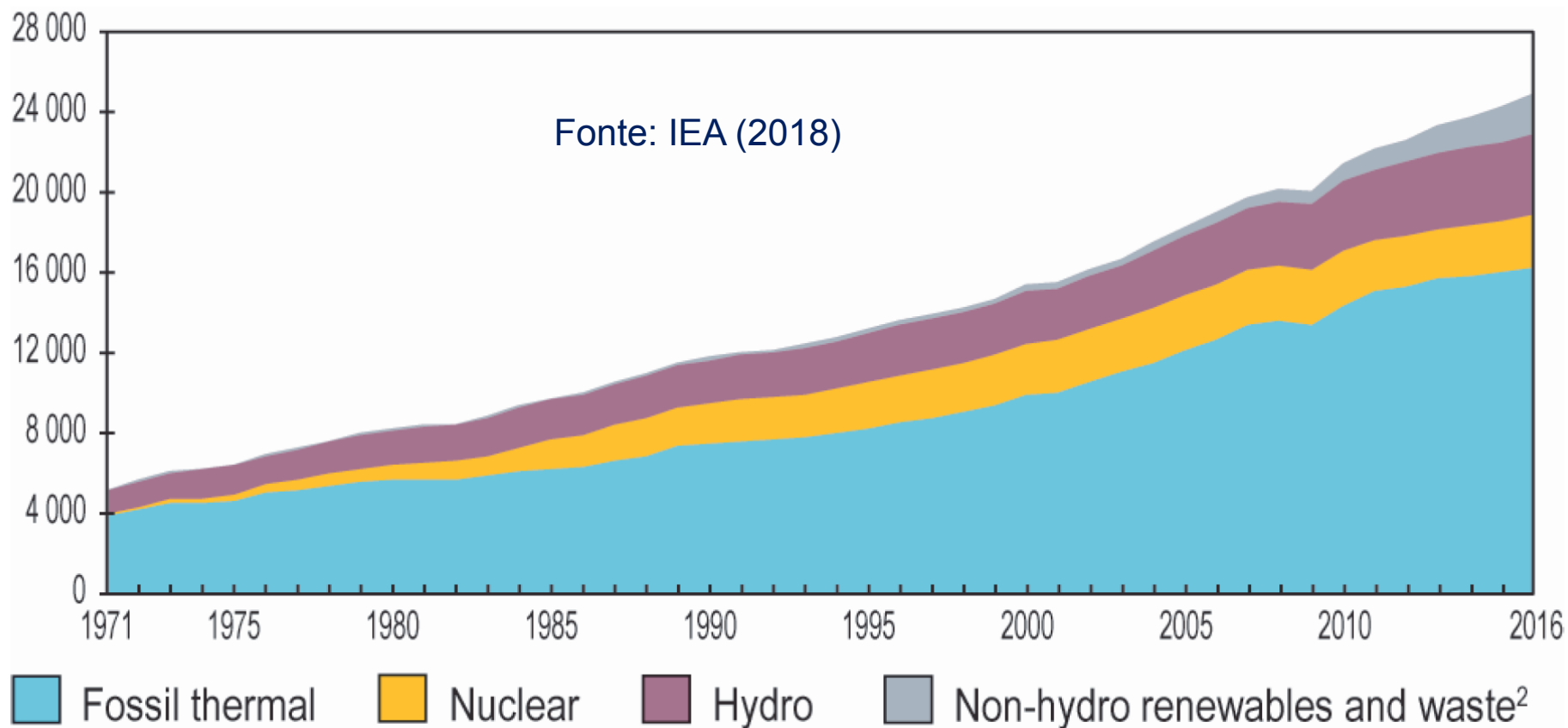
World¹ TFC from 1971 to 2016 by fuel (Mtoe)



- A relação TFC/TPES é próxima a 70%, o que indica a eficiência do sistema energético na disponibilização de energia para o consumo.

A matriz elétrica mundial

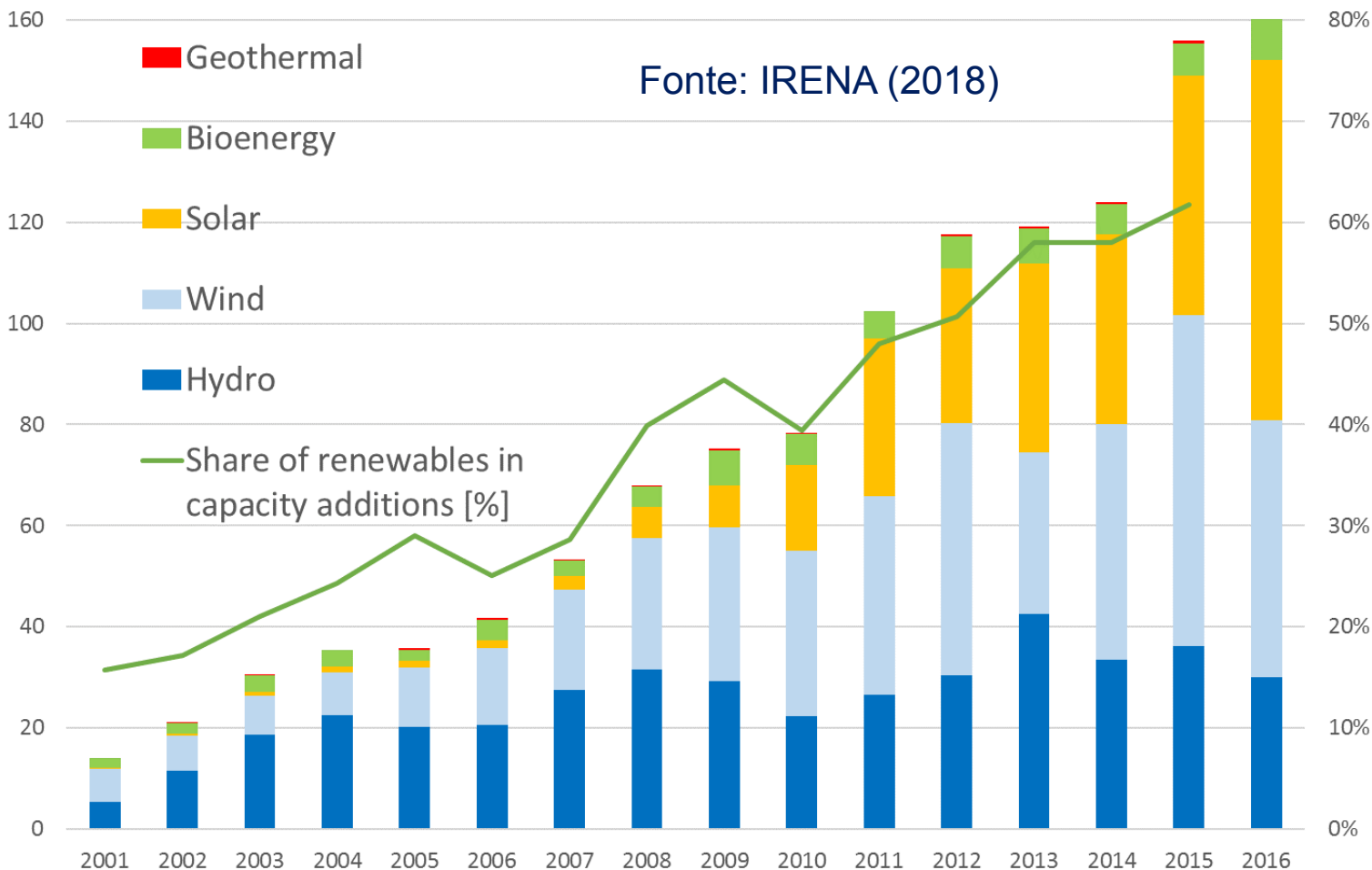
World electricity generation¹ from 1971 to 2016 by fuel (TWh)



- Não tem havido mudança significativa nas últimas décadas?

O que há de novo, recentemente

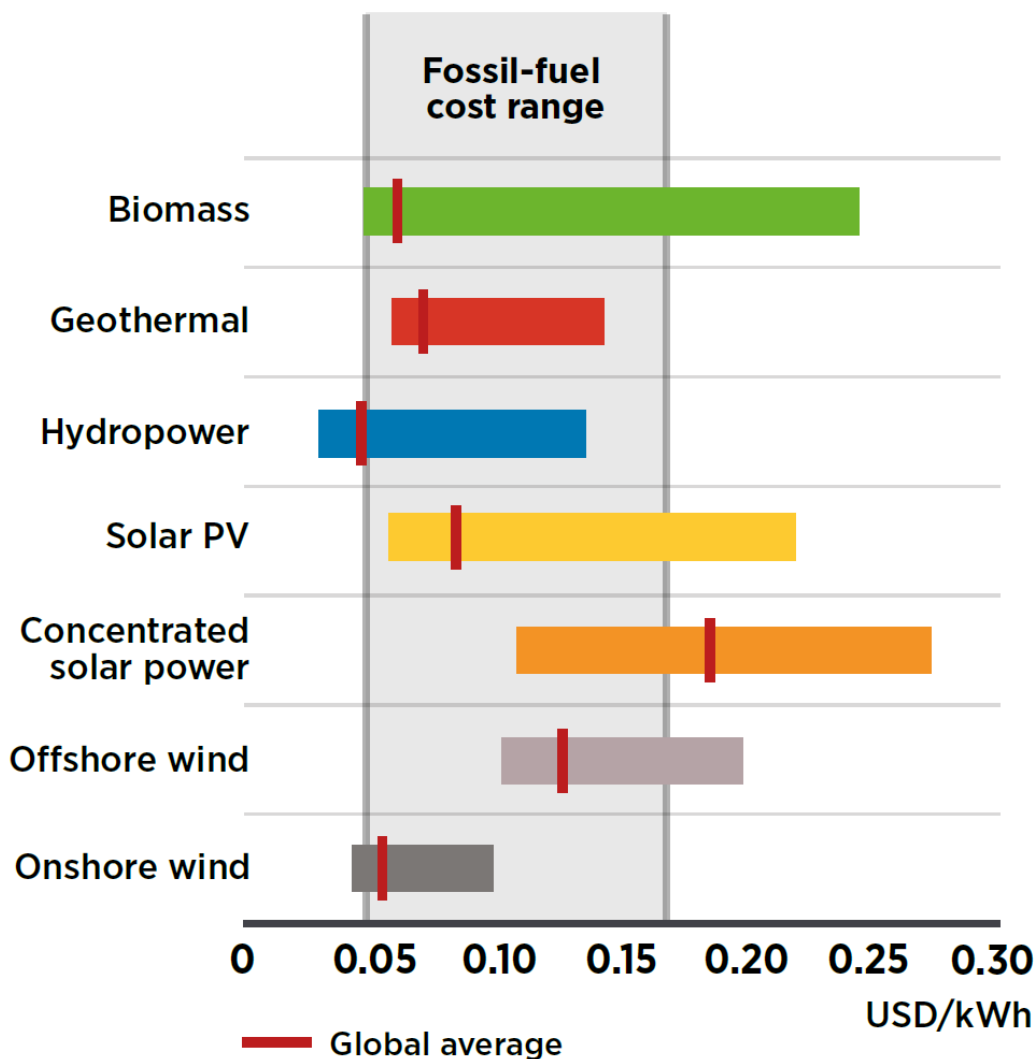
Capacity additions (GW)



Em 2017, 311 GW de geração renovável foram instalados.

Desde 2012, mais de 50% da nova capacidade instalada é renovável.

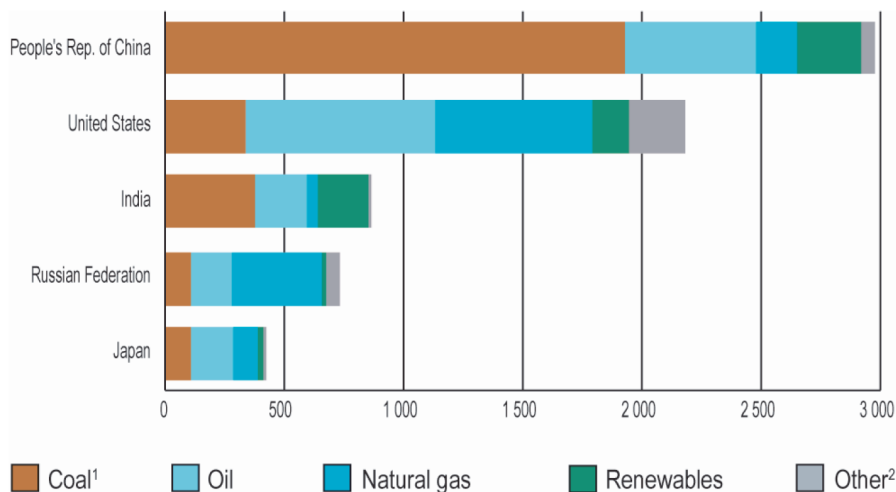
Por que isso tem acontecido?



- A figura ao lado mostra a faixa de custos de geração de eletricidade (novos empreendimentos) em 2018.
- A competitividade deve-se à queda dos custos de capital, por causa do aprendizado tecnológico.
- Mas, é preciso lembrar que, por enquanto, os melhores locais para novos empreendimentos estão sendo explorados.

O consumo mundial de energia

TPES by energy source (Mtoe)

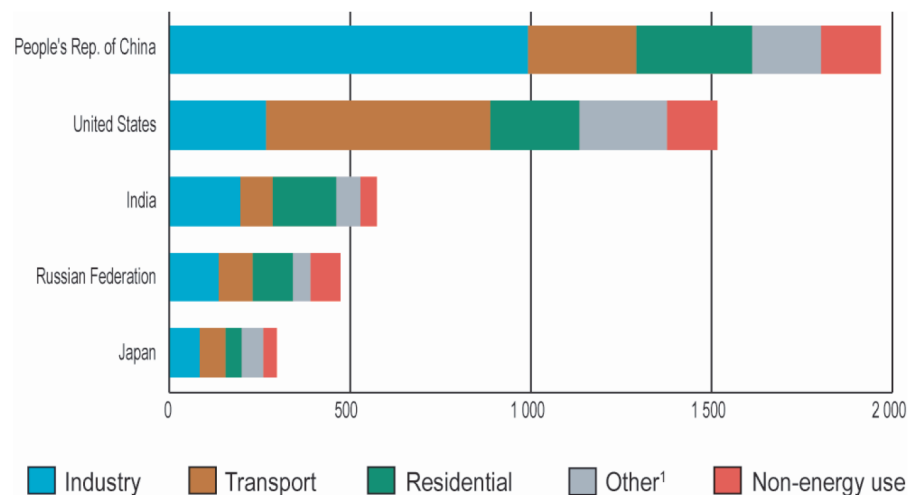


- Os mesmos cinco países também consomem mais de 50% da energia consumida por ano; os dois primeiros consomem pouco mais de 36%.

- Mais de 50% do suprimento de energia está concentrado em cinco países; os dois maiores, respondem por quase 38%.

Fonte: IEA (2018)

TFC by sector (Mtoe)



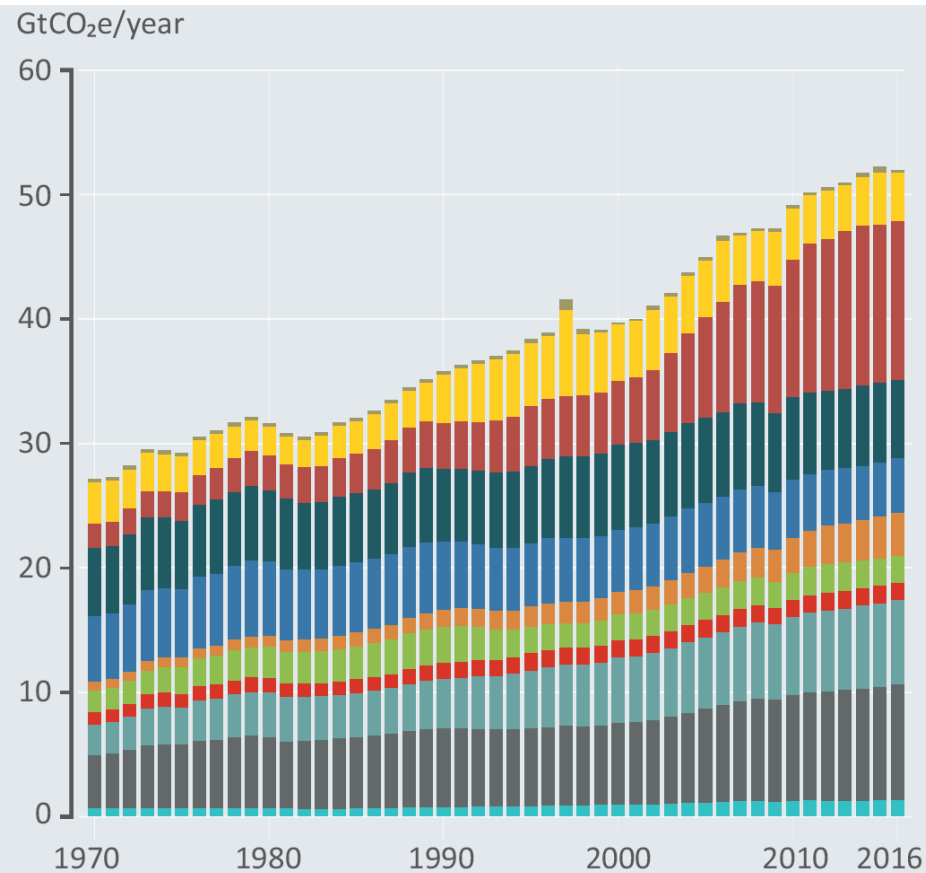


UNICAMP

Evolução das emissões (UNEP, 2017)



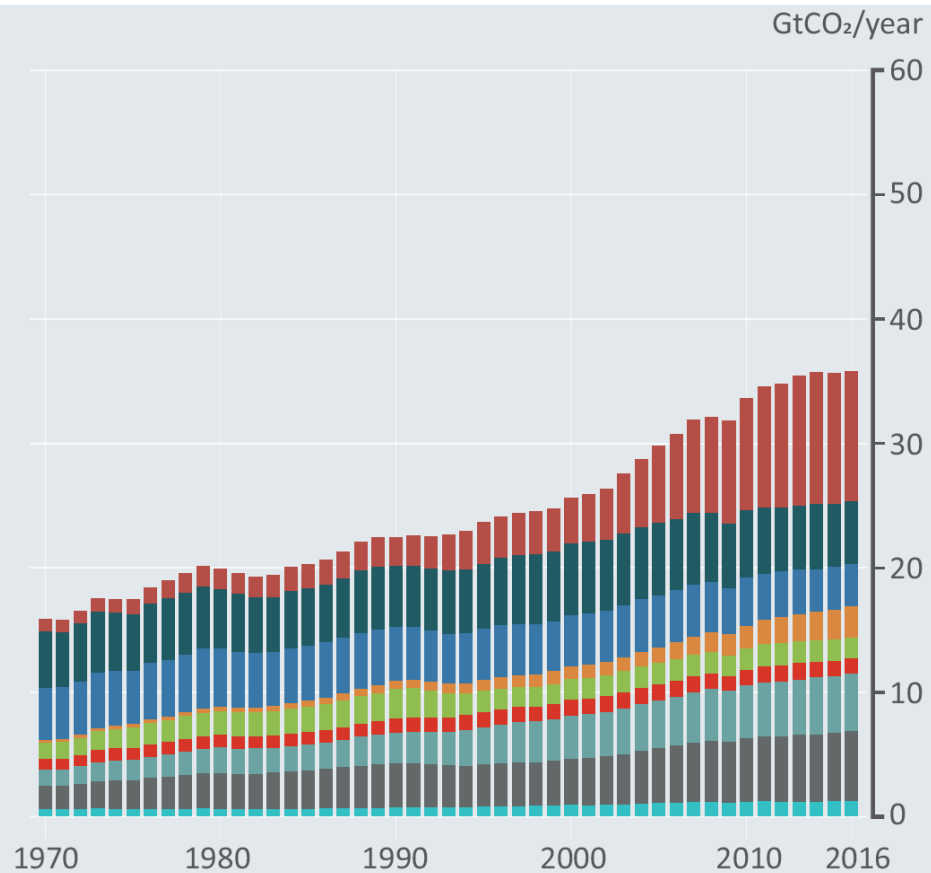
Figure 2.1.a: Global greenhouse gas emissions for top six emitting countries and regions (excluding land use, land-use change and forestry), international transport emissions, and land use, land-use change and forestry emissions.



Land-use change emissions (net CO₂)
Land-use change fires (CH₄, N₂O)

China
USA
EU-28
India

Figure 2.1.b: Global carbon dioxide emissions per region from fossil fuel use, cement production and other processes, and from international transport.



Russian Federation
Japan
Other G20 countries
Other countries
International transport

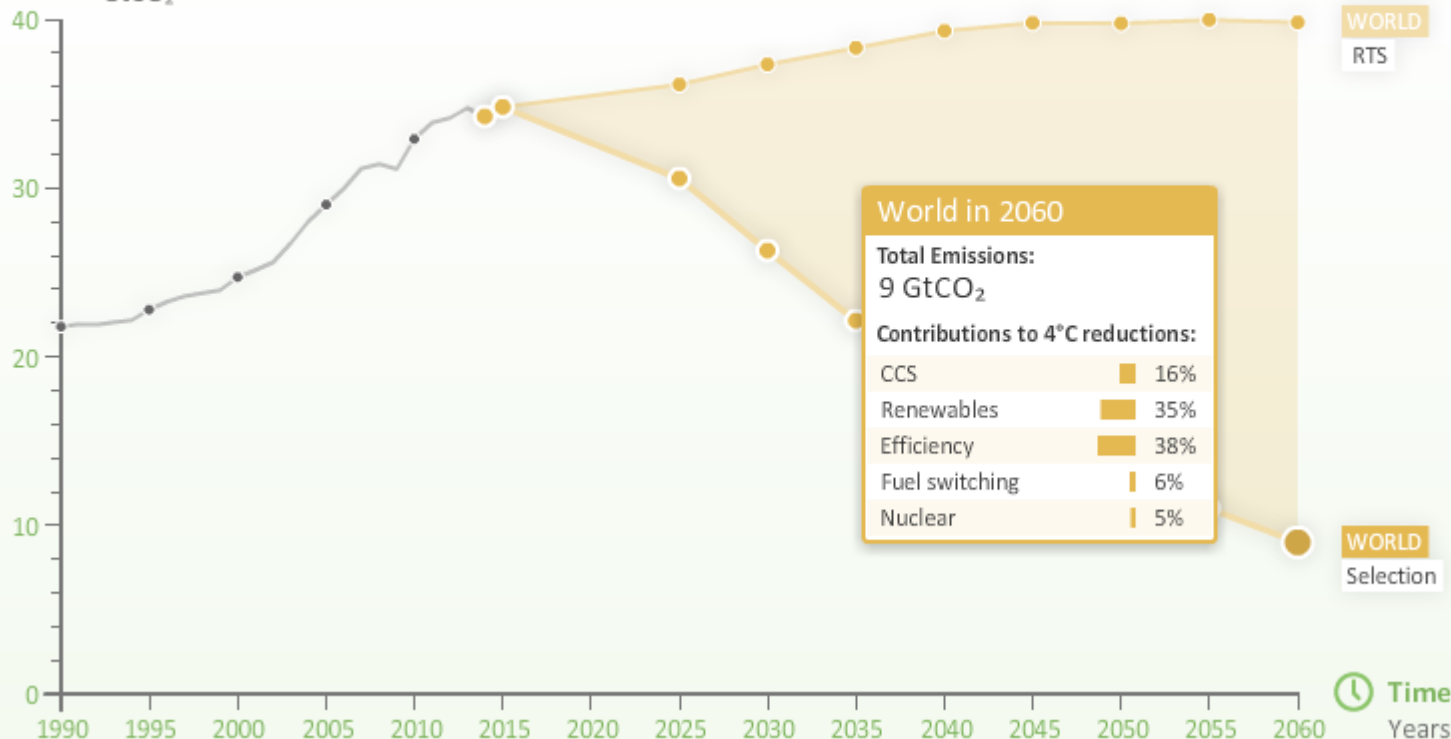
Redução das emissões – RTS => 2 DS / 40 GtCO₂ => 9 GtCO₂

Source: <http://www.iea.org/etp/explore/>

Emissions Reductions

Energy Flows

Emissions
GtCO₂



Regions

- ☒ World
- ☐ Mexico
- ☐ USA
- ☐ China
- ☐ ASEAN
- ☐ India
- ☐ Brazil
- ☐ South Africa

Technology

Sector

- ☒ CCS
- ☒ Renewables
- ☒ Efficiency
- ☒ Fuel switching
- ☒ Nuclear

Scenarios

- ☒ RTS – 2DS
- ☐ 2DS – B2DS
- ☐ RTS – B2DS

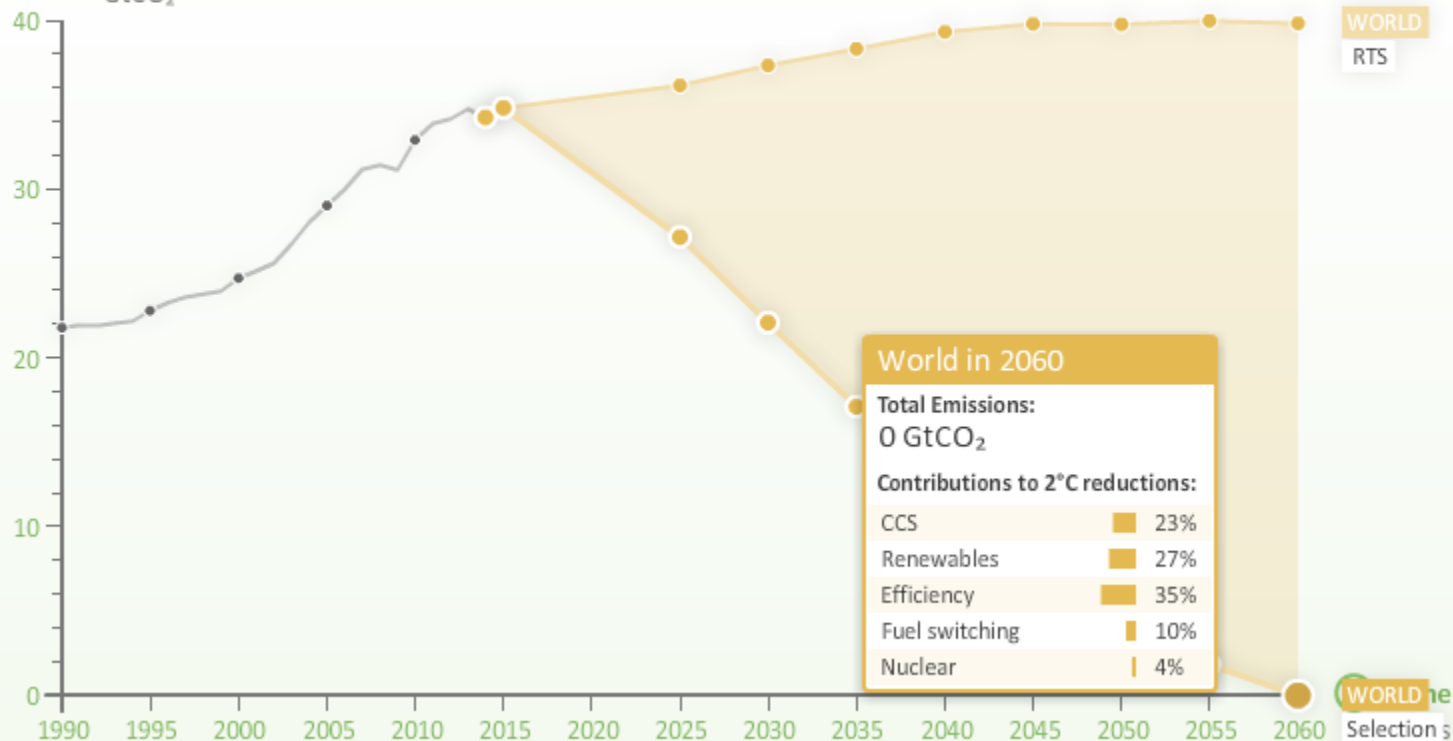
Redução das emissões – RTS => 2 BDS / 40 GtCO₂ => 0 GtCO₂

Source: <http://www.iea.org/etp/explore/>

Emissions Reductions

Energy Flows

Emissions
GtCO₂



Regions

- ☒ World
- ☐ Mexico
- ☐ USA
- ☐ China
- ☐ ASEAN
- ☐ India
- ☐ Brazil
- ☐ South Africa

Technology

- ☒ CCS
- ☒ Renewables
- ☒ Efficiency
- ☒ Fuel switching
- ☒ Nuclear

Sector

Scenarios

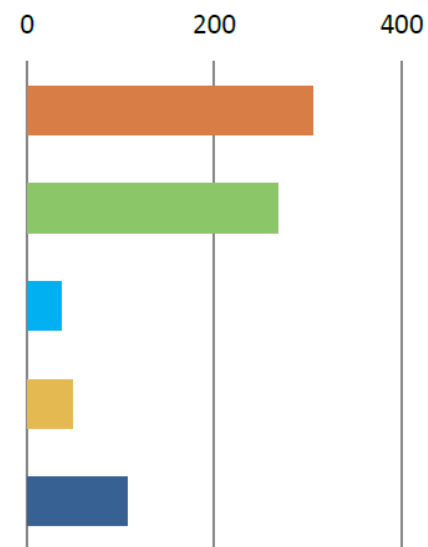
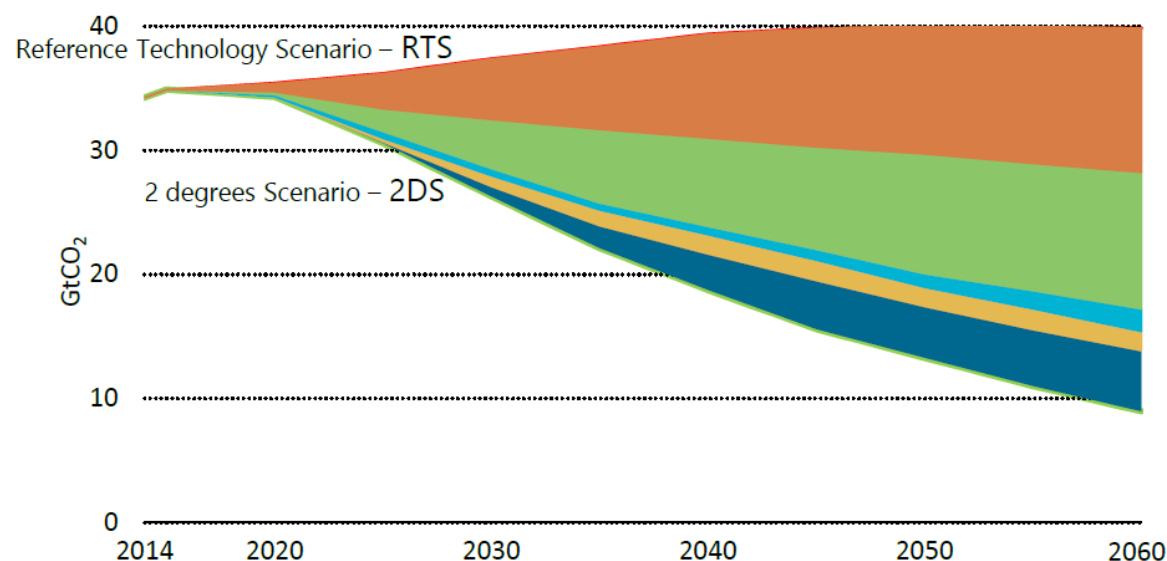
- ☐ RTS – 2DS
- ☐ 2DS – B2DS
- ☒ RTS – B2DS

Redução das emissões – IEA (2018) (1)

Technology area contribution to global cumulative CO₂ reductions

Global CO₂ reductions by technology area

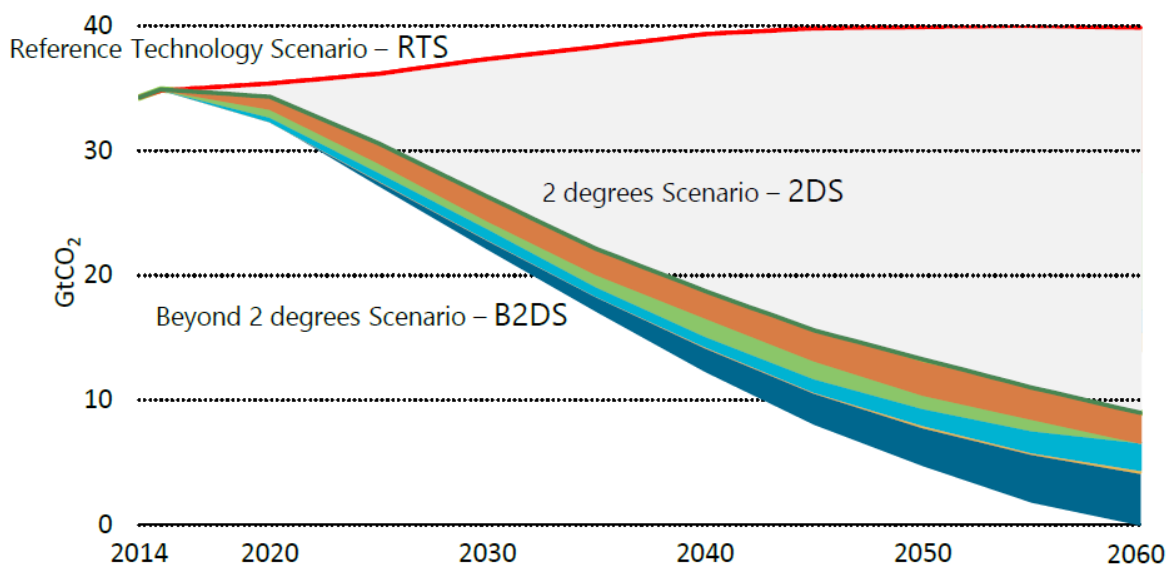
Gt CO₂ cumulative reductions in 2060



Redução das emissões – IEA (2018) (2)

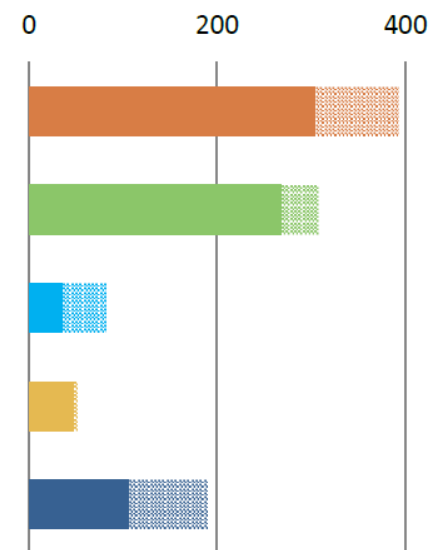
Technology area contribution to global cumulative CO₂ reductions

Global CO₂ reductions by technology area



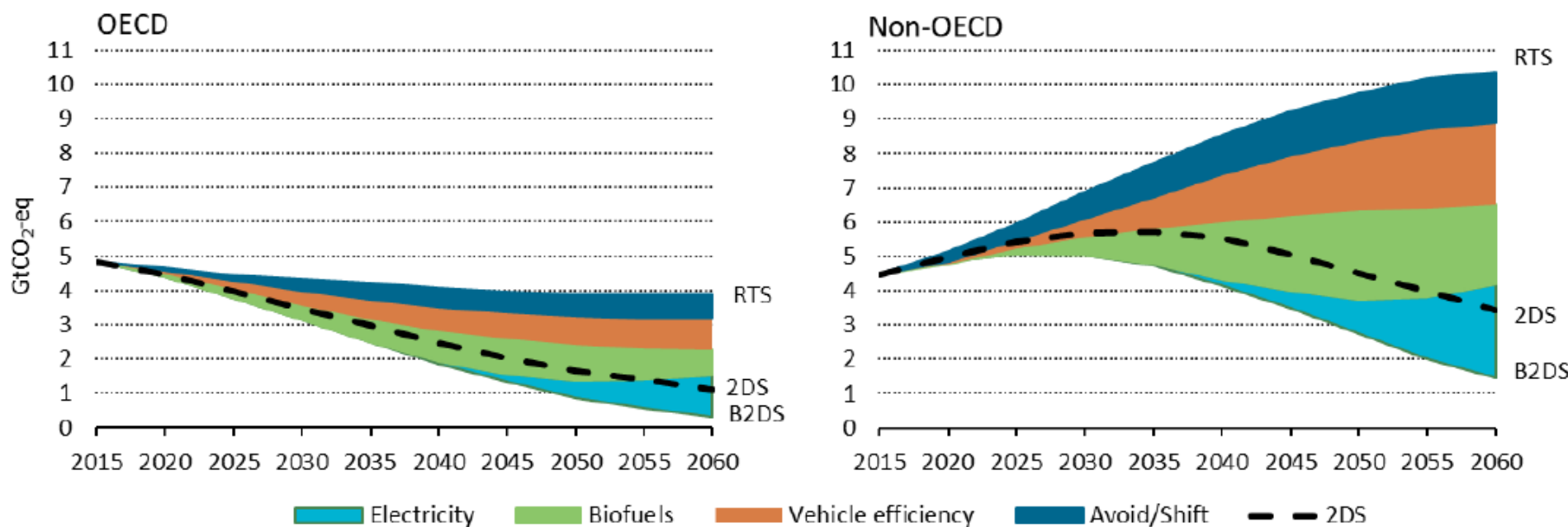
- Efficiency 34%
- Renewables 15%
- Fuel switching 18%
- Nuclear 1%
- CCS 32%

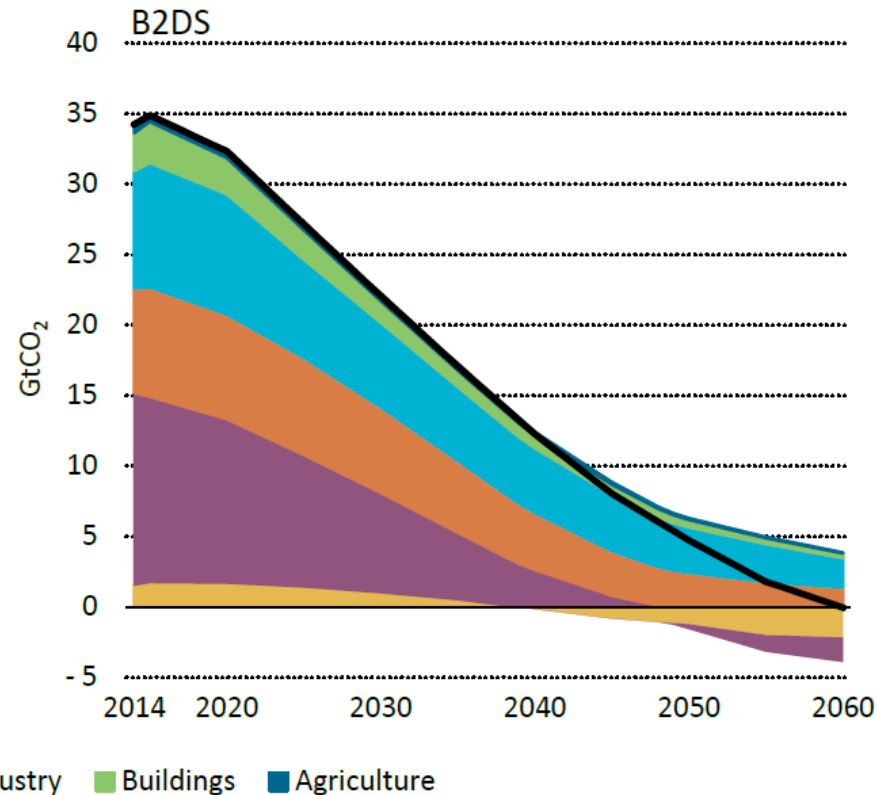
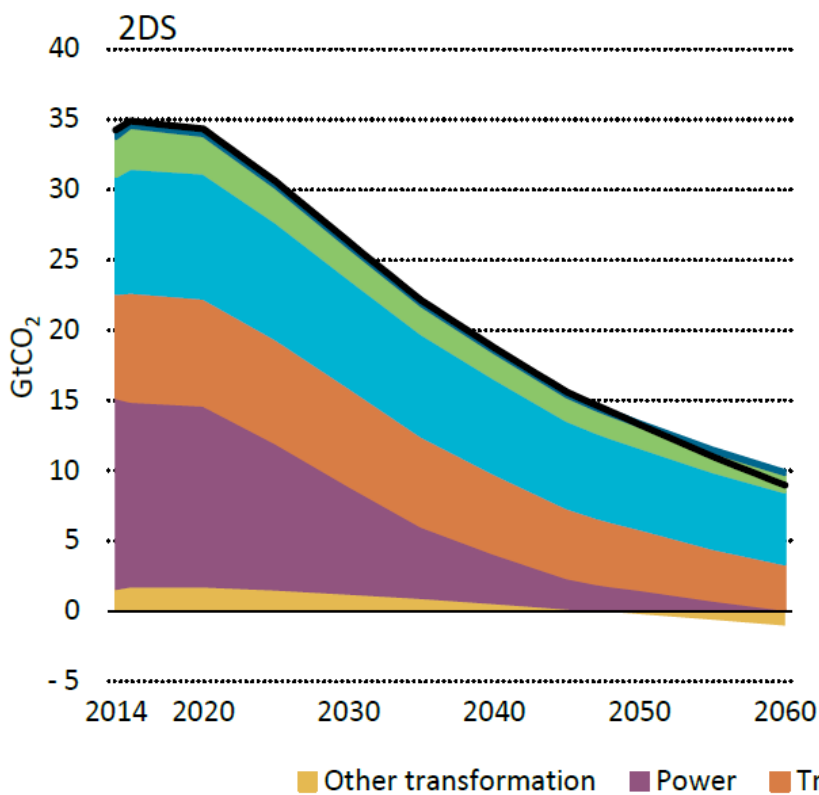
Gt CO₂ cumulative reductions in 2060



Redução das emissões – IEA (2018) (3)

- No setor de transportes as emissões atuais são estimadas em 9,5 GtCO₂/ano, i.e. 28% das emissões associadas à energia.
- A contribuição dos biocombustíveis seria equivalente à dos VEs no fim do período projetado, mas maiores consideradas o acumulado.

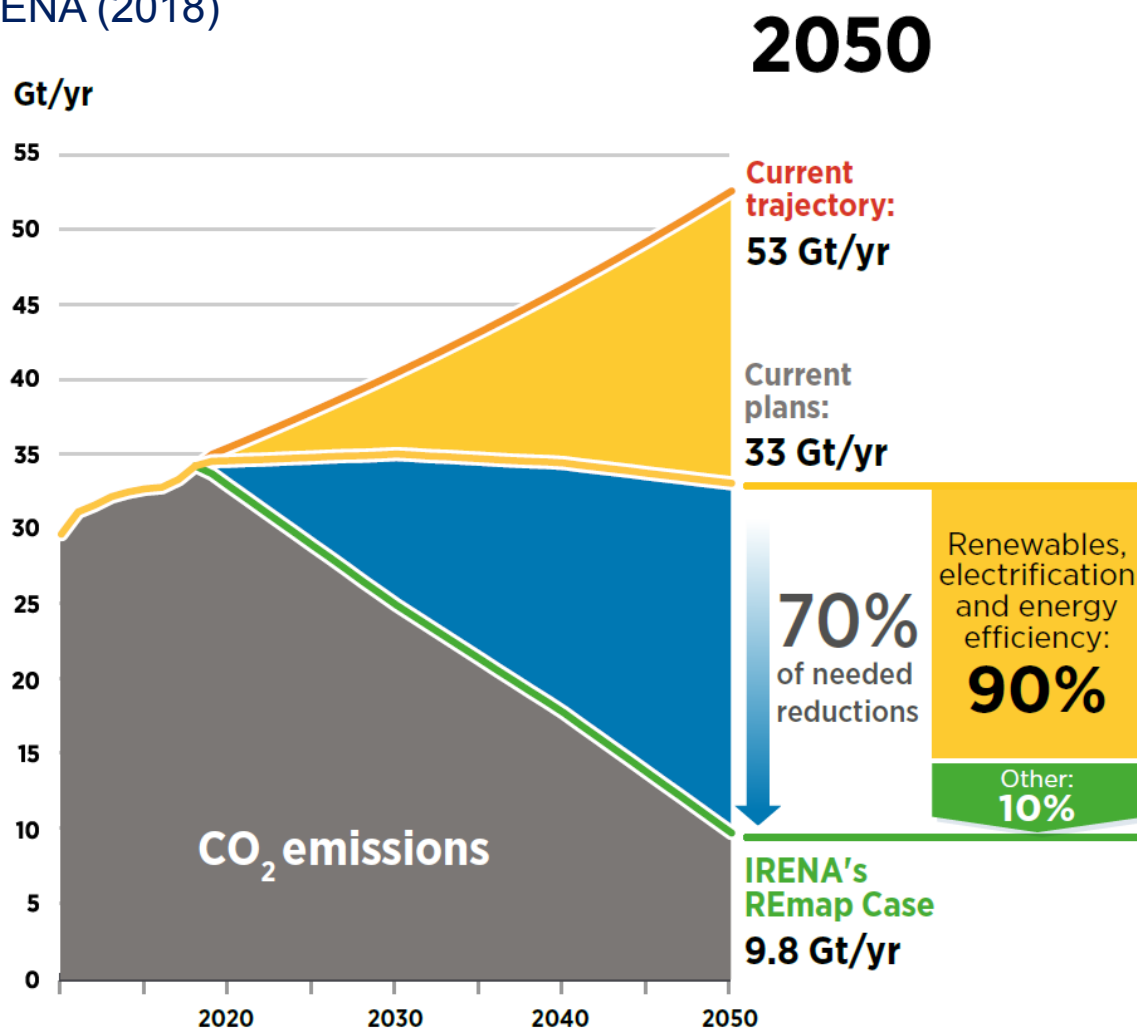




- As emissões associadas à geração de eletricidade terão que ser nulas, ou até mesmo negativas, em 2060 (descarbonização da geração).

A visão da IRENA para 2050

Fonte: IRENA (2018)

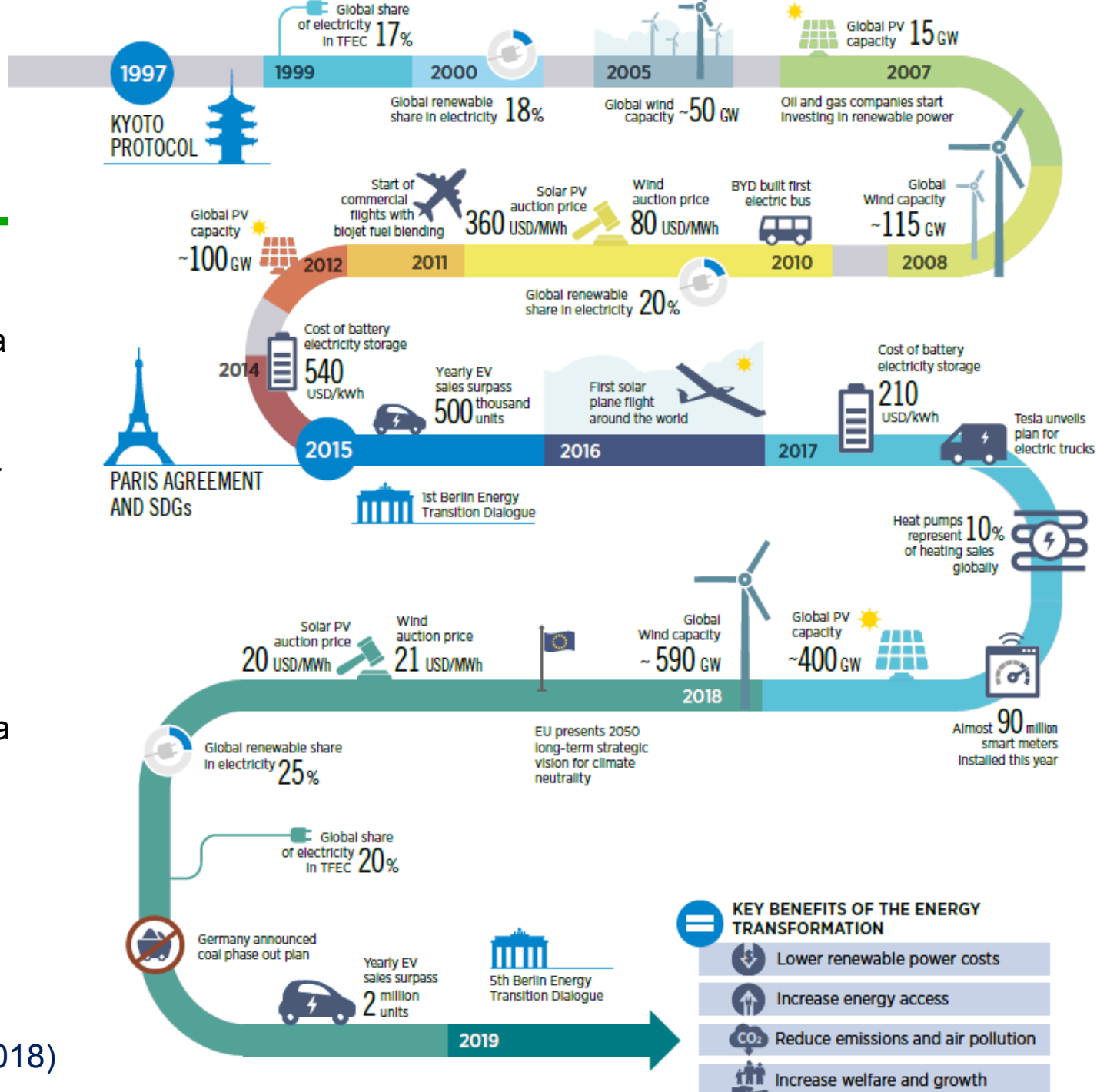


Gt/yr = gigatonnes per year

- A figura ao lado mostra a esperada redução das emissões de GEEs nas cadeias energéticas, para que seja possível, em 2050, estar no caminho que levará 2°C no fim do século.
- O que é destacada é a contribuição associada às fontes renováveis e ao aumento da eficiência energética.

A visão da IRENA sobre a evolução (1)

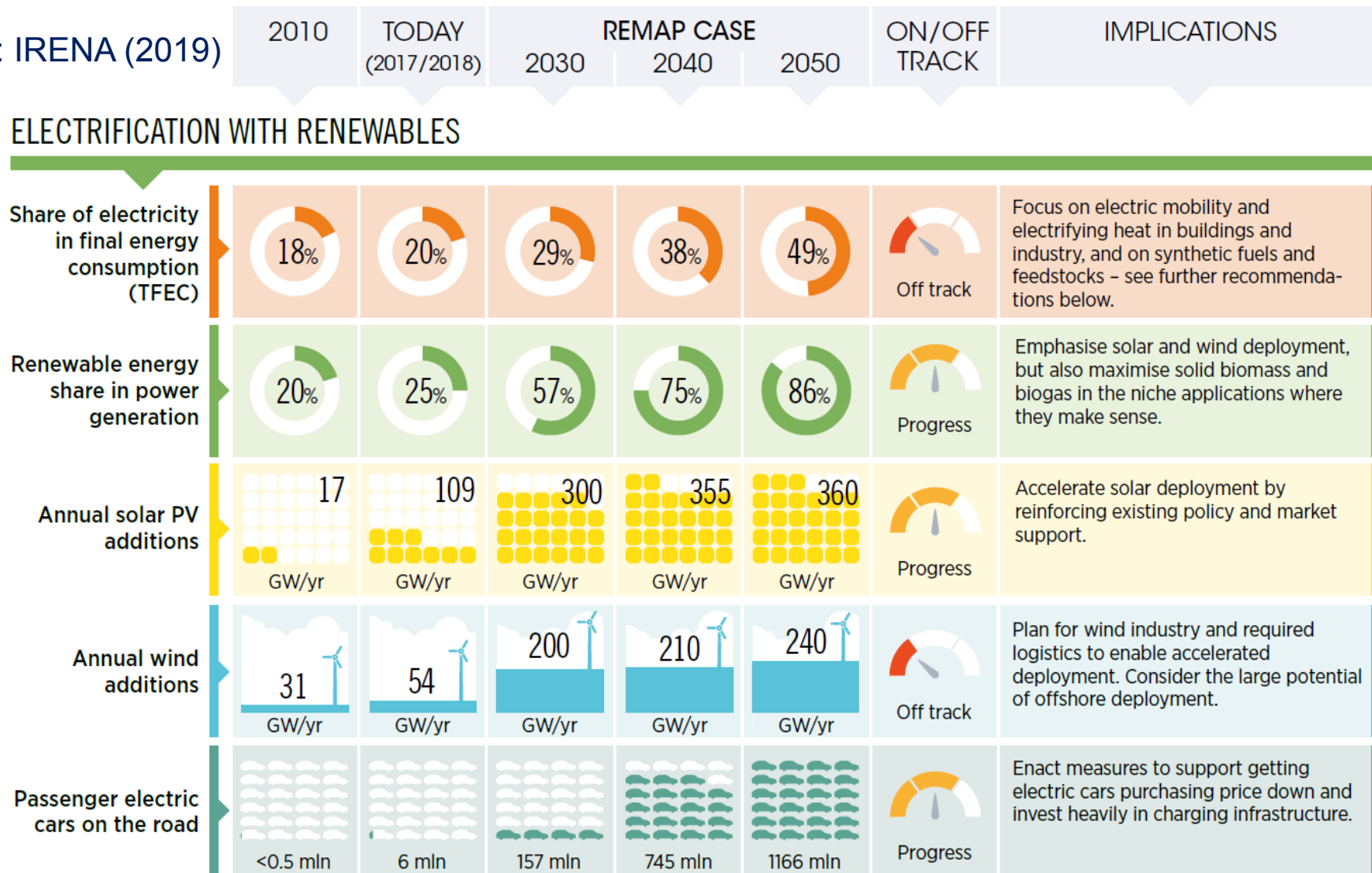
- A figura mostra a evolução, segundo a IRENA, que indica que a humanidade está no caminho da descarbonização, em função da maior participação das fontes renováveis.
- O otimismo está associado ao entendimento de que o que aconteceu até agora seguirá acontecendo.
- E que a solução será usar eletricidade de maneira mais ampla.



Fonte: IRENA (2018)

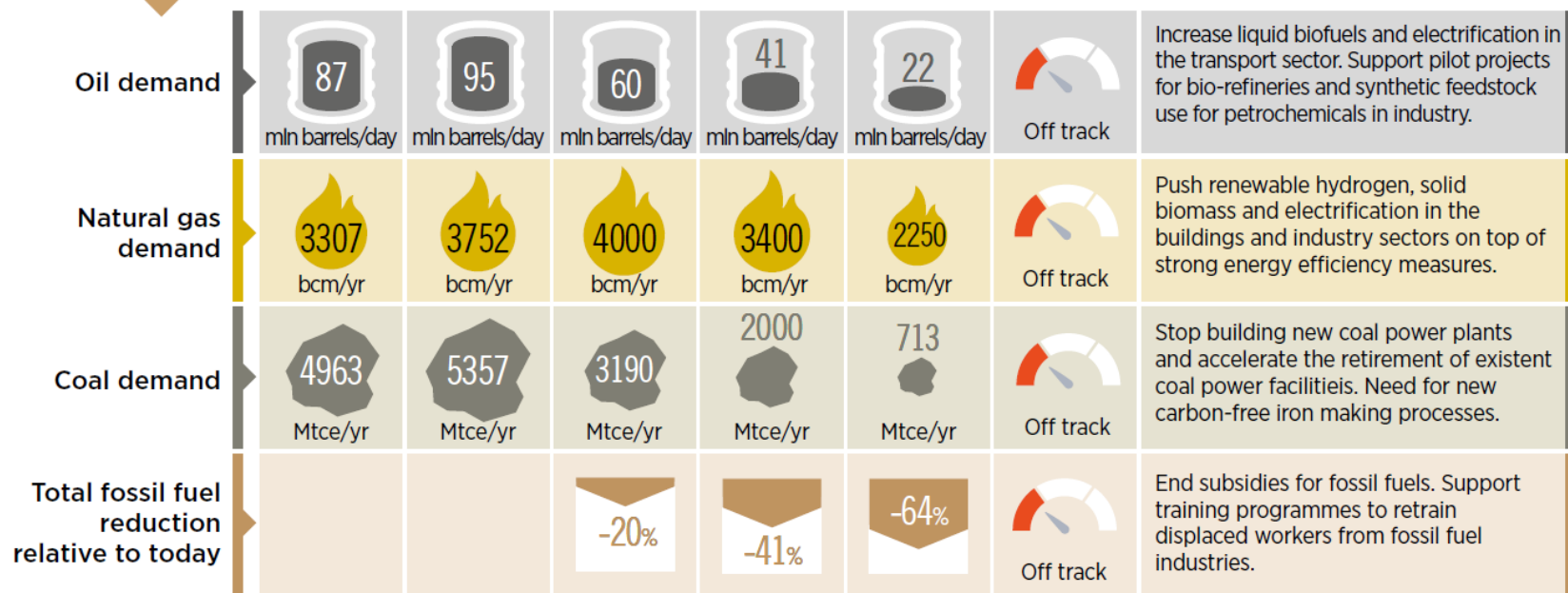
A visão da IRENA sobre a evolução (2)

Fonte: IRENA (2019)

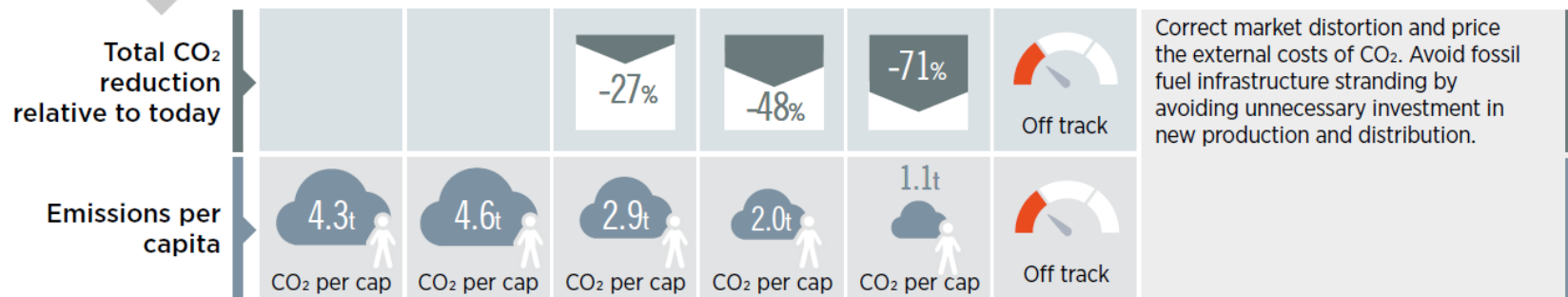


A visão da IRENA sobre a evolução (3)

TOTAL FOSSIL FUEL DEMAND

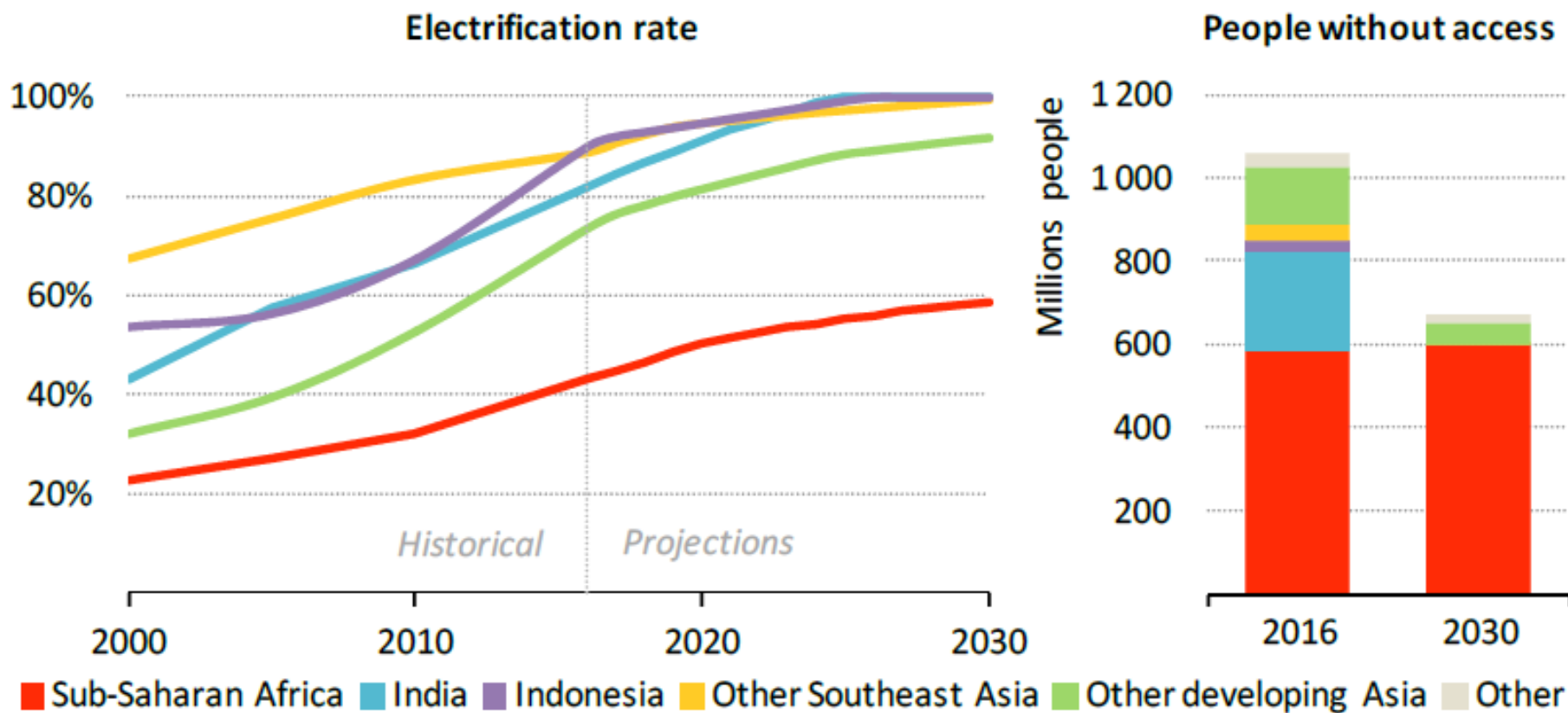


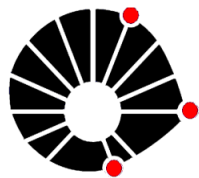
ENERGY-RELATED CO₂ EMISSIONS



Fonte:
IRENA
(2019)

Figure 2.4 ▶ Electricity access rate and population without electricity by region in the New Policies Scenario



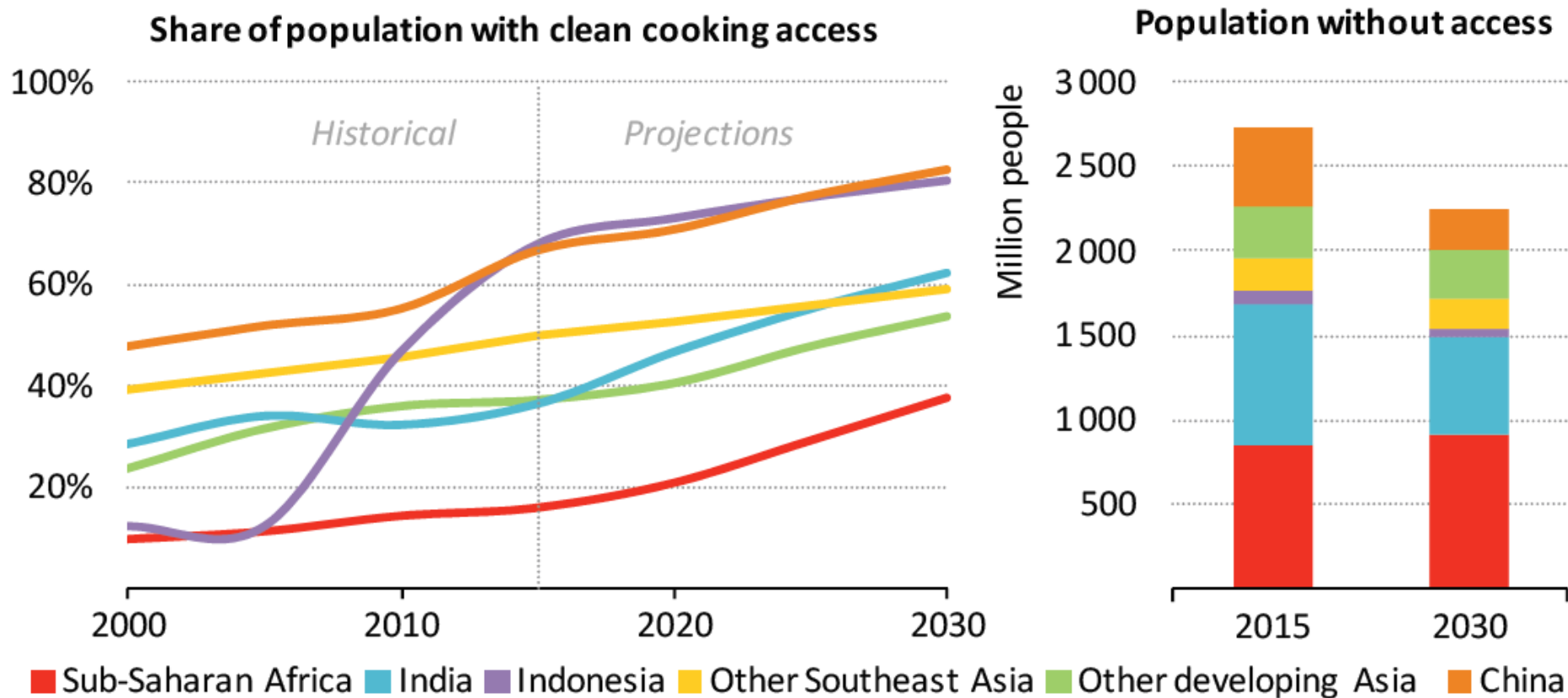


UNICAMP

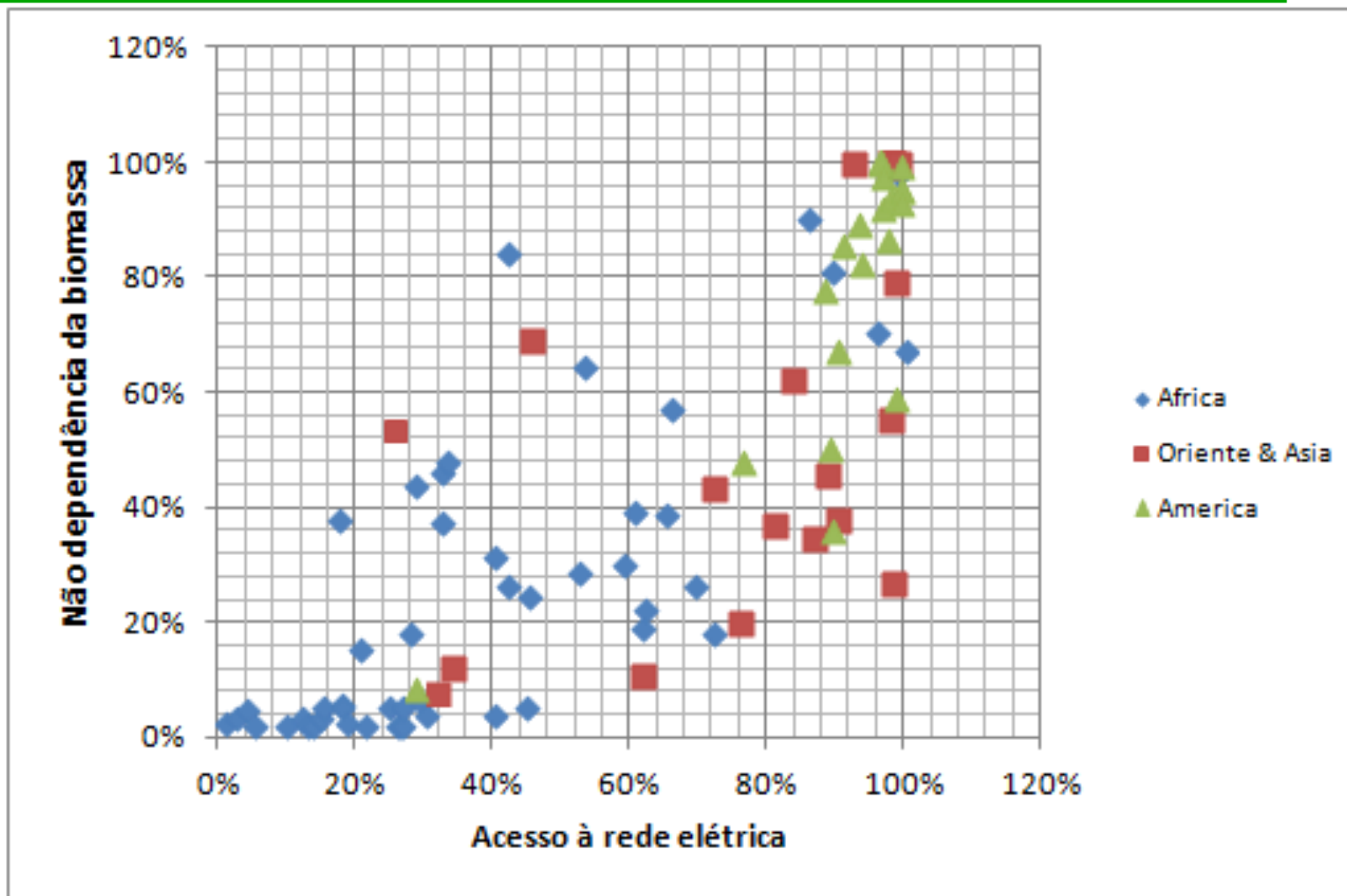
People relying on biomass (IEA, 2017)



Figure 3.6 ▶ Population with and without access to clean cooking by region in the New Policies Scenario

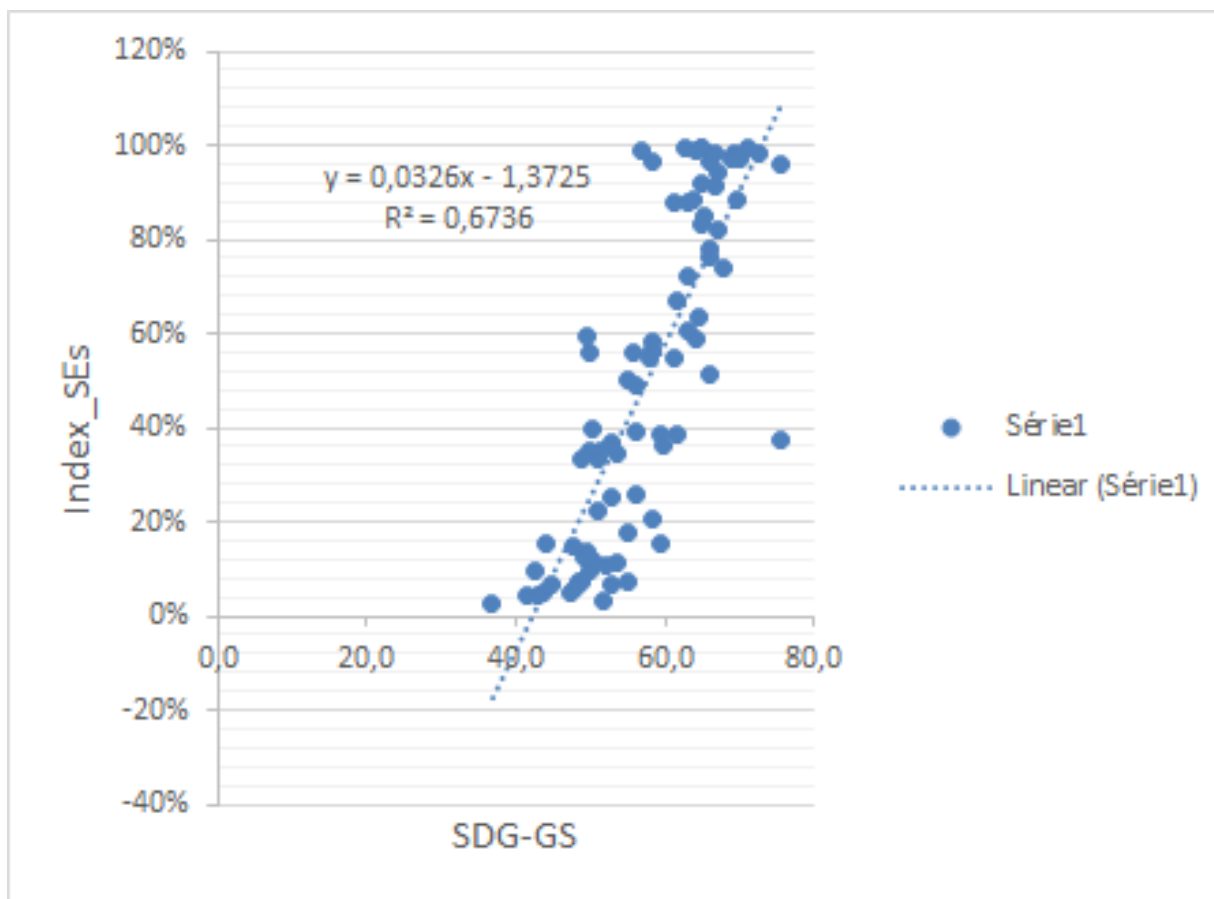


“Pobreza energética” (IEA, 2016)



No quadrante 60%-60%, todos países são Africanos, exceto Haiti, Myanmar, Camboja e Coréia do Norte.

“Pobreza energética” versus SDG



Alguns casos distantes do ajuste são Coreia do Norte, Iraque, Síria e Iemen. Se forem eliminados da figura, o ajuste chega próximo da 80%.

THE GLOBAL GOALS For Sustainable Development



Acesso à rede elétrica - BR

- De acordo com a PNAD contínua - Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (IBGE) -, 99,73% dos domicílios particulares permanentes tinham acesso à eletricidade ao final de 2018, em um universo de 71 milhões. No indicador, 98,6% são atendidos com rede pública em tempo integral, 0,86% com rede pública em tempo parcial e 0,23% com geração própria. Cerca de 195 mil domicílios estavam sem acesso à energia elétrica. De dez/2010 a dez/2018, a média anual de novos domicílios com acesso à energia elétrica foi de 1,4 milhão.

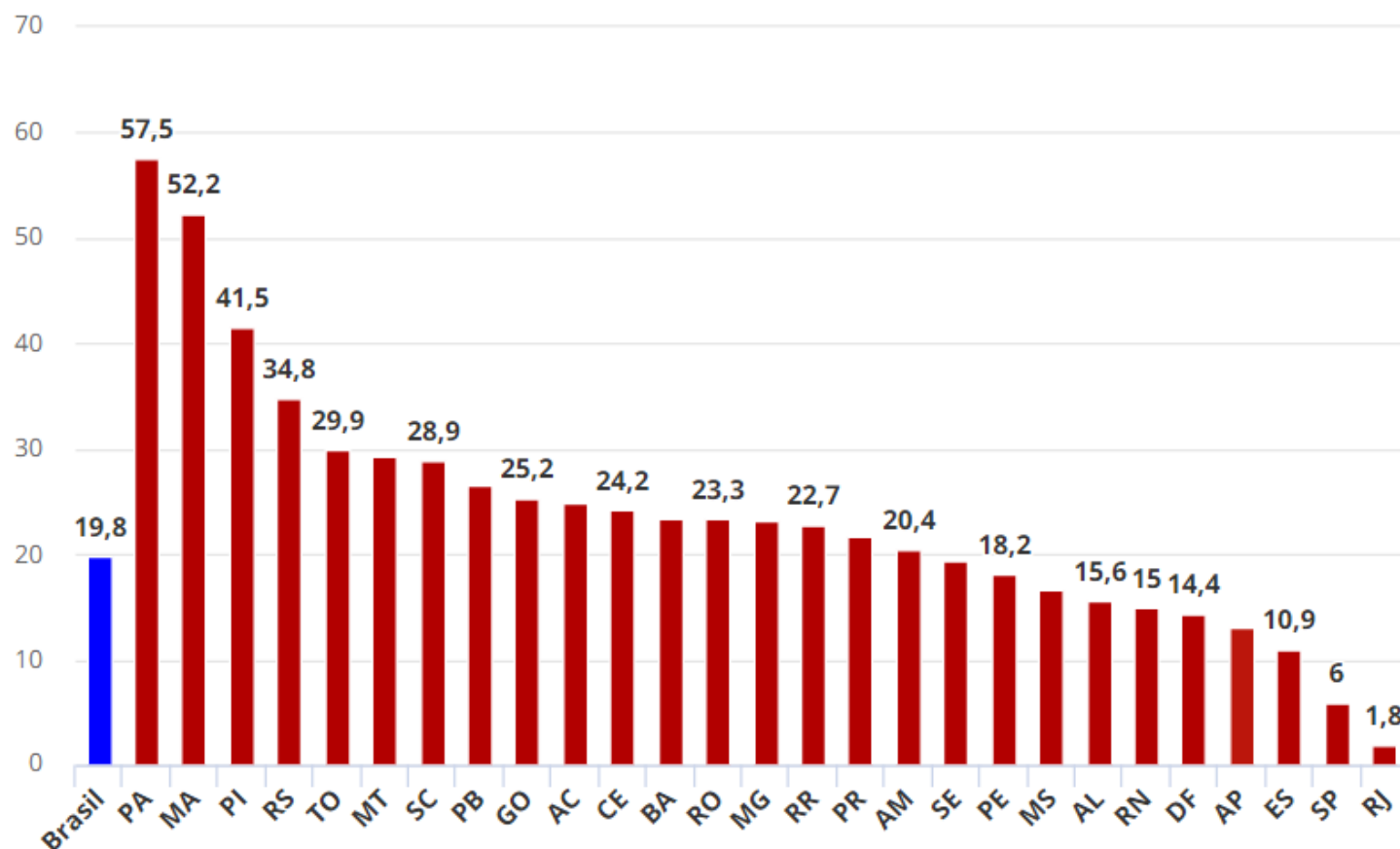
(Não) Dependência da lenha - BR

- Em 2018, na preparação de alimentos (segundo PNAD-IBGE), 98,2% dos domicílios dispunham de fogões a gás de botijão ou canalizado, 19,8% tinham fogões/churrasqueias a lenha ou carvão vegetal e 53,5% tinham fogões/fornos/micro-ondas elétricos.
- Famílias de baixa renda, principalmente em áreas rurais, ainda são dependentes de biomassa tradicional.
- Em 2018, 14 milhões de famílias brasileiras usavam lenha ou carvão vegetal para cozinhar, segundo o IBGE. São cerca de 3 milhões de famílias a mais que em 2016.
- Desde 2013 o consumo residencial de lenha e carvão não decresceu (era decrescente até então).

Dependência da lenha – BR

Uso de carvão e lenha no preparo de alimentos

Em % do total de domicílios, em 2018

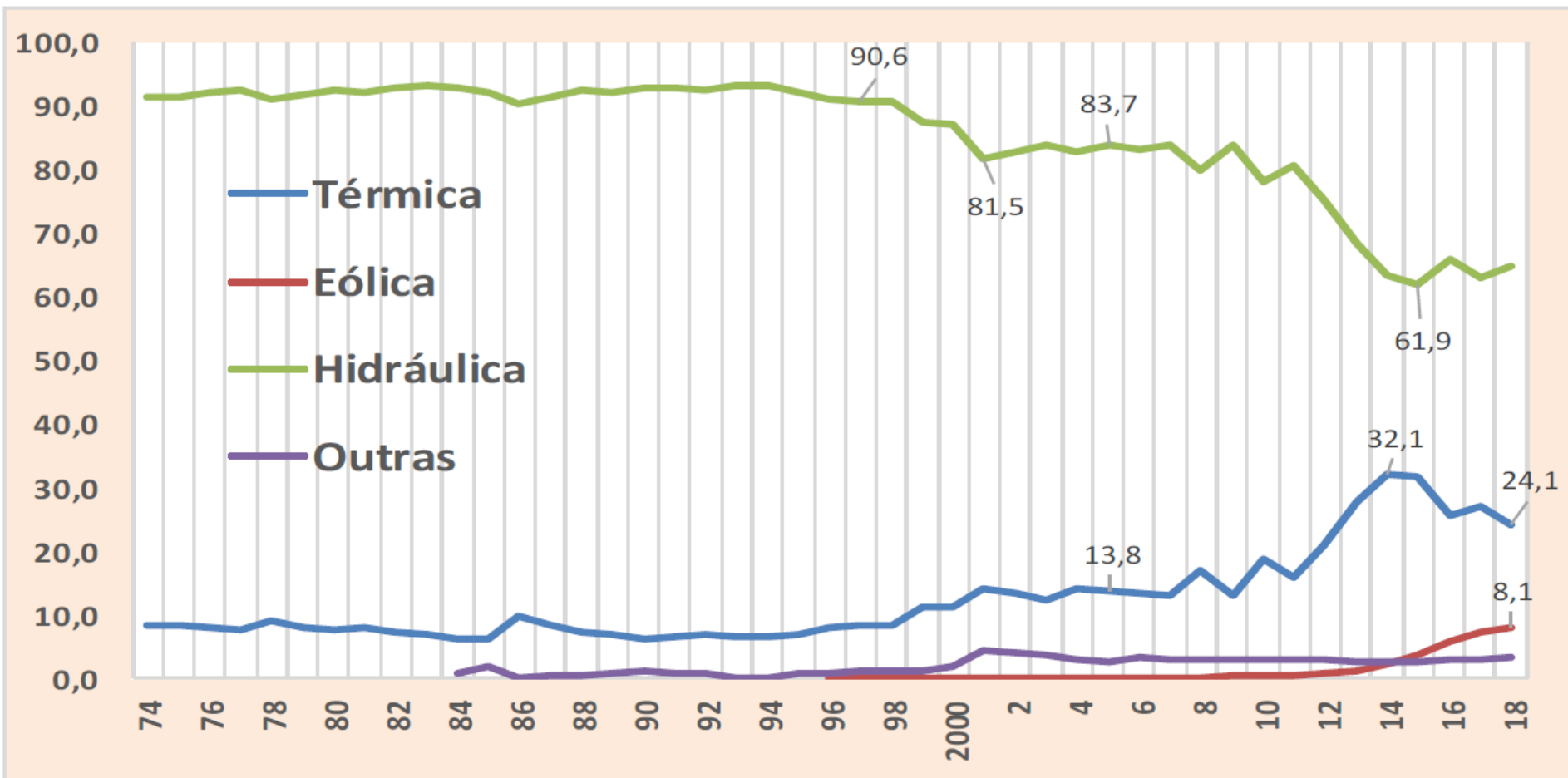


- Giada (2019): no Norte e Nordeste, boa parte da lenha consumida advém de coleta e de desmatamento. Restrições de renda explicam o consumo.

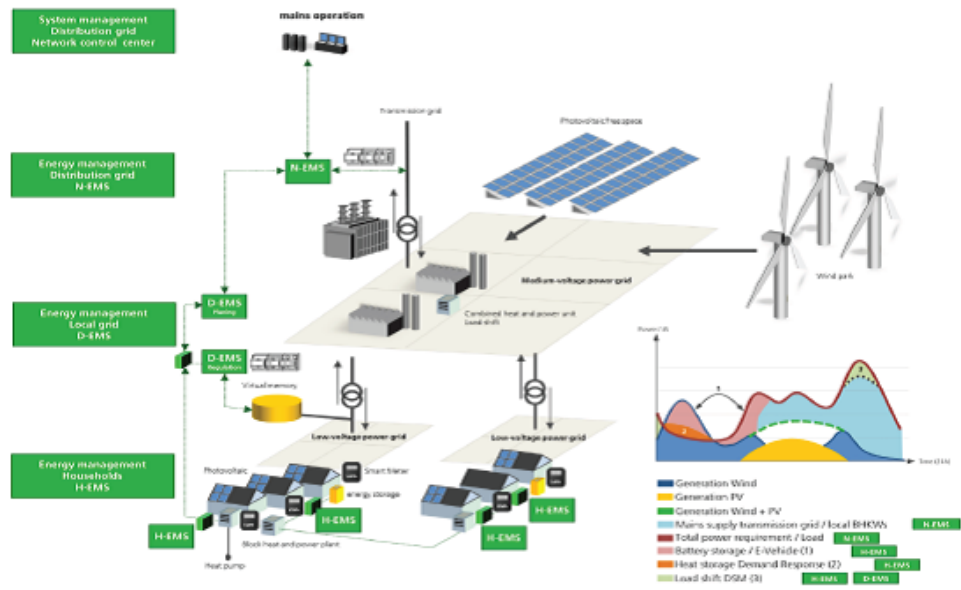
Geração de eletricidade

Fonte: SIE (2019)

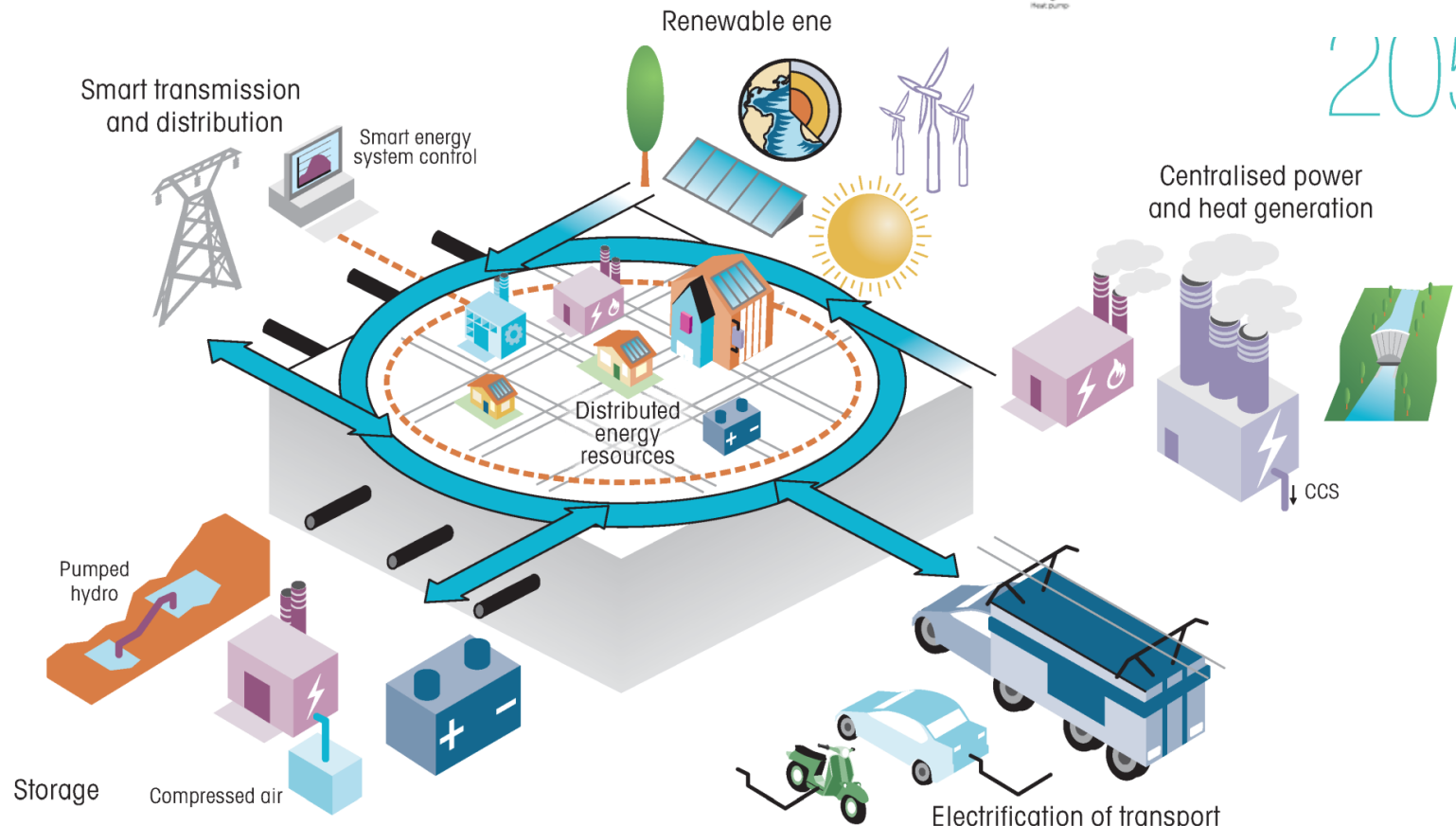
Participação das Fontes na Geração Elétrica Brasileira (%)

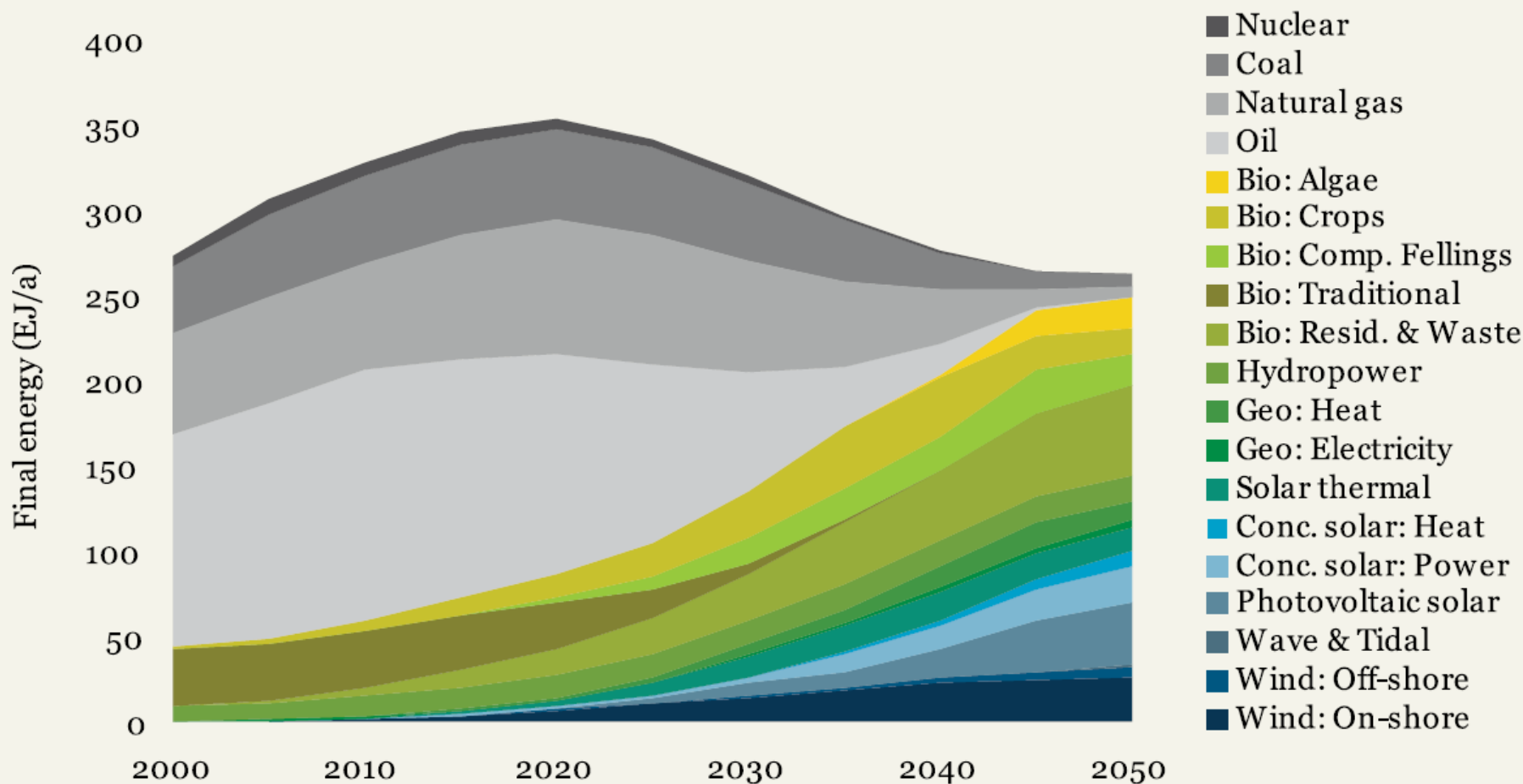


Smart-grid by 2050



2050



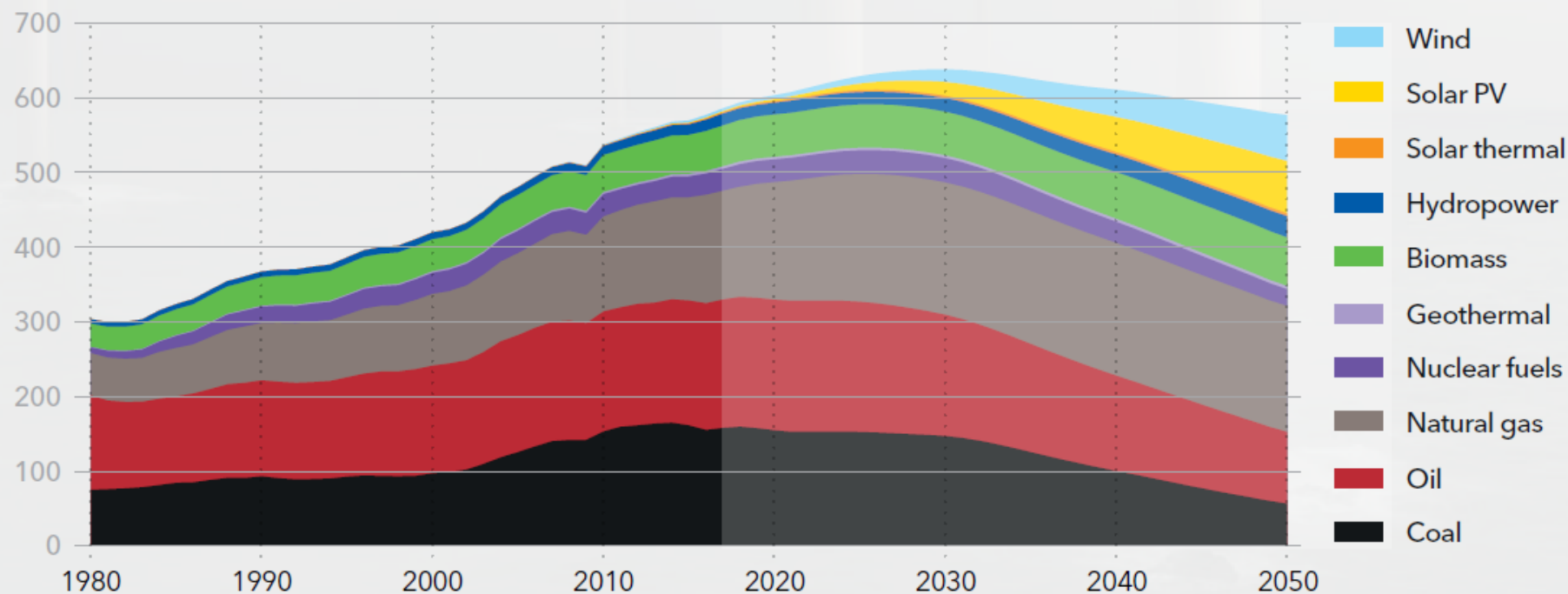


World Energy Supply by Source

Source: The Ecofys Energy Scenario, December 2010.

World primary energy supply by source

Units: EJ/yr



Historical data source: IEA WEB (2018)

We are approaching a future where the world will need less energy, even as the global population increases and the economy continues to grow. Large energy efficiency improvements in all sectors and accelerated electrification see primary energy supply peaking at 638 EJ in 2030. The fossil fuel share of the energy mix will decline from 81% today to 56% by 2050.

Conclusões (e provocações)

- Os sistemas energéticos em 2060 não serão drasticamente distintos dos atuais, mas as participações das fontes serão diferentes.
- Não haverá uma fonte energética dominante, e nenhuma será diferente das já conhecidas.
- Fontes renováveis, como eólica e solar, serão mais importantes que hoje, mas não serão únicas (também) por causa da intermitência.
- Bioenergia (sustentável) + CCS é a única forma de se obter emissões negativas de GEE.
- É improvável que os fósseis sejam completamente eliminados das matrizes.

Conclusões (e provocações)

- CCS poderá dar sobrevida aos fósseis, e haverá muito esforço para tornar a tecnologia comercial.
- Armazenamento de energia colocará às fontes intermitentes em outro patamar. Também haverá muito esforço para o desenvolvimento tecnológico.
- Sistemas de geração distribuída podem contribuir para a significativa minimização das perdas.
- Avanços da eletrônica e da informática serão crucias para viabilizar os smart-grids.
- Talvez não seja possível descartar a energia nuclear.
- Não deverá haver uma única solução mundial.
- E, o que é óbvio para a Europa, não deverá ser de fácil implementação em outros países/regiões.



UNICAMP



Obrigado pela atenção!

awalter@fem.unicamp.br