



Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE

Instituto de Energia e Ambiente - IEE

Universidade de São Paulo - USP

PEN 5002: Recursos e Oferta de Energia

Prof. Célio Bermann

1ª aula - Formas e Fontes de Energia

Fontes de Energia

não-renováveis

- ▶ petróleo
- ▶ carvão mineral
- ▶ gás natural
- ▶ urânio (nuclear)

renováveis

- ▶ hidráulica
- ▶ biomassa
- ▶ solar
- ▶ eólica
- ▶ geotérmica
- ▶ maremotriz e das ondas
- ▶ hidrogênio (célula combustível)

Serviços Energéticos

- ▶ **Força Motriz:** *Energia usada em motores estacionários ou de veículos de transporte individual ou coletivo, de carga, tratores, máquinas agrícolas, de terraplenagem e de movimentação de terras.*
- ▶ **Iluminação:** *Energia usada em iluminação de interiores e externa.*
- ▶ **Refrigeração:** *Energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar condicionado tanto de ciclo de compressão como de absorção.*
- ▶ **Aquecimento Direto:** *Energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas.*
- ▶ **Calor de Processo:** *Energia usada em caldeiras e aquecedores de água ou de fluidos térmicos.*
- ▶ **Eletroquímica:** *Energia usada em células eletrolíticas, (p.ex., redução do alumínio), processos de galvanoplastia e eletrodeposição.*
- ▶ **Outros usos:** *Energia usada em computadores, telecomunicações, máquinas de escritório, xerografia e equipamentos eletrônicos de controle.*

~~Matriz Energética~~

Matriz de Leontief,
ou Matriz de insumo-produto
(Wassily Leontief, 1941)

INPUTS



Processo
Produtivo
(Bens e Serviços)



OUTPUTS

Fontes
Energéticas

Serviços
Energéticos

Setores de
Consumo

Oferta Energética

(Energy Supply)

Energia – conversões

Formas de energia; Fontes de energia

As Formas de energia

1. A energia das ondas eletromagnéticas

A energia do Sol é gerada pela fusão termonuclear de elementos leves (Hidrogênio), produzindo Deutério e Hélio.

Nessa reação, uma parte da massa de partículas que interagem é transformada em energia, segundo a fórmula

$$E = m.c^2$$

A energia liberada pelo Sol por meio de ondas eletromagnéticas, irradiada para todos os lados, implica numa enorme perda de massa diária, da ordem de trilhões de toneladas. Uma pequena parte dessa energia chega à Terra, especialmente sob luz visível.

biomassa – combustíveis fósseis – energia hídrica – energia eólica

As Fontes de energia

a) Energia solar

A energia solar é originada da fusão termonuclear de elementos leves no Sol e transportada para a Terra sob a forma de radiação eletromagnética.

A radiação eletromagnética solar provoca a síntese dos materiais orgânicos que constituem a **biomassa** e cuja decomposição, há milhões de anos, deu origem aos **combustíveis fósseis**.

Ela pode ser convertida diretamente em *energia elétrica* por meio de células fotovoltaicas, ou ser utilizada para o *aquecimento de água* ou *secagem de grãos* através de painéis e coletores solares.

As Fontes de energia

b) Energia da biomassa

A energia da biomassa é originada da fotossíntese (vegetais) e constituída de todos os seres vivos, inclusive animais e seus dejetos orgânicos.

A biomassa armazena **energia química** por meio das forças de coesão dos átomos de natureza eletromagnética.

A energia é liberada pela reação de combustão do Carbono e Hidrogênio na presença de Oxigênio.

Ela pode ser obtida via exploração direta da natureza (lenha das florestas naturais) ou produzida pelas culturas energéticas (álcool, florestas plantadas, óleos vegetais), ou pela decomposição de dejetos (biogás).

As Fontes de energia

c) Combustíveis fósseis

São substâncias originadas da decomposição de materiais orgânicos (biomassa), durante um longo período de tempo (tempo geológico = milhões de anos).

- **Petróleo**
- **Gás Natural**
- **Carvão Mineral**

Assim como a biomassa, estas substâncias também armazenam **energia química** por meio das forças de coesão dos átomos.

A energia é liberada pela reação do Carbono e Hidrogênio na presença do Oxigênio (combustão)

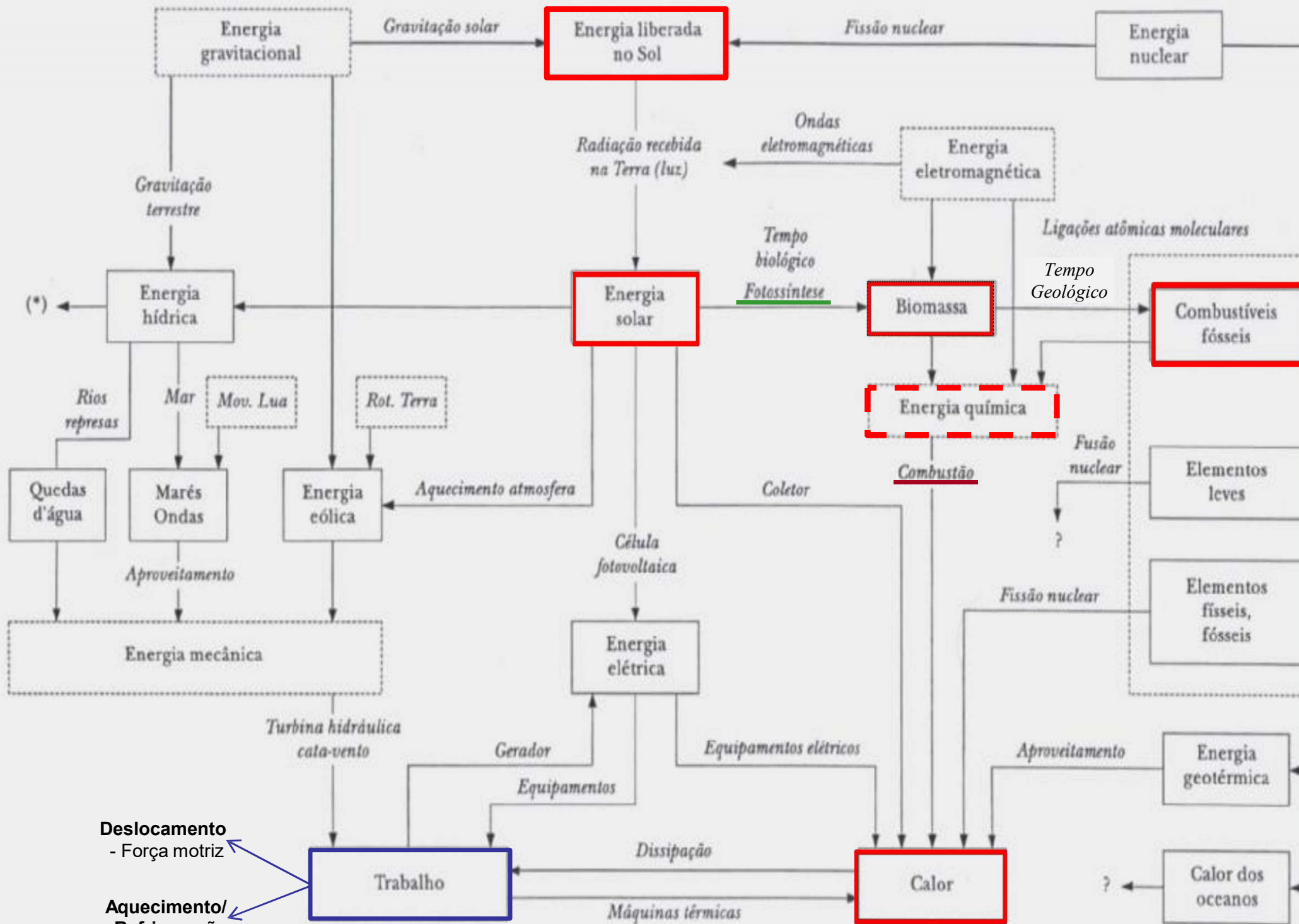
As Formas de energia

2. A energia química

Energia armazenada nos combustíveis, devido às forças de coesão dos átomos nas moléculas que o constituem.

A combustão é uma reação química onde átomos de Carbono ou de Hidrogênio vão ligar-se ao Oxigênio liberando energia térmica.

Fig. 2.1 - Origem das fontes de energia
 Fonte: La Rovere et al., 1985 (modificado).



As Formas de energia

3. A energia dos núcleos atômicos

Todos os materiais, substâncias são constituídos por átomos. O átomo é a unidade fundamental da matéria e a menor fração capaz de identificar um elemento químico, pois detém sua identidade. O termo átomo deriva do grego e significa indivisível.

Ele é formado por um núcleo, que contém nêutrons e prótons, e por elétrons que circundam o núcleo. A energia existente no núcleo dos átomos através das forças de coesão dos prótons e nêutrons é a energia atômica.

As Fontes de energia

d) A energia nuclear

Os “combustíveis” nucleares são materiais constituídos de certos átomos com núcleos pesados de alta probabilidade de fissionar-se sob certas condições, liberando grande quantidade de energia.

URÂNIO¹: U_{235} (0,7%) $\longrightarrow$ (3,0%) (enriquecimento)

Eles armazenam a energia existente no núcleo dos átomos através das forças de coesão dos prótons e nêutrons.

A energia é liberada pelo bombardeio dos núcleos por nêutrons provocando a fissão dos mesmos.

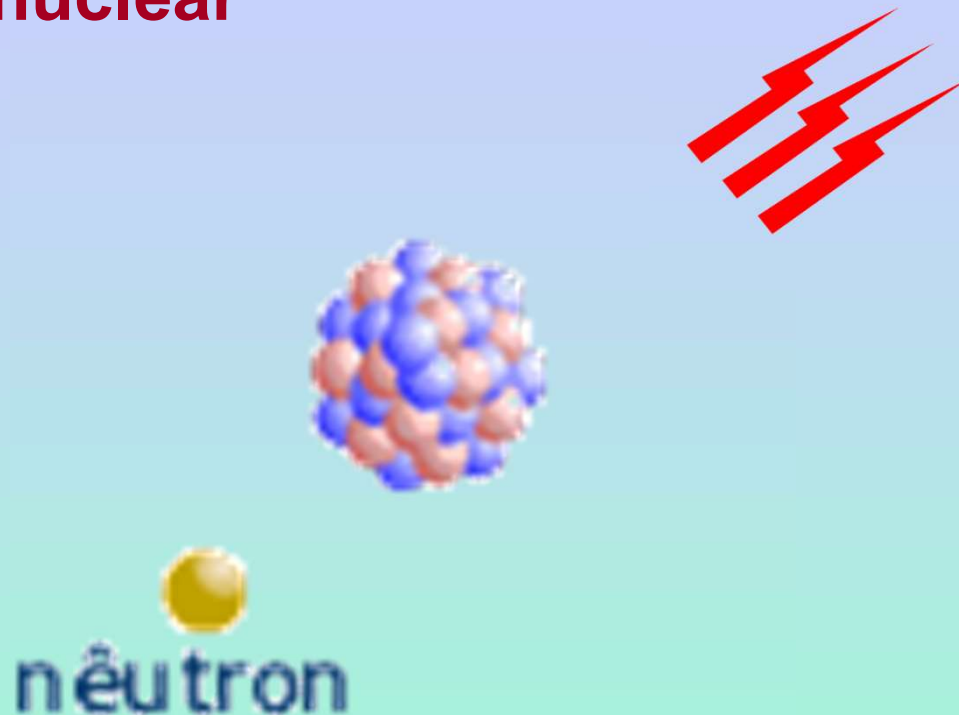
¹ O urânio presente na natureza tem massa atômica de 238 u, e apresenta número atômico 92 (92 prótons e 92 elétrons), também conhecido como U_{238} .

O U_{235} , por sua vez, é o isótopo com maior possibilidade de fissionar-se.

(u = unidade de massa atômica)

d) A energia nuclear

Fissão

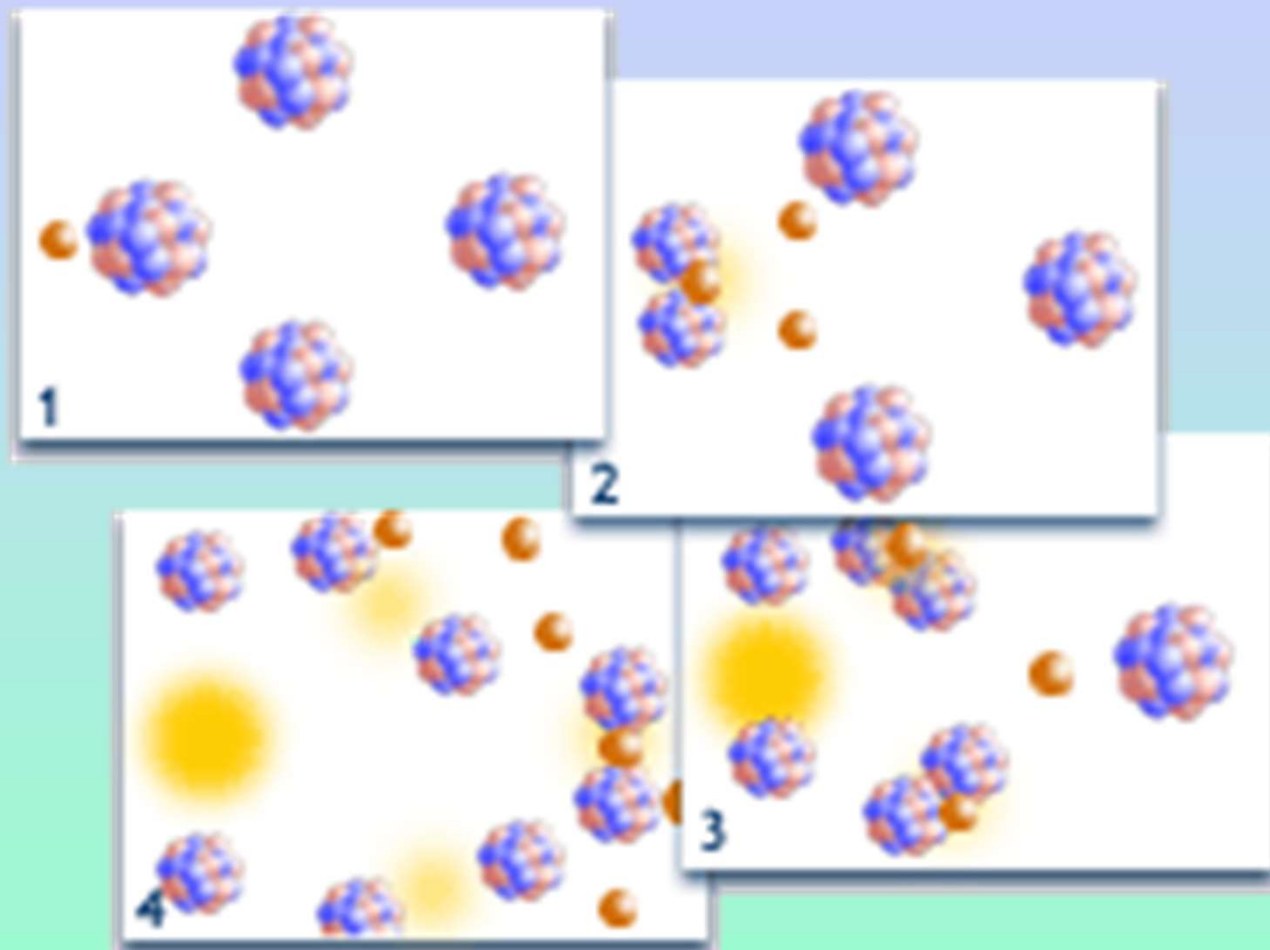


A energia que o núcleo do átomo possui, mantendo prótons e nêutrons juntos, denomina-se energia nuclear.

Quando um nêutron atinge o núcleo de um átomo de urânio-235, divide-o e ocorre a emissão de 2 a 3 nêutrons. Parte da energia que ligava os prótons e os nêutrons é liberada em forma de calor. Este processo é denominado fissão nuclear.

Fissão em Cadeia

Os nêutrons liberados na fissão atingem, sucessivamente, outros núcleos.

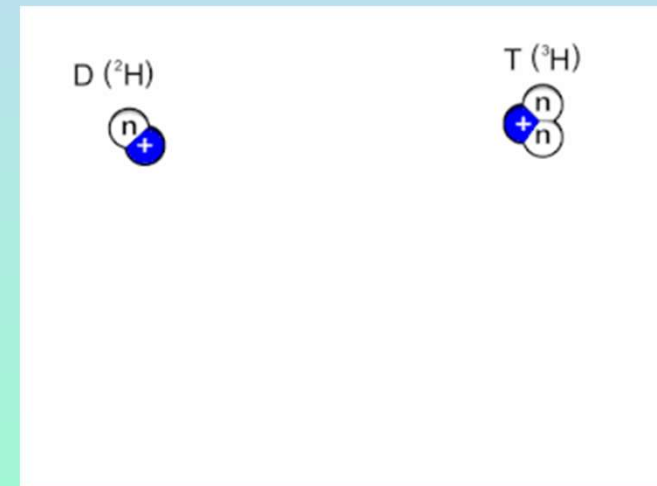
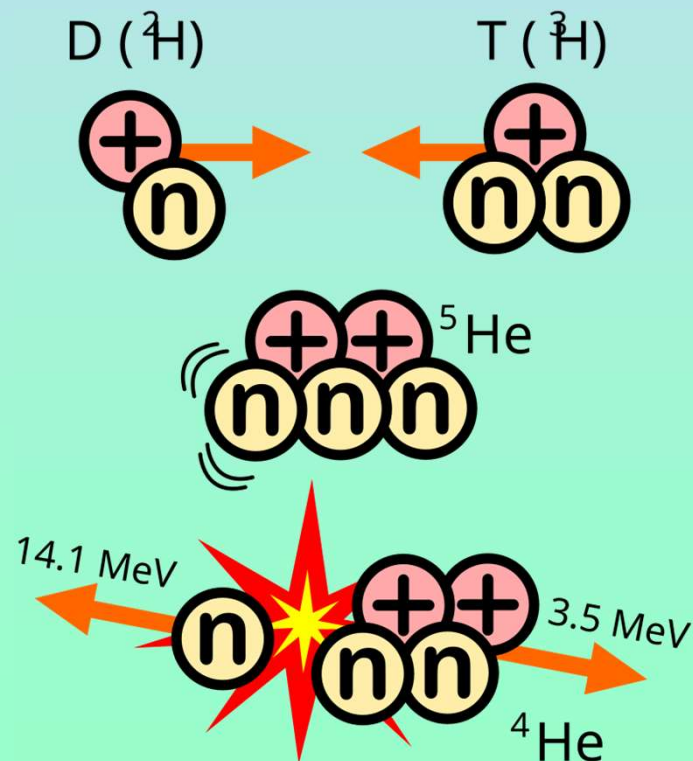


Na fissão nuclear em cadeia, há grande liberação de energia. Para suspender ou minimizar a reação, temos que "apreender" os nêutrons liberados, impedindo os choques sucessivos.

As Fontes de energia

d) A energia nuclear

A tecnologia da fusão nuclear ainda está em desenvolvimento e poderá fornecer grandes quantidades de energia no futuro, através da utilização de núcleos leves e abundantes na natureza



- 1: o deutério e o trítio são acelerados até uma velocidade que permita o início da reação.
- 2: é criado um núcleo instável de He⁵.
- 3: a ejeção de um nêutron e a expulsão de um núcleo de He⁴.

As Formas de energia

4. A energia potencial gravitacional

A força de atração da gravidade terrestre é responsável pelas quedas d'água: **energia hídrica**.

O movimento de rotação da Terra, a atração gravitacional da Terra sobre a massa da atmosfera que a envolve, e a energia solar, são responsáveis pela energia dos ventos: **energia eólica**.

Forças de atração gravitacional mútua entre a Terra e a Lua: **energia das marés**.

As Fontes de energia

e) Energia hídrica

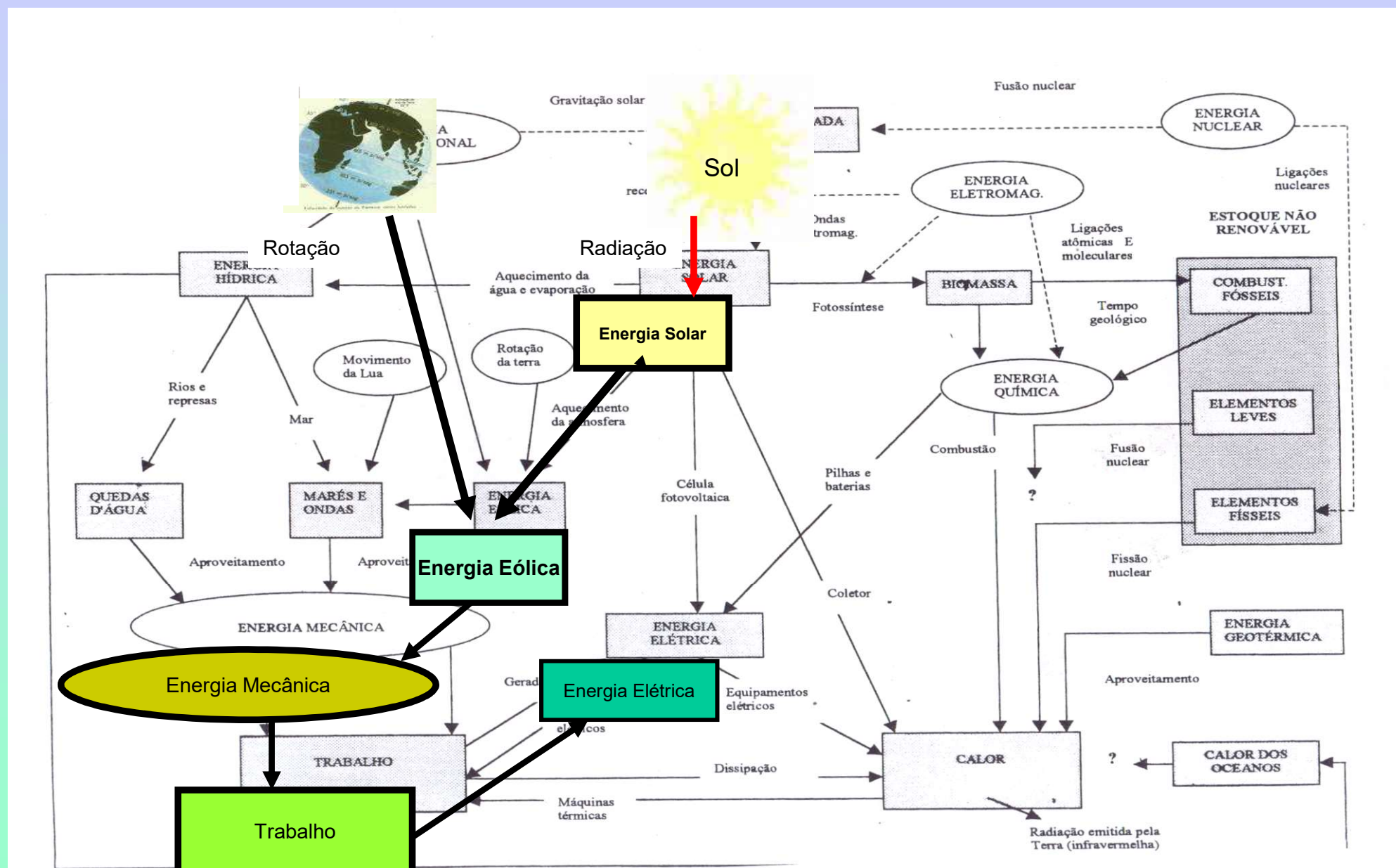
A energia hídrica é originada da atração gravitacional da Terra sobre os corpos na sua vizinhança.

A água é utilizada como fluido e a energia a ser obtida é decorrente da altura da queda d'água e da vazão.

É uma fonte de energia realimentada pelo ciclo de evaporação-condensação da água causado pela energia solar.

f) Energia eólica

A energia eólica é originada pelo deslocamento do ar (ventos) na atmosfera próxima à superfície da Terra, devido a diferenças de pressão (centros de alta e de baixa), provocadas pelo aquecimento diferenciado do ar pela energia solar e também pelo movimento de rotação da Terra.



As Fontes de energia

g) Energia das marés

Energia das marés, decorrente do movimento de revolução da Lua em torno da Terra, atraindo gravitacionalmente a massa de água dos oceanos, fazendo variar a altura da superfície do mar.

h) Energia dos oceanos

1- Energia das ondas, provocada por efeitos combinados de movimentos do mar e dos ventos que se atritam com a superfície dos oceanos.

2- Energia térmica, devido à diferença de temperatura entre a água da superfície aquecida pela energia solar e as águas mais profundas dos oceanos.

As Fontes de energia

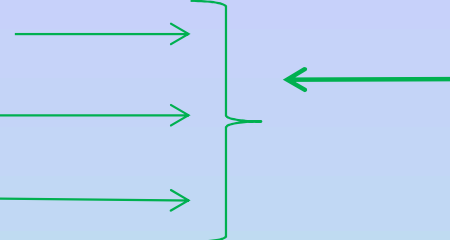
i) Energia geotérmica

A energia geotérmica é originada da alta temperatura do núcleo da Terra de onde provém o magma dos vulcões, e também as fontes de águas quentes naturais.

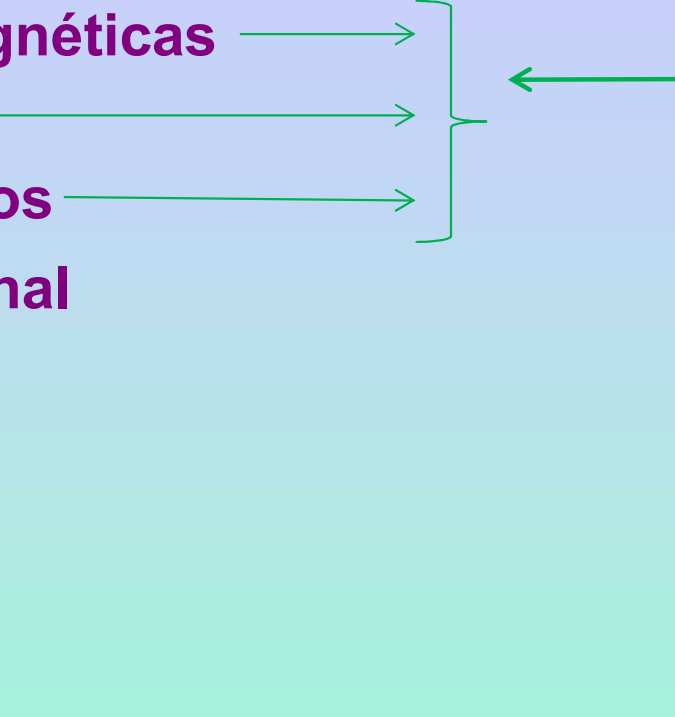
Esta energia é alimentada pela desintegração radioativa de núcleos atômicos instáveis no interior da Terra.

Quadro-Síntese

As Formas de energia:

- A energia das ondas eletromagnéticas →
 - A energia química →
 - A energia dos núcleos atômicos →
 - A energia potencial gravitacional
- 
- ```
graph LR; A[A energia das ondas eletromagnéticas] --> B[]; B --> C[]; C --> D[]; D --> E[]
```

## As Fontes de energia:

- Energia solar
  - Energia da biomassa
  - Combustíveis Fósseis petróleo →
  - Energia nuclear
  - Energia hídrica
  - Energia eólica
  - Energia das marés e oceanos
  - Energia geotérmica
- 
- ```
graph LR; F[Combustíveis Fósseis petróleo] --> G[ ]; G --> H[ ]
```


Principais unidades utilizadas para a quantificação de energia:

J: joule

Cal: caloria

Tep: tonelada equivalente de petróleo (tons of oil equivalent)

Bep: barris equivalentes de petróleo (barrels of oil equivalent)

Btu: unidade térmica britânica (British thermal unit)

kWh: kilowatt-hora

1 J = 1 kg x m²/s² - energia que acelera uma massa de 1 kg a 1 m/s² num espaço de 1 m

Nota: o Joule (j) é a unidade padrão de energia do Sistema Internacional de unidades (SI)

1 Cal - energia necessária para elevar em 1 grau Celsius a temperatura de 1 quilograma de água.

1 Tep - unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru

Nota: importância como unidade de energia decorrente da dinâmica econômico-política na atualidade

1 Btu - quantidade de energia necessária para se elevar a temperatura de uma massa de uma libra de água em 1°F, sob pressão constante de 1 atm (utilizada nos EUA e Reino Unido). 1°F = -17,22 °C

1 kWh - unidade de energia elétrica - é a quantidade de energia necessária para alimentar uma carga com potência de 1 quilowatt durante 1 hora

Para grandes quantidades de qualquer unidade de energia, (ver exemplo com a unidade joule) utiliza-se:

1 kJ = kilojoule	10 ³ joules	1 TG = terajoule	10 ¹² joules
1 MJ = megajoule	10 ⁶ joules	1 PG = petajoule	10 ¹⁵ joules
1 GJ = gigajoule	10 ⁹ joules	1 EJ = exajoule	10 ¹⁸ joules

Tabela VIII.5 – Fatores de Conversão para Energia

Table VIII.5 – Energy Conversion Factors

Multiplicar por de para to Multiply by from		J	BTU	cal	kWh	tep (toe)	bep (boe)		
Joule	(J)	1	$947,8 \times 10^{-6}$	0,2388	$277,8 \times 10^{-9}$	$2,388 \times 10^{-11}$	$1,681 \times 10^{-10}$	(J)	Joule
Unidade Térmica Britânica	(BTU)	$1,055 \times 10^3$	1	252	$293,07 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-8}$	$1,776 \times 10^{-7}$	(BTU)	British Thermal Unit
Caloria	(cal)	4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	10^{-10}	$7,042 \times 10^{-10}$	(cal)	calorie
Quilowatt-hora	(kWh)	$3,6 \times 10^6$	3412	860×10^3	1	$8,598 \times 10^{-5}$	$6,061 \times 10^{-4}$	(kWh)	kilowatt-hour
Tonelada equivalente de petróleo	(tep)	$41,868 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	10^{10}	$11,63 \times 10^3$	1	7,0369	(toe)	Tons of oil equivalent
Barril equivalente de petróleo	(bep)	$5,95 \times 10^9$	$5,63 \times 10^6$	$1,42 \times 10^9$	$1,65 \times 10^3$	0,1421	1	(boe)	barrels of oil equivalent

Fonte: MME/EPE. Balanço Energético Nacional - ano-base: 2020, 2021.

General conversion factors for energy

To:	PJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
From:	multiply by:				
PJ	1	2.388×10^5	2.388×10^{-2}	9.478×10^5	2.778×10^2
Gcal	4.187×10^{-6}	1	1.000×10^{-7}	3.968	1.163×10^{-3}
Mtoe	4.187×10^1	1.000×10^7	1	3.968×10^7	1.163×10^4
MBtu	1.055×10^{-6}	2.520×10^{-1}	2.520×10^{-8}	1	2.931×10^{-4}
GWh	3.600×10^{-3}	8.598×10^2	8.598×10^{-5}	3.412×10^3	1

Material para consulta de dados a ser disponibilizado no curso:

ANP – Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023.

EPE/MME – Resenha Energética Brasileira – edição 2024.

EPE/MME – Balanço Energético Nacional - ano-base 2023, 2024.

EPE/MME – Plano Decenal de Expansão de Energia 2034, 2024.

IEA – Key World Energy Statistics 2020, 2021.

MAPA – Anuário Estatístico da Agroenergia 2014, 2015.

Obs: a ser disponibilizado na pasta Documentos de Apoio

Contato do Prof. Célio Bermann:

e-mail: cbermann@iee.usp.br