

A Geopolítica na Transição Energética

Alexandre Szklo

Prof. Associado COPPE/UFRJ

D.Sc

Eng. Químico

25 de Abril de 2019



Cenergia
Lab

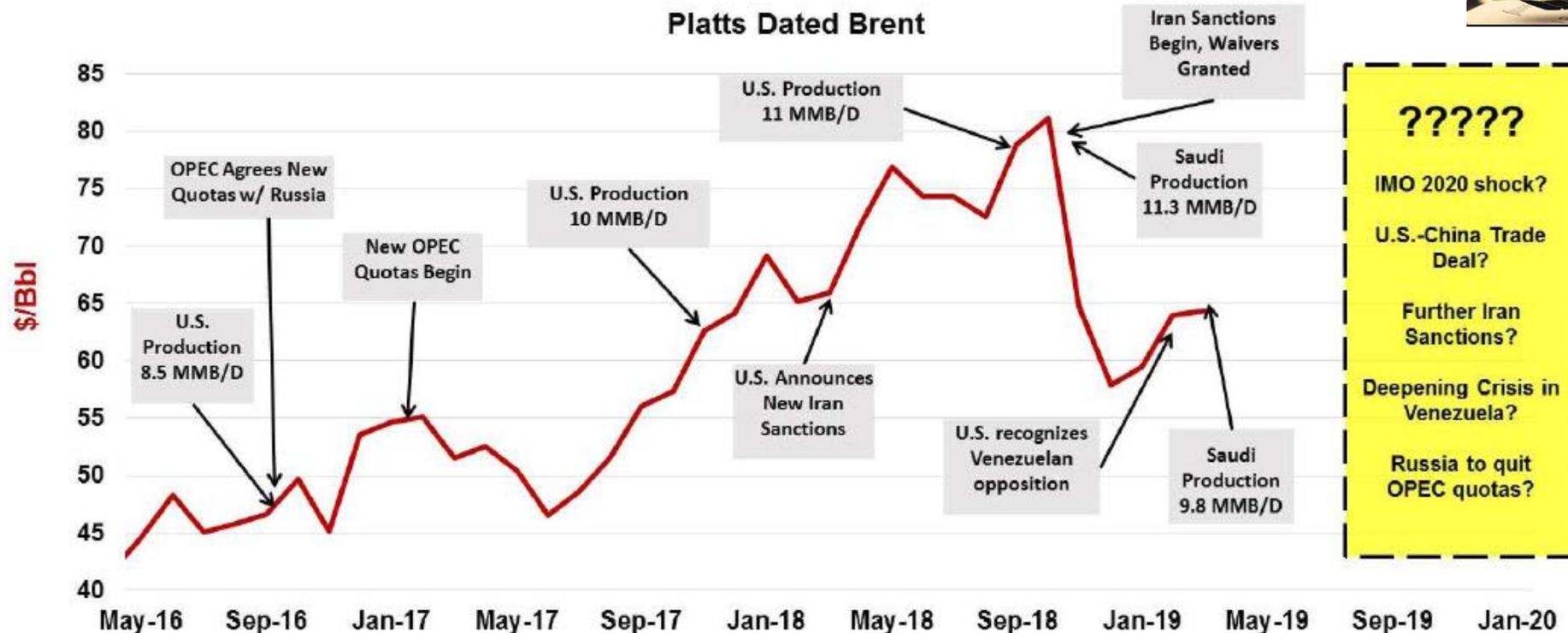




1. “Quando estamos vivos, é a morte que não está presente; ao contrário, quando a morte está presente, nós é que não estamos”
2. Transição \neq Extrapolação: processo não linear
3. Geopolítica das Renováveis ou Geopolítica diante das Renováveis?
4. *Just Transition*

“Quando estamos vivos, é a morte que não está presente; ao contrário, quando a morte está presente, nós é que não estamos...”

Geopolítica “dura” ainda importa ao petróleo e, por extensão, a todo o sistema energético



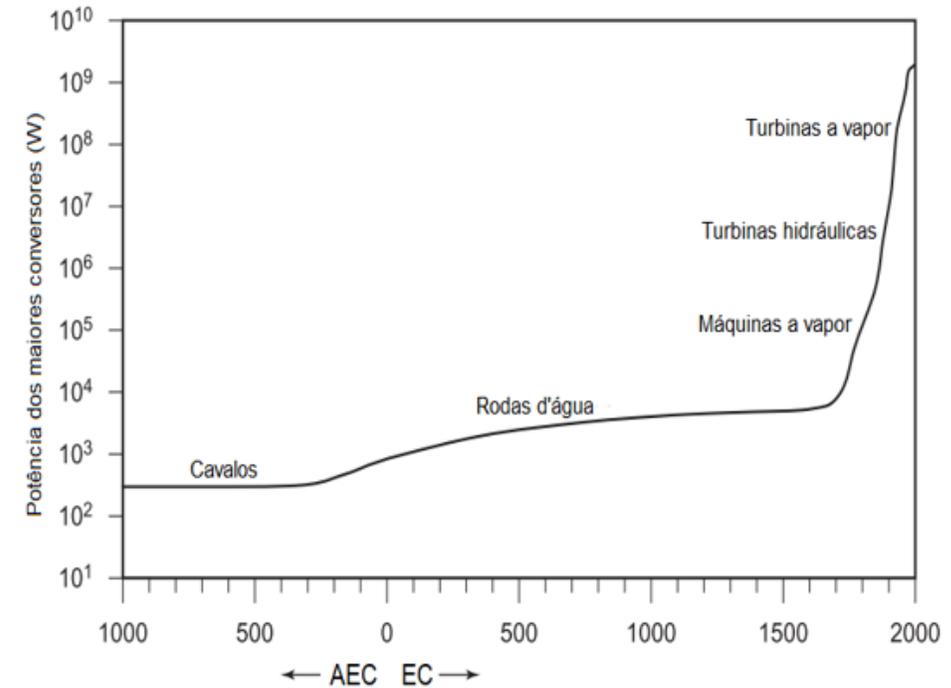
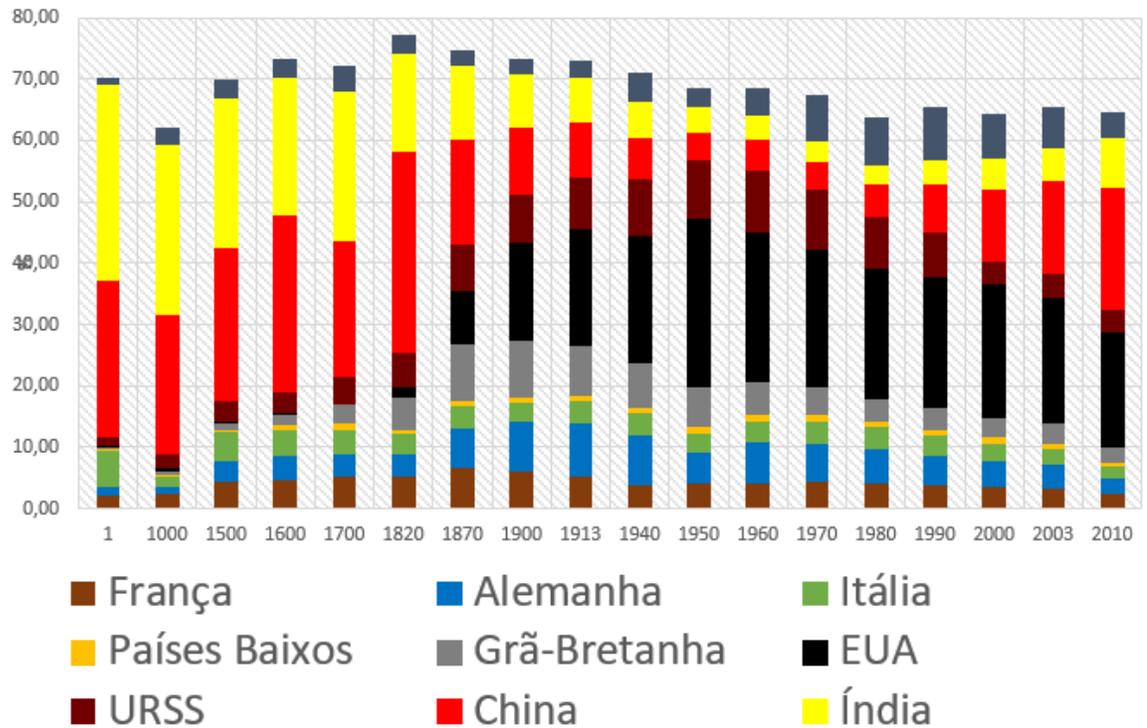
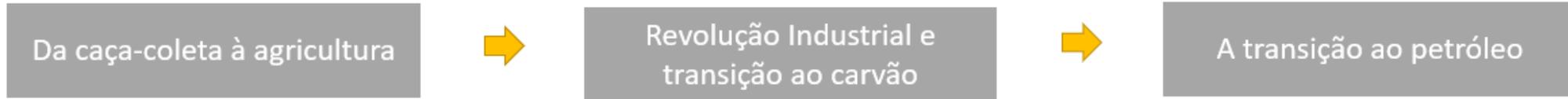
Transição ≠ Extrapolação: processo não linear

A emergência de um novo estado (analogia com a Termodinâmica) diante de não linearidades

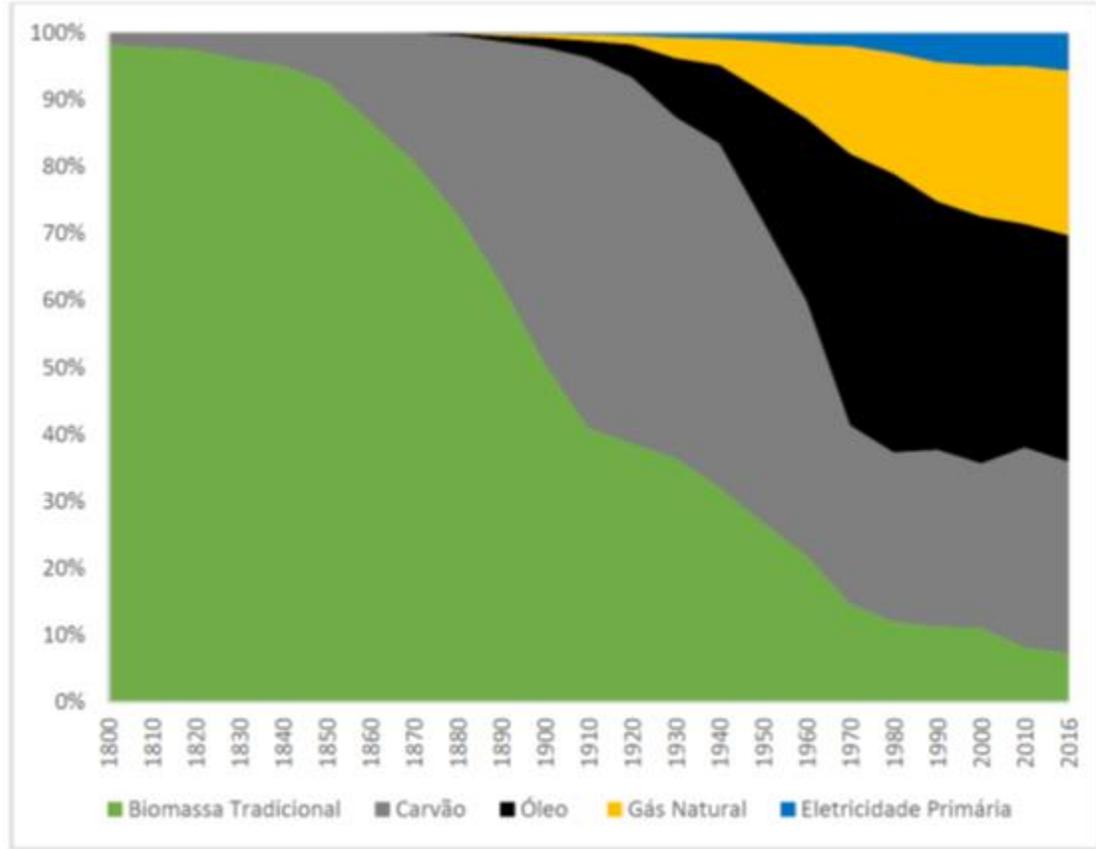
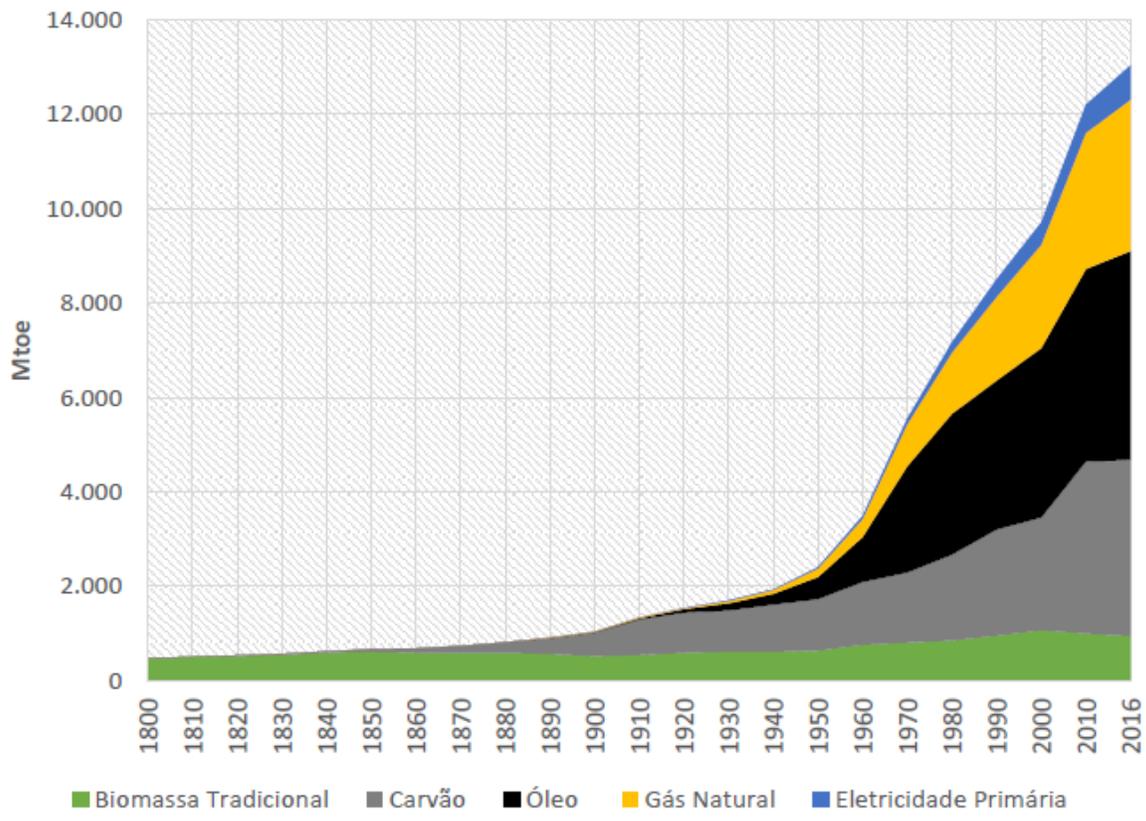
Conceito	Definição	Fonte
Transição Energética	Uma única fonte de energia, ou um grupo de fontes relacionadas, que dominou o mercado durante um período ou era particular e, eventualmente, foi desafiado e posteriormente substituído por outra(s) fonte(s) principal(is).	(MELOSI, 2009)
	O tempo que decorre entre a introdução de uma nova fonte de energia primária, ou conversor, e seu crescimento até representar parcela substancial do mercado total.	(SMIL, 2010a)
	Mudança na composição (estrutura) da oferta de energia primária.	(SMIL, 2010b)
	Um conjunto particularmente significativo de mudanças nos padrões de uso de energia em uma sociedade, potencialmente afetando recursos, operadoras, conversores e serviços.	(O'CONNOR, 2010)
	A mudança de um sistema econômico dependente de uma ou de uma série de fontes e tecnologias de energia para outra.	(FOUQUET; PEARSON, 2012)
	Uma mudança na natureza ou padrão de como a energia é utilizada dentro de um sistema.	(ARAÚJO, 2014)
	Substituição de combustíveis (por exemplo, da lenha ao carvão ou do carvão ao óleo) e suas tecnologias associadas (por exemplo, da máquina a vapor aos motores de combustão interna);	(HIRSH; JONES, 2014)
	Mudanças nas fontes de combustível para produção de energia e nas tecnologias utilizadas para exploração deste combustível;	(MILLER; RICHTER; O'LEARY, 2015)



Transições energéticas globais



Fonte: Elaborado a partir dos dados de Angus Maddison (MADDISON-PROJECT, 2013).



Proporção Histórica do Consumo de Energia Primária Global (1800 - 2016).
 Elaboração própria a partir de BP (2016), MALANIMA (2014) e SMIL (2010b).

A Dinâmica das Transições Energéticas

Abordagens



ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS

- Ciclo de vida de tecnologias
- Mecanismos de aprendizagem
- *Clusters, path-dependence e lock-in*
- Política pública para difusão tecnológica

(FOUQUET; PEARSON, 2012; GRUBLER, 2012; GRUBLER; WILSON; NEMET, 2016; SMIL, 2010)

LIMITES NATURAIS

- Escassez e superabundância de recursos naturais
- Degradação Ambiental

(STUART MILL, 1865..., LARSSON, 2009; POMERANZ, 2000)

RELAÇÕES DE PODER

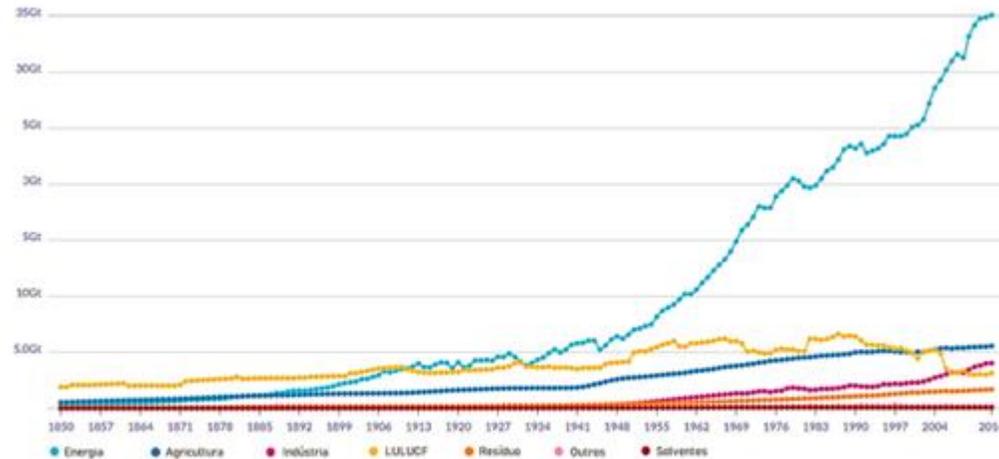
- Rivalidade geopolítica
- Rivalidade comercial
- Conflito social

(DELÉAGE, 2014; HÉMERY; DEBIER; DELÉAGUE, 1993; PODOBNIK, 2006)

Geopolítica das Renováveis ou Geopolítica diante das Renováveis?



Transição energética responde à necessidade energética, redução de emissões e crescimento econômico.



Emissões históricas globais de GEE por setor. Fonte: Adaptado de GÜTSCHOW et al. (2016).

Opportunity-driven!
GEELS, 2016

A New World

The Geopolitics of the Energy Transformation

WORKING PAPER
JUNE 2017

The Geopolitics of Renewable Energy

LEAD AUTHORS:

Meghan O'Sullivan Harvard Kennedy School of Government

Indra Overland Norwegian Institute of International Affairs—NUPI

David Sandalow Columbia Center on Global Energy Policy

Why renewables will transform geopolitics

© IRENA 2019

As questões que surgem de **IN**(certezas)

First, renewable energy resources are available in one form or another in most countries, unlike fossil fuels which are concentrated in specific geographic locations. This reduces the importance of current energy **choke points**, such as the narrow channels on widely used sea routes that are critical to the global supply of oil.

Second, most renewables take the form of flows, whilst fossil fuels are stocks. Energy stocks can be stored, which is useful; but they can be used only once. In contrast, energy flows do not **exhaust** themselves and are harder to disrupt.

Third, renewable energy sources can be deployed at almost any scale and lend themselves better to decentralized forms of energy production and consumption. This adds to the **democratizing** effects of renewable energy.

Fourth, renewable energy sources have **nearly zero marginal costs**, and some of them, like solar and wind, enjoy cost reductions of nearly 20% for every doubling of capacity.⁴² This enhances their ability to drive change but requires regulatory solutions to ensure stability and profitability in the power sector.

Qual será o padrão? Redes elétricas integradas (novos riscos de *chokepoints*) ou redes locais (risco de sobre-investimento)? **E não necessariamente cai o comércio mundial de petróleo na transição. Já mostro isto...**



Não necessariamente recursos renováveis não se exaurem, e não necessariamente recursos não renováveis se exaurem...

E o acesso aos fatores de produção (K,L)?
E o custo da transição (infraestrutura, ativos afundados...?)

E o custo do sistema para absorver intermitências?

Algumas ideias sobre petróleo e cenários de longo prazo mundiais associados às MCG

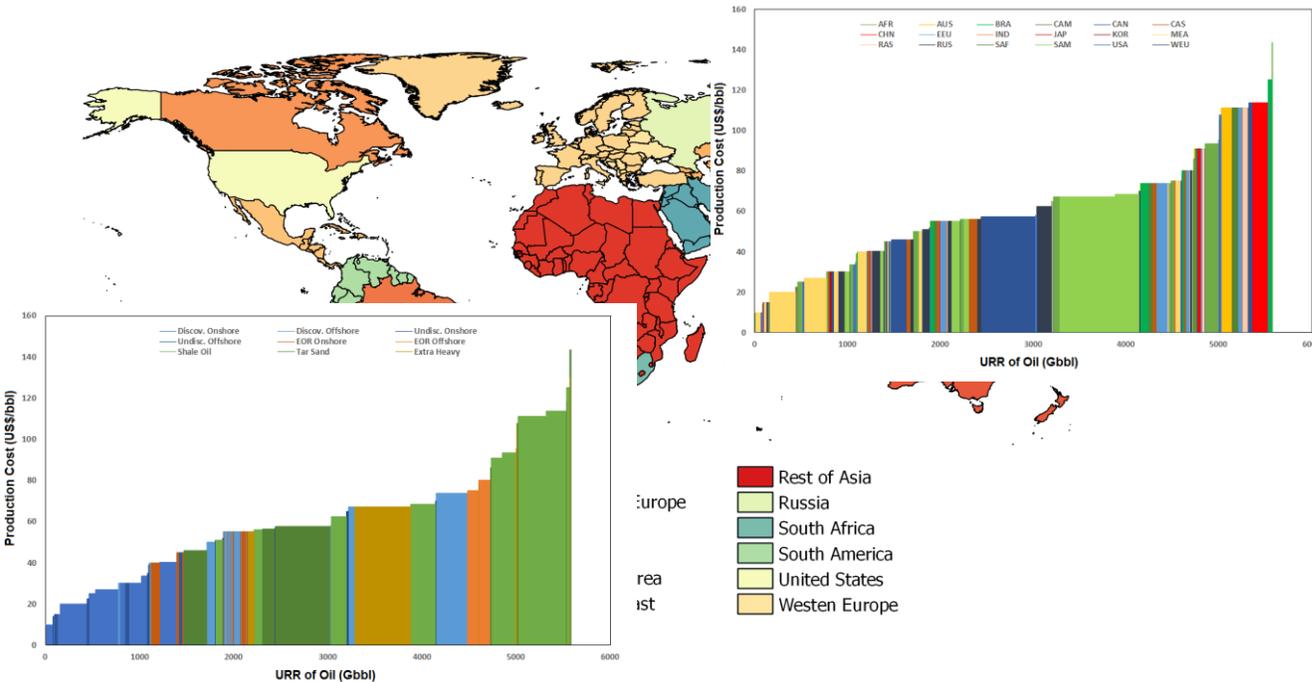


Modelo Global
COFFEE

Computational Optimization Framework For Energy and the Environment

Protocolo

- Global Current Policies (GCP): baseado em políticas correntes e pretendidas em todas as regiões (energia, terra e clima)
- Global 2°C (G2D): GCP + budget de 1.000 GtCO₂
- Global 1.5°C (G1.5D): GCP + budget de 400 GtCO₂



- Utilização dos recursos de petróleo: GCP
 - Produção acumulada de cerca de 2800 Gbbl
 - Cerca de 500 Gbbl trocados no mercado internacional
 - 18% dos recursos explorados
- Utilização dos recursos de petróleo: 2°C
 - Produção acumulada de cerca de 1600 Gbbl
 - Cerca de 700 Gbbl trocados no mercado internacional
 - 44% dos recursos explorados
- Utilização dos recursos de petróleo: 1,5°C
 - Produção acumulada de cerca de 1200 Gbbl
 - Pouco menos de 700 Gbbl trocados no mercado internacional
 - 56% dos recursos explorados

Just Transition?



Menor demanda por O&G: *Petro-Estados* perdem rendas extraordinárias = ímpeto para diversificação ou fonte de conflitos?

Nova Maldição dos Recursos Naturais (*Resource Curse*): fontes renováveis associadas ao recurso Terra seriam vulneráveis à maldição? O caso dos materiais críticos...



Materiais Críticos: oferta oligopolizada ou até mesmo cartelizada? O caso das Terras Raras (ETR)... O caso do Co...

Menor demanda por O&G: *Petro-Estados* perdem rendas extraordinárias = ímpeto para diversificação ou fonte de conflitos?

“Countries with abundant fossil resources more apt for economic growth, especially if able to exploit and monetize those resources” (Harrod-Domar's growth model).

X

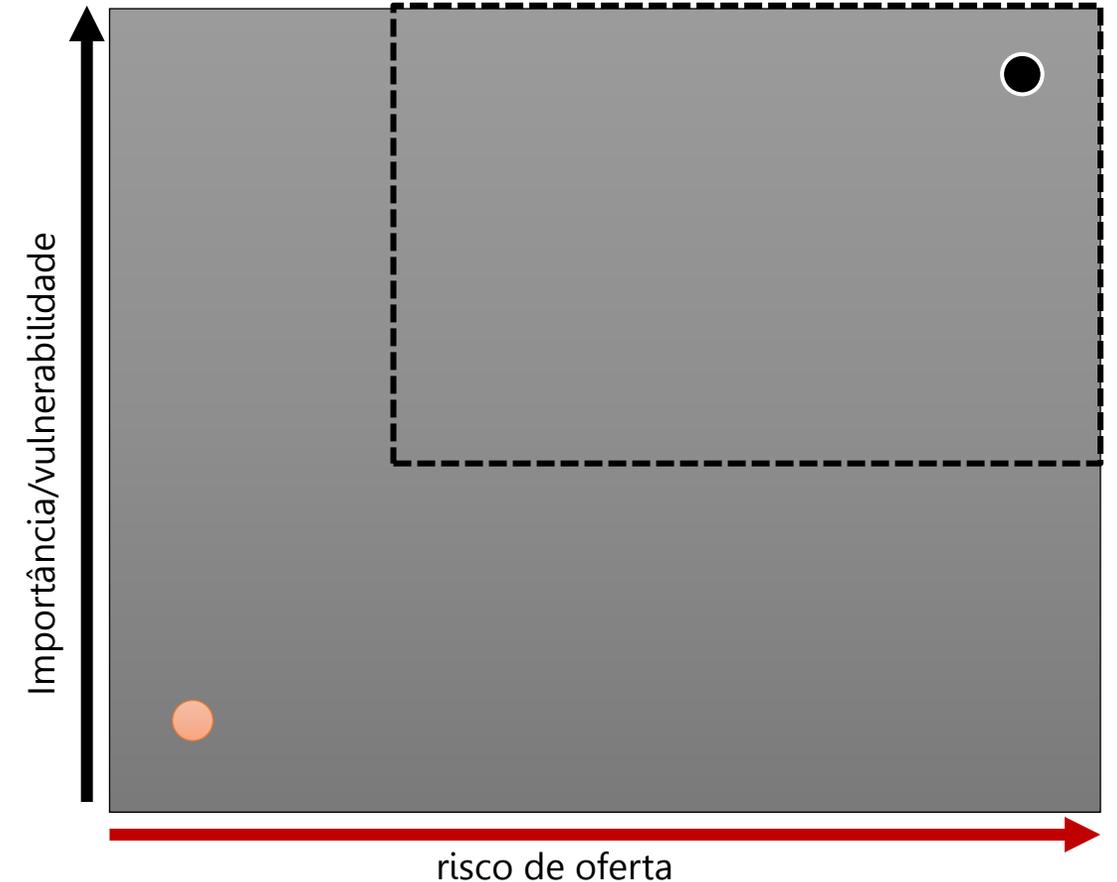
Natural resource Curse hypothesis: the excessive dependence on the export revenues of natural resources prevents the socioeconomic development in the long term

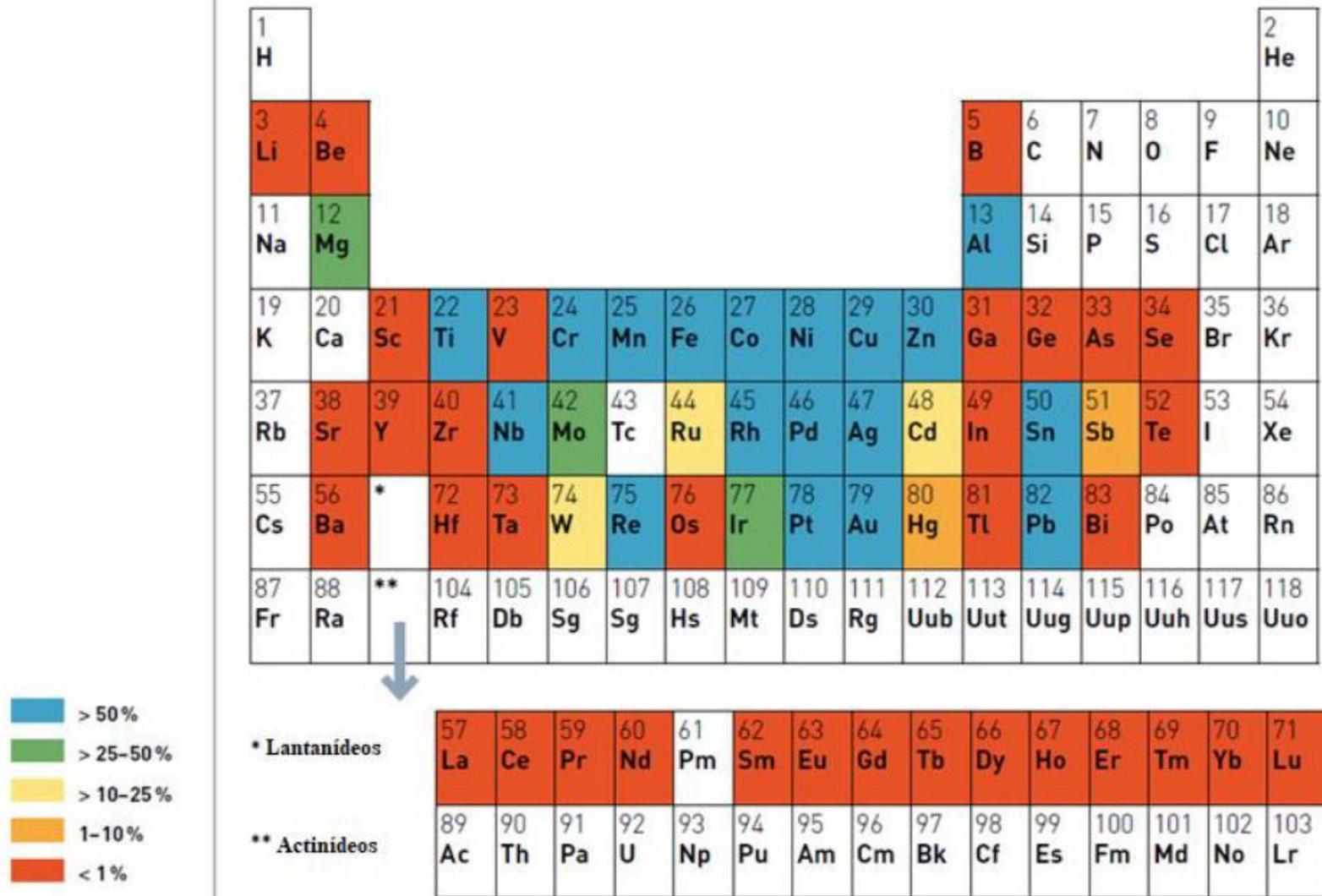
- “Primary activities such as exports of natural resources produce **few linkages** in the economy, especially when compared to the production of manufactured goods” (Ross, 1999).
- “A boom in the natural resources sector would trigger a process of **reallocation of the factors of production**, in response to the change in the relative prices of the economy” (Corden and Neary, 1982) + “impacts on the country's **technological development**, as the benefits of learning by doing would accumulate only through the manufactured goods sector (industry being the generating center for technological development, innovation and productivity gains)” Krugman (1987).
- Ross (1999): “large extraordinary revenues seem to change the **way governments behave**, damaging growth and development prospects”
- Stiglitz (2012): “the concentration of the extraordinary income (e.g. windfall profits) derived from the extraction of fossil resources may lead to the strengthening of **undemocratic regimes** (with or without elections)”.
- Beblawi (1990), Stevens (2015): “...rentiers capture the revenues from natural resources and use them to create patronage networks. They often also apply these rents to ‘**prestigious projects**’”

Nova Maldição dos Recursos Naturais (*Resource Curse*):

... O caso dos materiais críticos...

- Como definir criticidade?
 - Contexto tecnológico
 - Local
 - Tempo histórico
 - Definição de risco e importância
- Perspectivas de criticidade
 - Corporativa
 - Nacional e Regional
 - Global





Taxa de reciclagem de metais. Fonte: Adaptado de UNEP/IRP (2011).

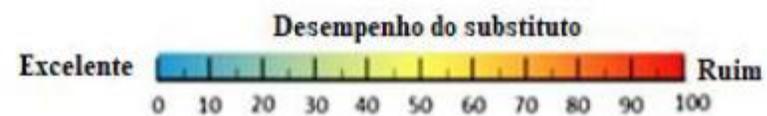
1 H Hydrogen																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine	10 Ne Neon
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminum	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulfur	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57-71 Lanthanide series	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Actinide series	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium
Lanthanide series	57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium		
Actinide series	89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium		

% da produção primária global obtida como co- ou sub-produto



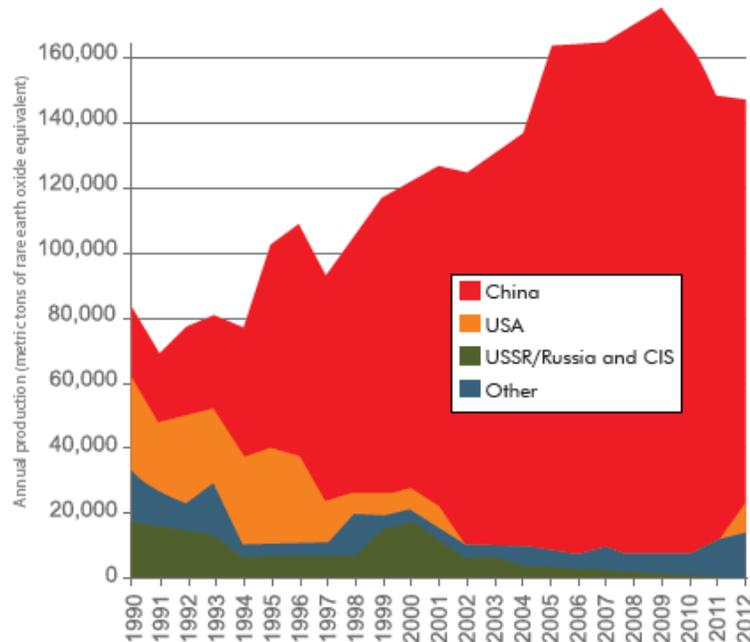
H																	He
Li 41	Be 63											B 41	C	N	O	F	Ne
Na	Mg 94											Al 44	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc 65	Ti 63	V 63	Cr 76	Mn 96	Fe 57	Co 54	Ni 62	Cu 70	Zn 38	Ga 38	Ge 44	As 38	Se 47	Br	Kr
Rb	Sr 78	Y 95	Zr 66	Nb 42	Mo 70	Tc	Ru 63	Rh 96	Pd 39	Ag 44	Cd 38	In 60	Sn 36	Sb 57	Te 38	I	Xe
Cs	Ba 63	*	Hf 38	Ta 41	W 53	Re 90	Os 38	Ir 69	Pt 66	Au 40	Hg 45	Tl 100	Pb 100	Bi 46	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

* Lantanídeos	La 75	Ce 60	Pr 41	Nd 41	Pm	Sm 38	Eu 100	Gd 63	Tb 63	Dy 100	Ho 63	Er 63	Tm 88	Yb 88	Lu 63
** Actinídeos	Ac	Th 35	Pa	U 63	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

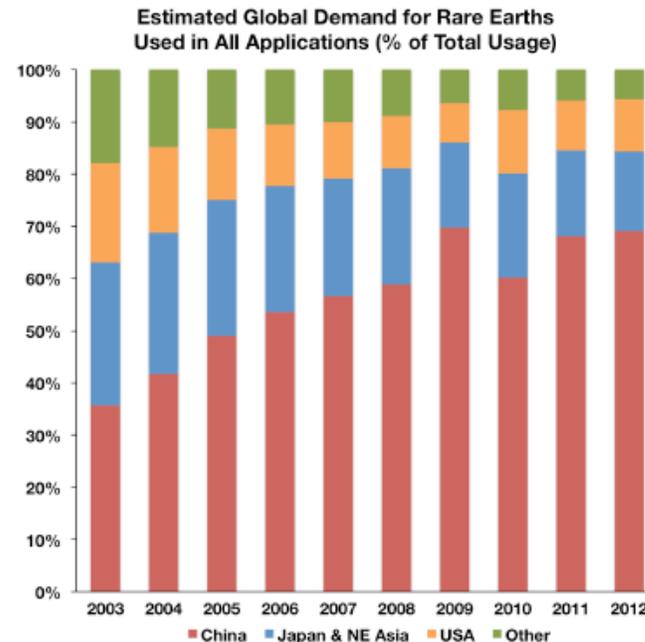


China: Materiais críticos para a transição energética

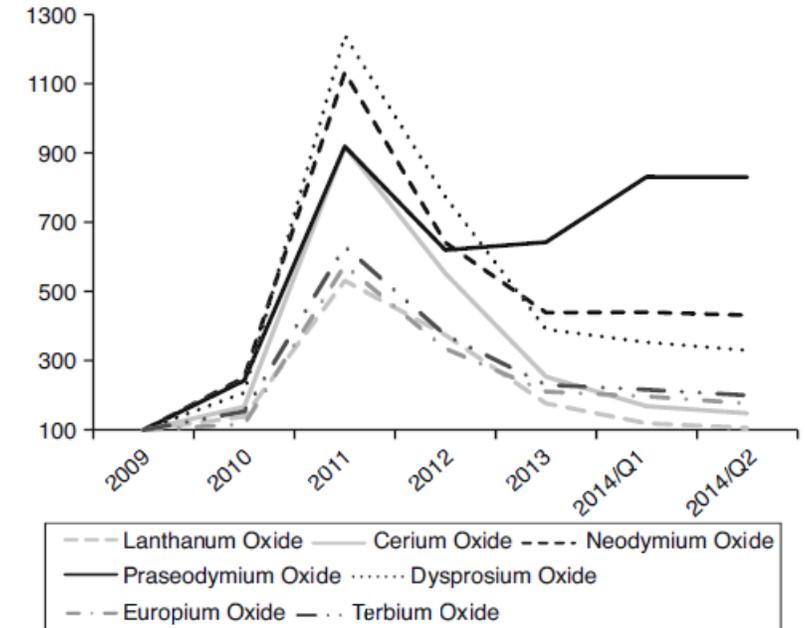
- **Quase monopolista** (e quase monopsonista) + Único país com **capacidade de processamento** de HREE
- ~30-40% da oferta é proveniente de “**mineração ilegal**”
- “**Crise das terras raras**” (2010-11): Cotas de Q, cotas e taxas de X, embargo ao Japão após incidente com pescador nas ilhas Sensaku. Em 2013, China perde a disputa na OMC e em 2015 retira as cotas de X
- Pela dinâmica de formação de preços de ERT, a **volatilidade** deve perdurar e pode se acentuar



Produção total estimada de ETR entre 1990-2012.
Fonte: Stockholm Environment Institute (2014)



Fonte: TMR (2013)



Mudança relativa de preços de óxidos de TR.
Fonte: *The Political Economy of Rare Earth Elements* (2015).

Índice de entropia de Theil → medida de concentração, desigualdade e diversificação de portfólio

$$E = - \sum_{i=1}^n s_i \ln(s_i)$$

E = índice de entropia

n = número de players

s_i = market share de cada player

- **Para análises intertemporais:**

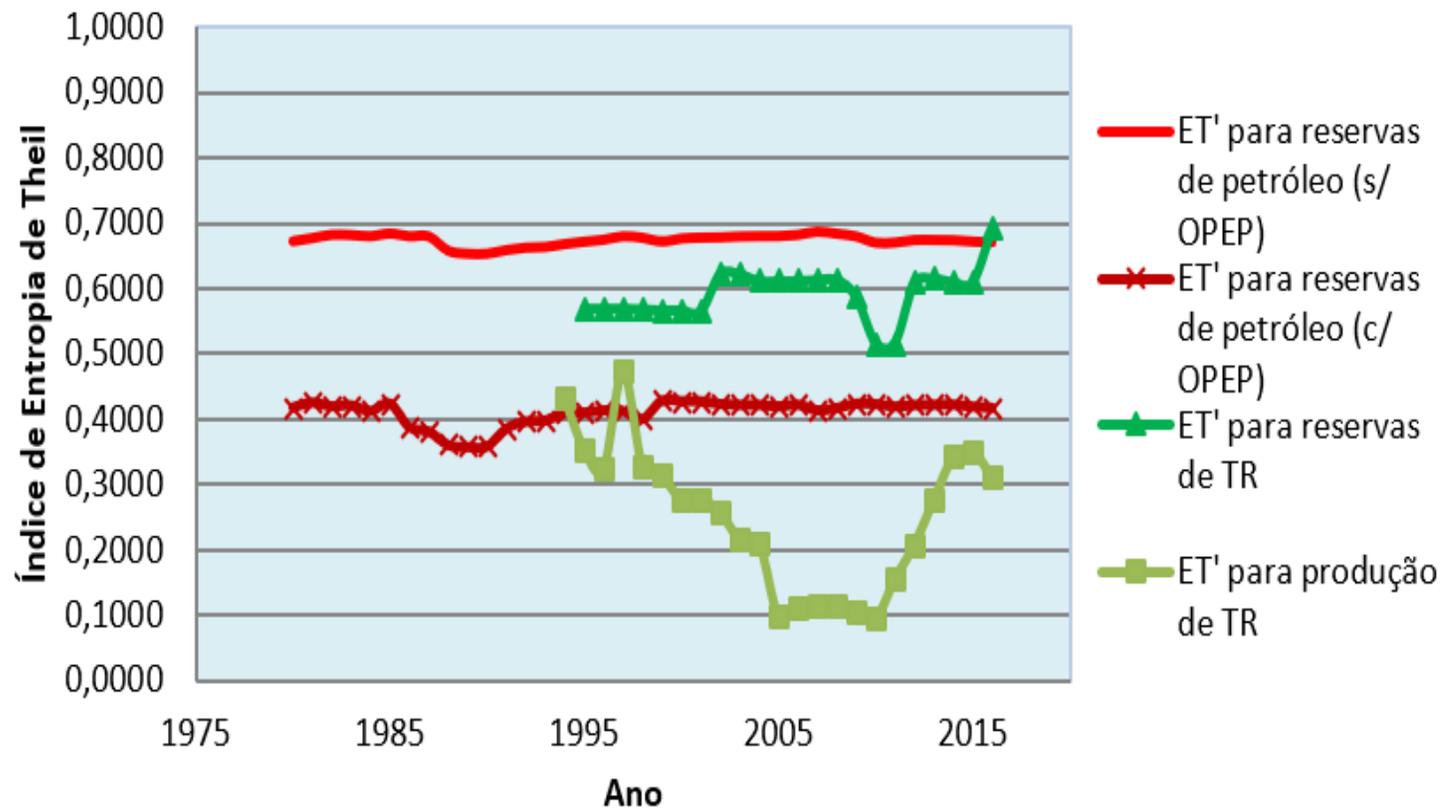
$$E' = - \frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n s_i \ln(s_i)$$

E' = índice de entropia

n = número de players

s_i = market share de cada player

$$E' = \begin{array}{l} \mathbf{0} - \textit{monopólio} \\ \mathbf{1} - \textit{concorrência perfeita} \end{array}$$



- Produção mais concentrada que reservas;
- Reserva e produção respondem ao aumento de preços da crise de 2010-2011;
- Não há restrição de acesso a ETR pelo ponto de vista chinês;
- Tendência à concentração após determinação de remoção das cotas em 2015;

OBRIGADO

szklo@ppe.ufrj.br