



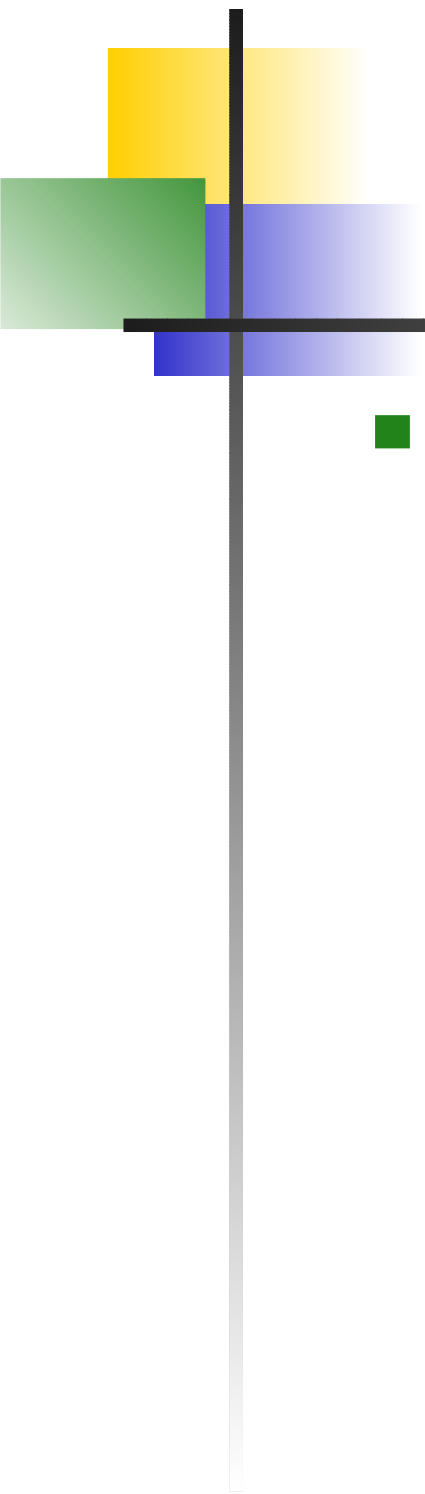
Energia Nuclear:

o que é, o que são seus riscos e benefícios

A. F. R. de Toledo Piza

Departamento de Física Matemática, IFUSP, SP

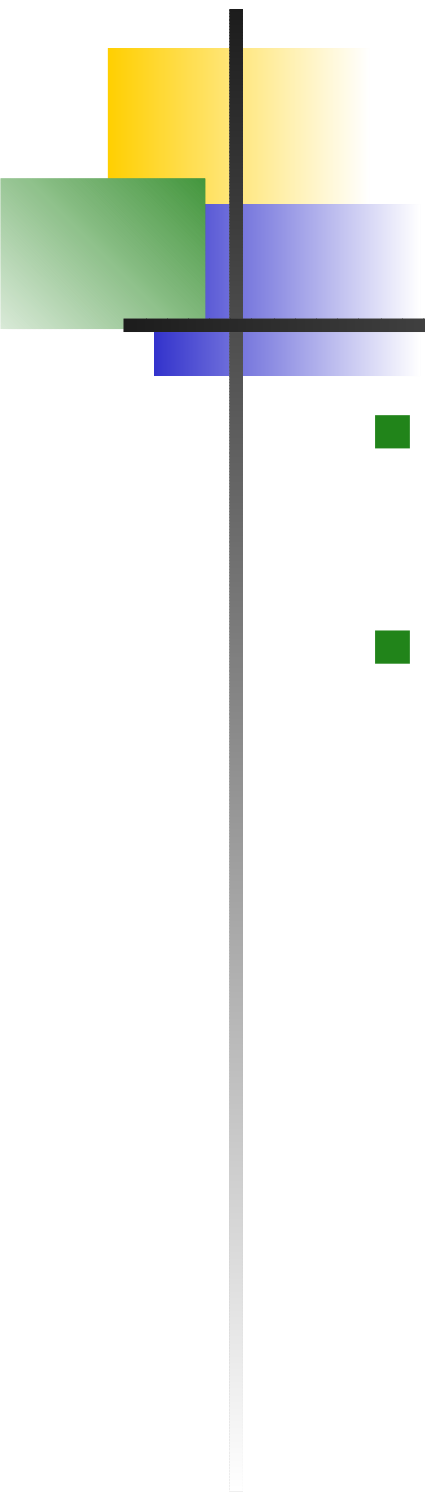
Ciência 19 horas, São Carlos, 07/06/2011



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas

↑ Energia nuclear

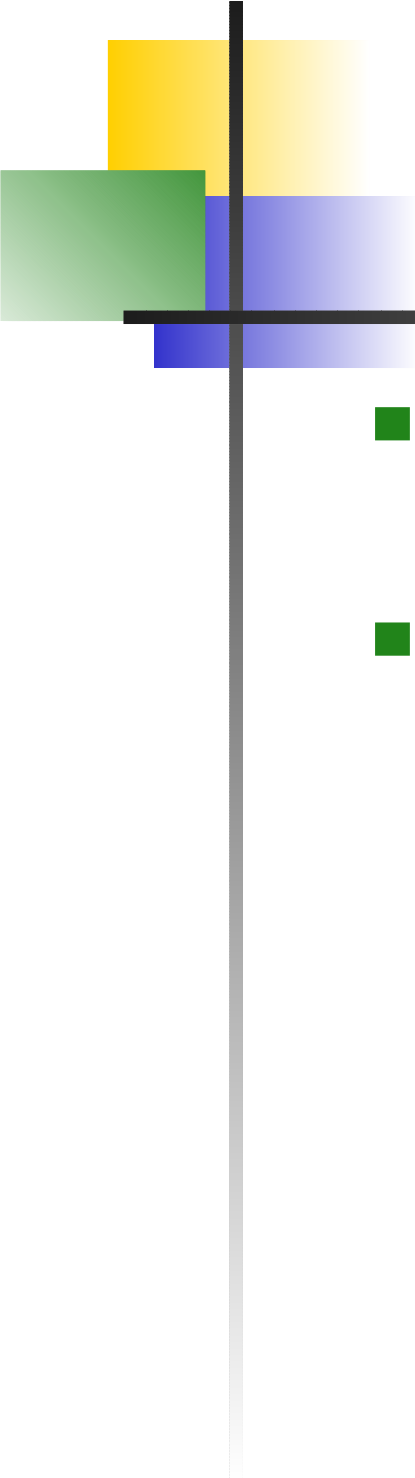


Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas

↑ Energia nuclear

- Equilíbrio × processos



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas

↑ Energia nuclear

- Equilíbrio × processos

- Energia disponível



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas

↑ Energia nuclear

- Equilíbrio × processos

- Energia disponível

- Diferentes formas



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas

↑ Energia nuclear

- Equilíbrio × processos

- Energia disponível

- Diferentes formas

- Diferentes fontes ← Energia nuclear



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas
 - ↑ Energia nuclear
- Equilíbrio × processos
 - Energia disponível
 - Diferentes formas
 - Diferentes fontes ← Energia nuclear
 - Escalas em processos



Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas
 - ↑ Energia nuclear
- Equilíbrio × processos
 - Energia disponível
 - Diferentes formas
 - Diferentes fontes ← Energia nuclear
 - Escalas em processos
 - Escalas na organização da matéria



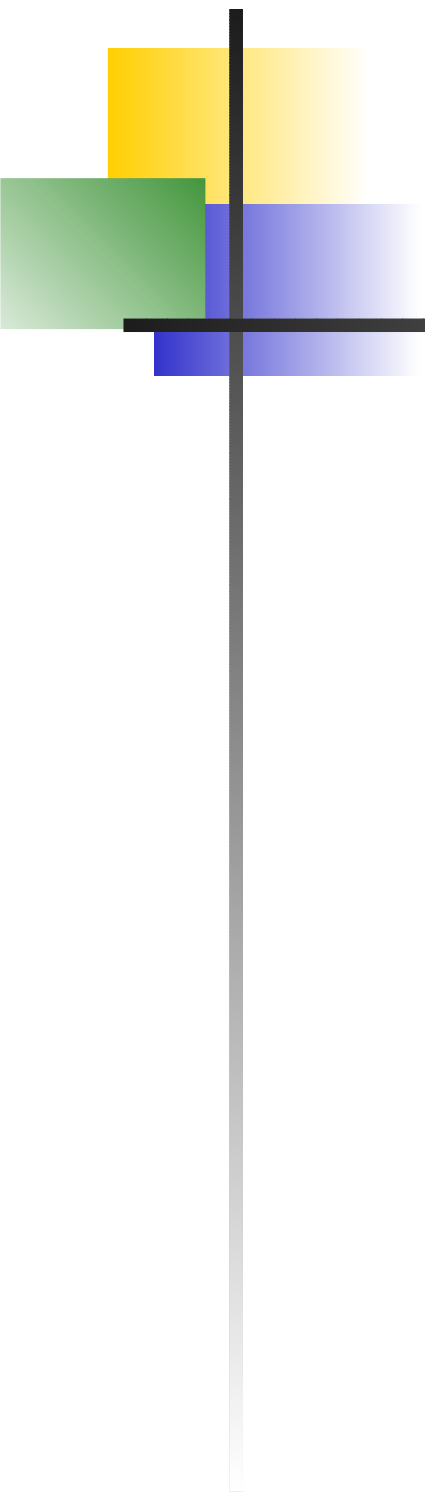
Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas
 - ↑ Energia nuclear
- Equilíbrio × processos
 - Energia disponível
 - Diferentes formas
 - Diferentes fontes ← Energia nuclear
 - Escalas em processos
 - Escalas na organização da matéria
 - Riscos e benefícios ← Energia nuclear



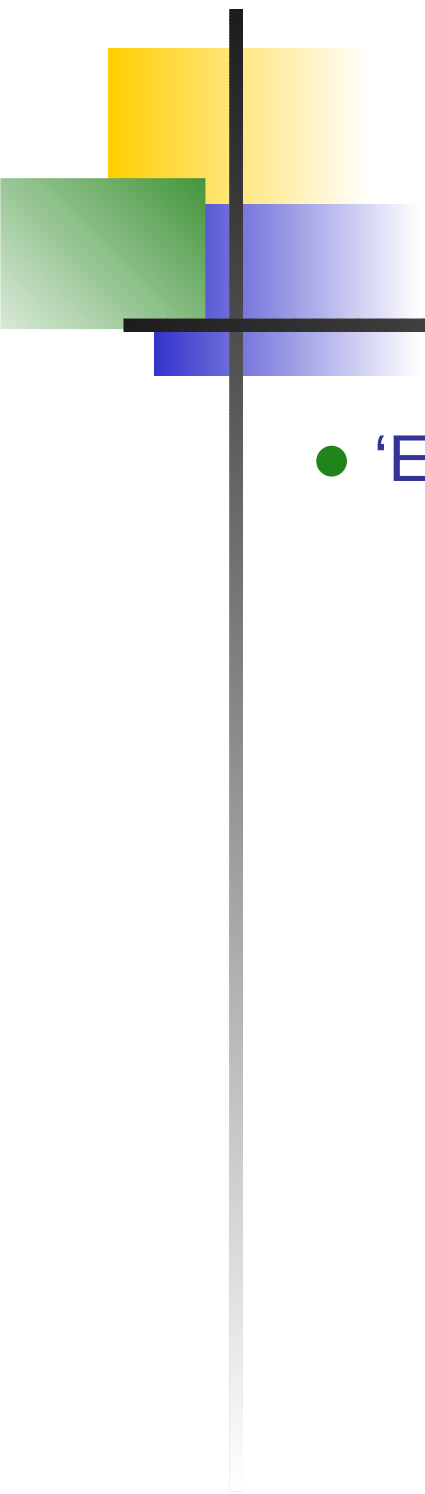
Roteiro geral

- Energia, conservação, diferentes formas
 - ↑ Energia nuclear
- Equilíbrio × processos
 - Energia disponível
 - Diferentes formas
 - Diferentes fontes ← Energia nuclear
 - Escalas em processos
 - Escalas na organização da matéria
 - Riscos e benefícios ← Energia nuclear
- Casos-tipo do mundo real



Conservações de energia

Google:



Conservações de energia

Google:

- 'Energy conservation' $\leftrightarrow$ Poupança de energia

Conservações de energia

Google:

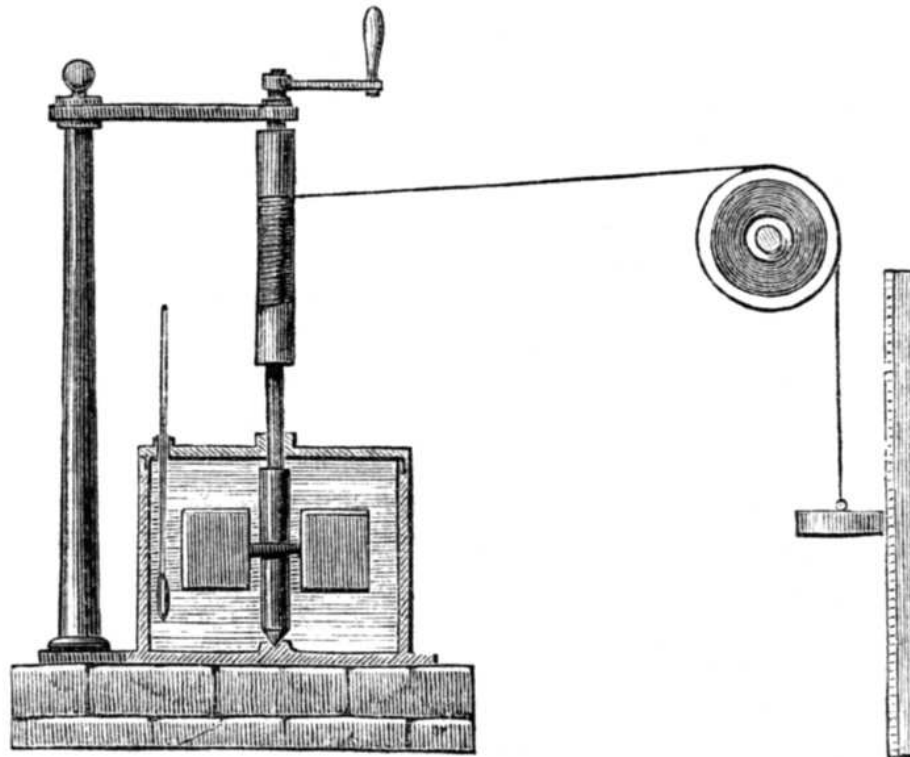
- 'Energy conservation' ↔ Poupança de energia

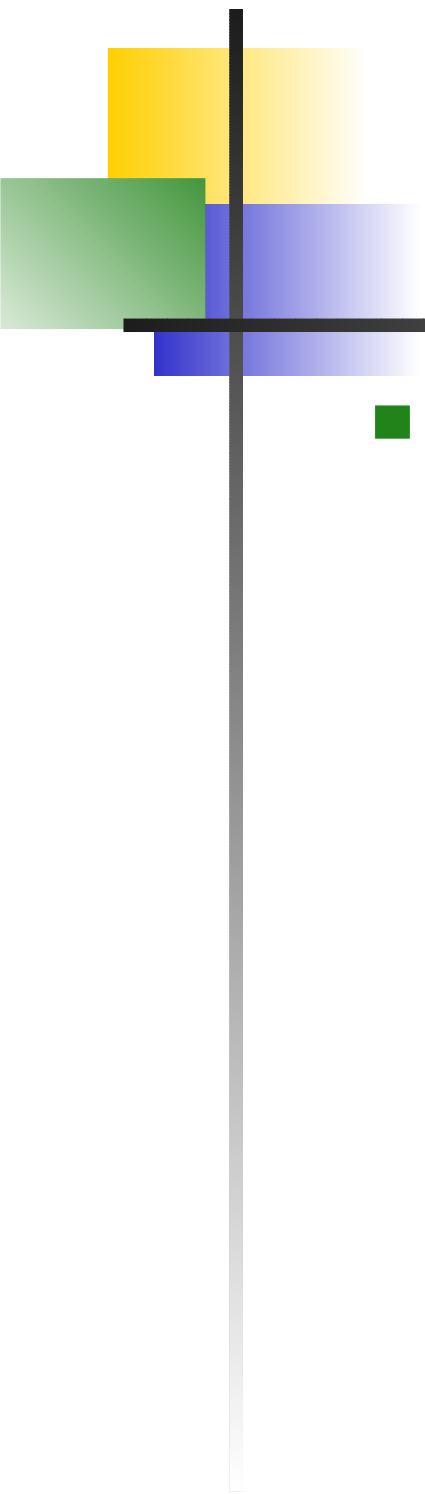


Conservações de energia

Google:

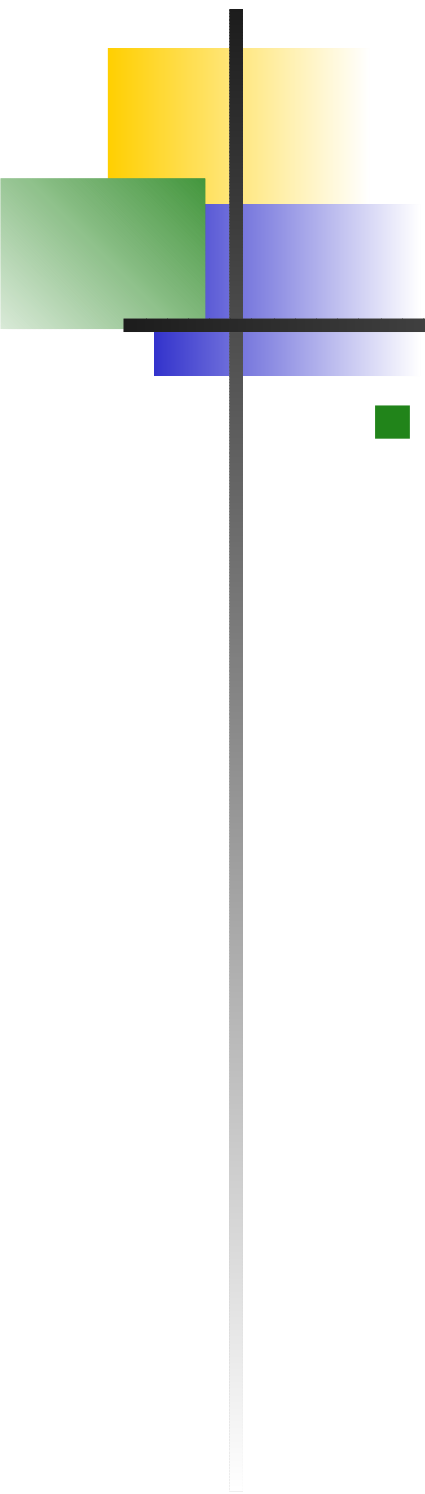
- 'Energy conservation' ↔ Poupança de energia
- 'Conservation of energy' ↔ Conservação de energia
↙ (física)





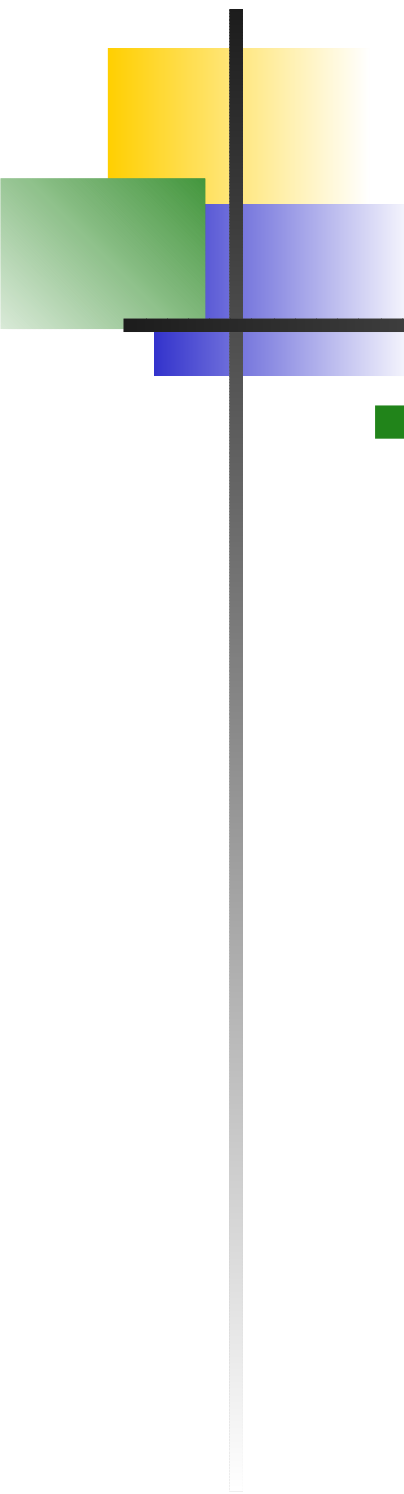
Conservação de energia (física)

- Afirmação quantitativa



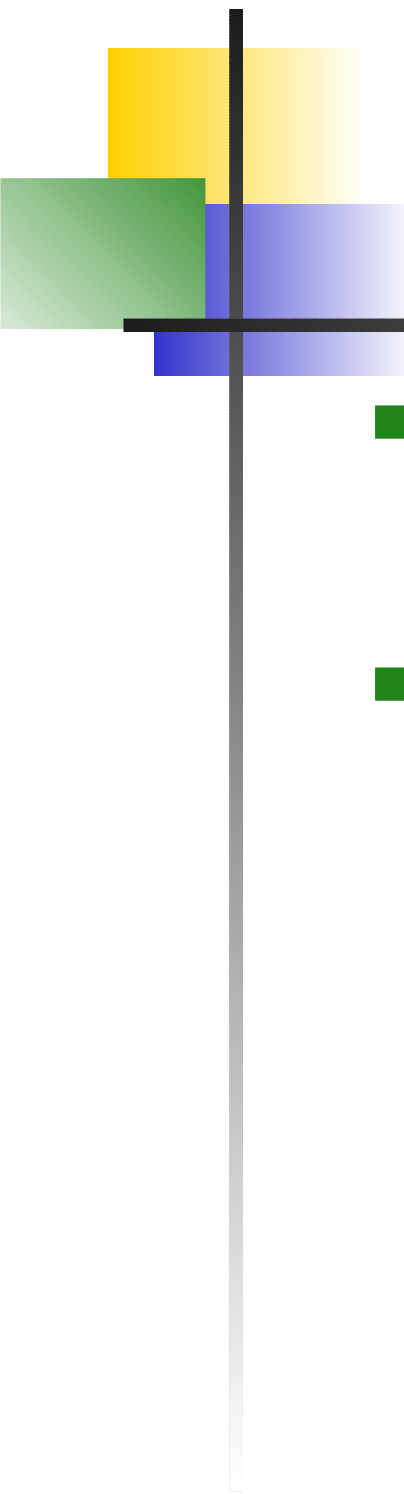
Conservação de energia (física)

- Afirmação quantitativa
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, nuclear...)



Conservação de energia (física)

- Afirmação **quantitativa**
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, **nuclear**...)
 - Taxas de conversão fixas

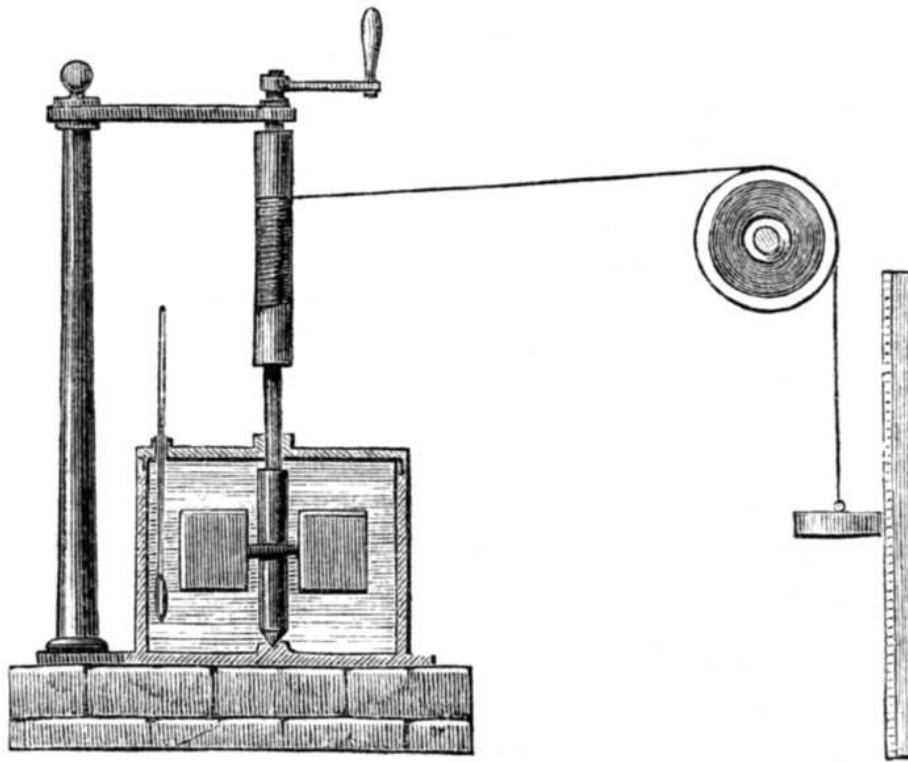


Conservação de energia (física)

- Afirmação **quantitativa**
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, **nuclear**...)
 - Taxas de conversão fixas
- Disponibilidade não apreciada

Conservação de energia (física)

- Afirmção **quantitativa**
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, **nuclear**...)
 - Taxas de conversão fixas
- Disponibilidade não apreciada



Conservação de energia (física)

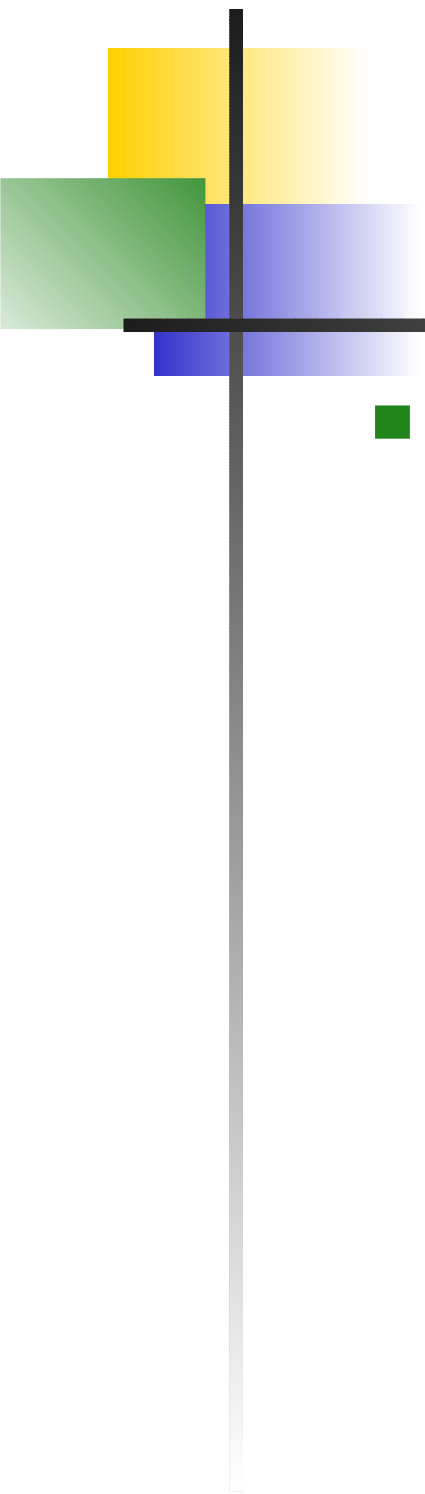
- Afirmação **quantitativa**
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, **nuclear**...)
 - Taxas de conversão fixas
- Disponibilidade não apreciada



Conservação de energia (física)

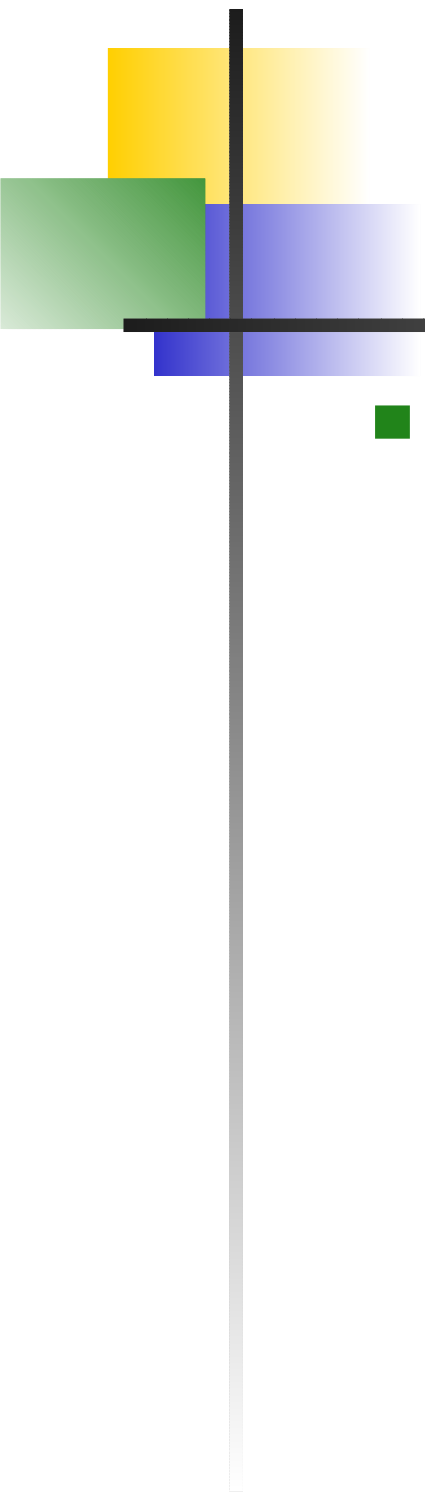
- Afirmação **quantitativa**
 - Muitas formas (mecânica, térmica, elétrica, química, **nuclear**...)
 - Taxas de conversão fixas
- Disponibilidade não apreciada





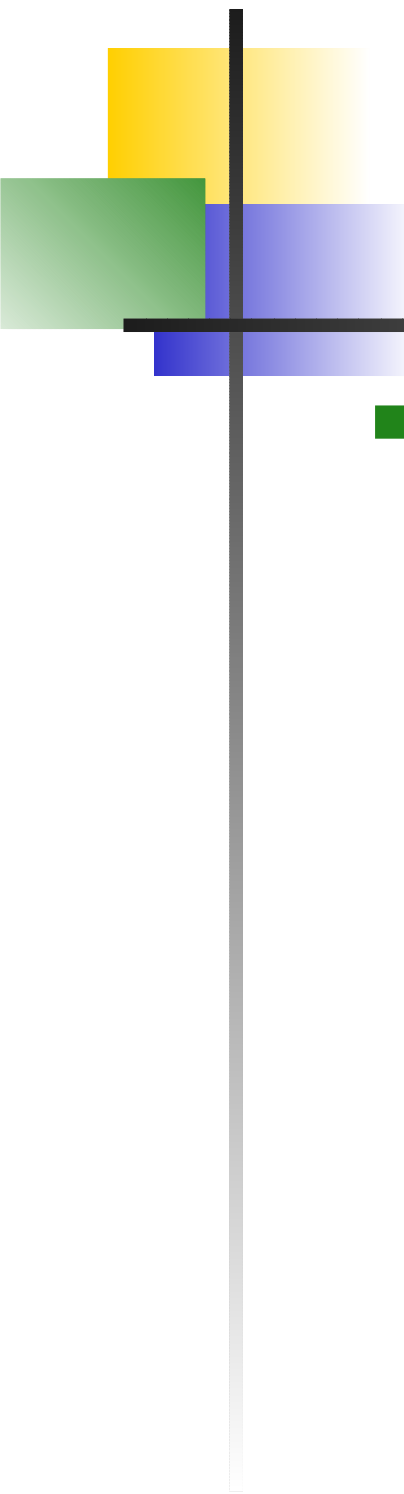
Disponibilidade: equilíbrio $\times$ processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)



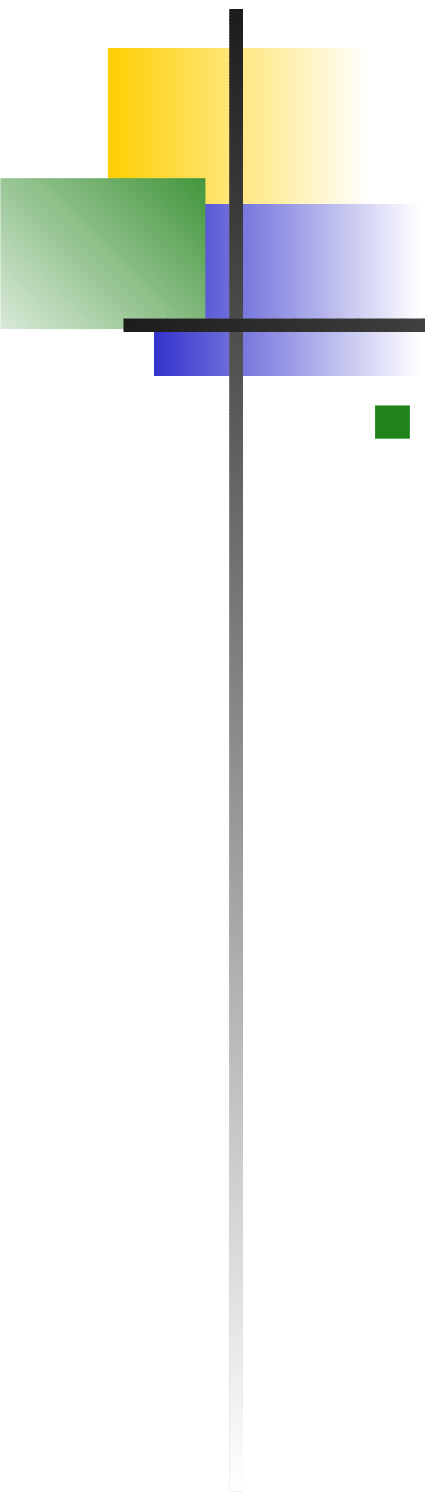
Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')



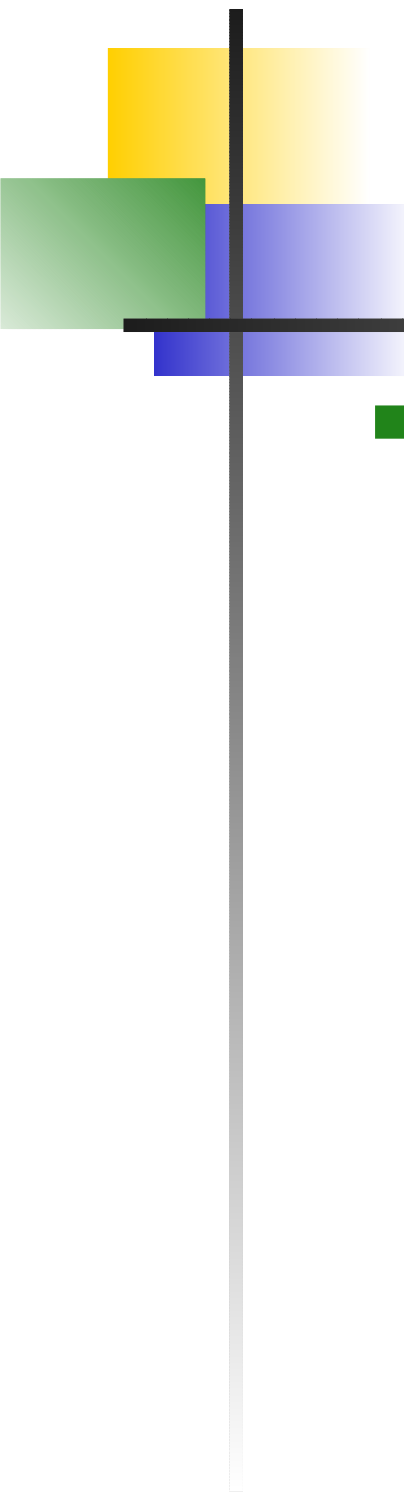
Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos



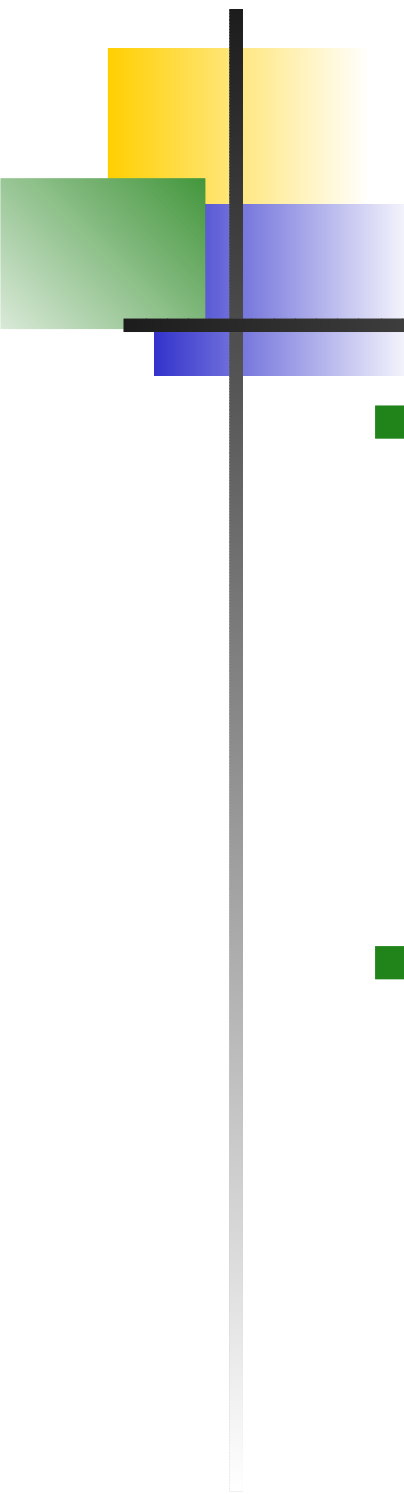
Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia



Disponibilidade: equilíbrio $\times$ processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia
 - Disponibilidade requer desequilíbrios



Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia
 - Disponibilidade requer desequilíbrios
- Processos requerem disponibilidade



Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia
 - Disponibilidade requer desequilíbrios
- Processos requerem disponibilidade
 - Desequilíbrios → fluxo e transformações de energia



Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia
 - Disponibilidade requer desequilíbrios
- Processos requerem disponibilidade
 - Desequilíbrios → fluxo e transformações de energia
 - Processos 'não estacionários'



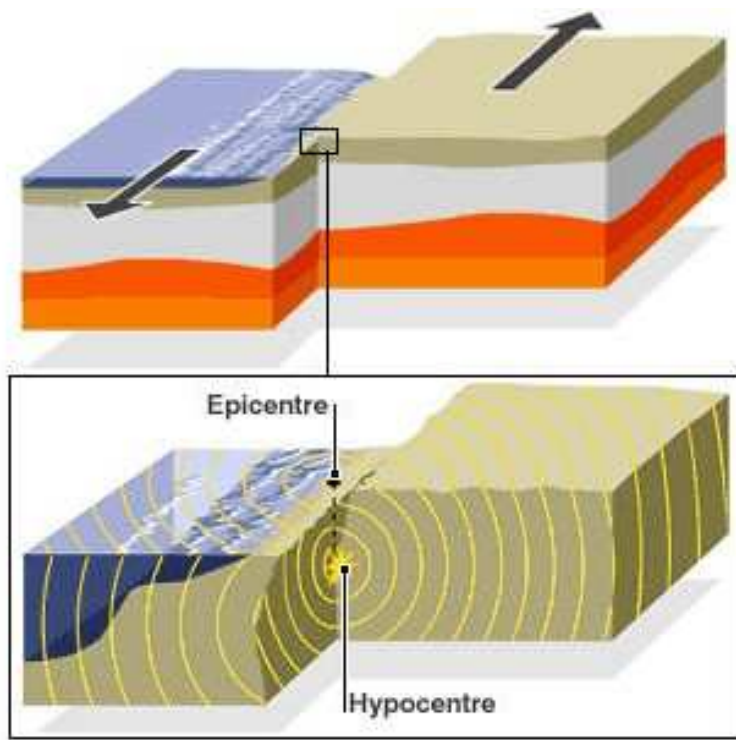
Disponibilidade: equilíbrio × processos

- Protótipo de equilíbrio: térmico (estatístico)
 - Democracia energética ('equipartição')
 - Ausência de processos
 - Indisponibilidade completa da energia
 - Disponibilidade requer desequilíbrios
- Processos requerem disponibilidade
 - Desequilíbrios → fluxo e transformações de energia
 - Processos 'não estacionários'
 - Processos 'estacionários'

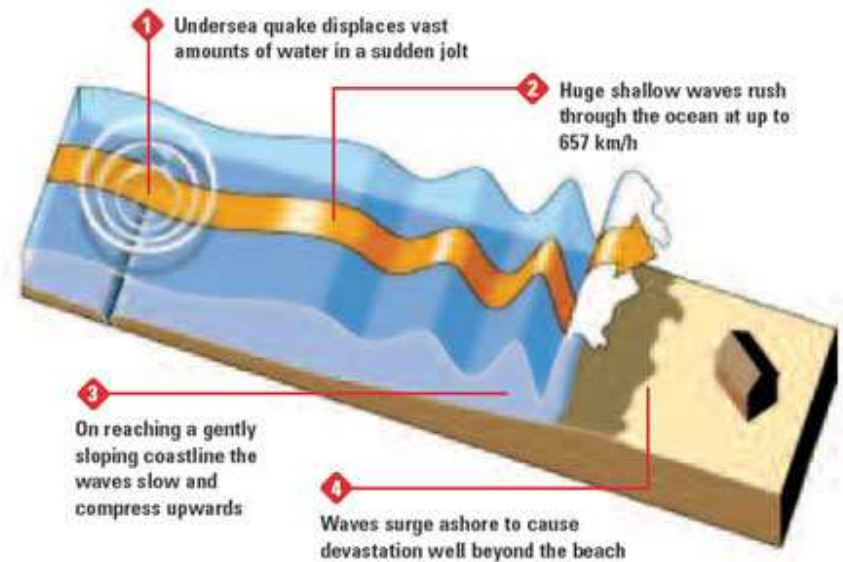
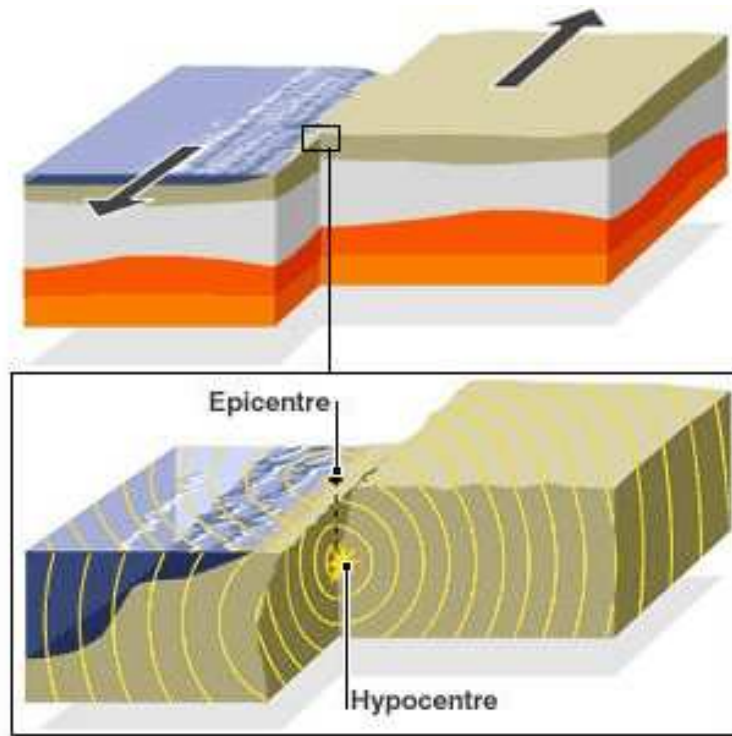
Processos não estacionários



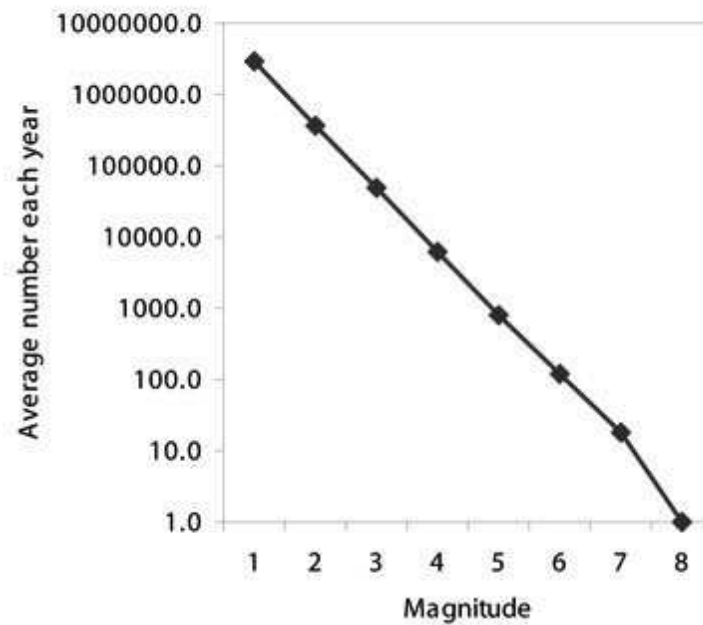
Processos não estacionários



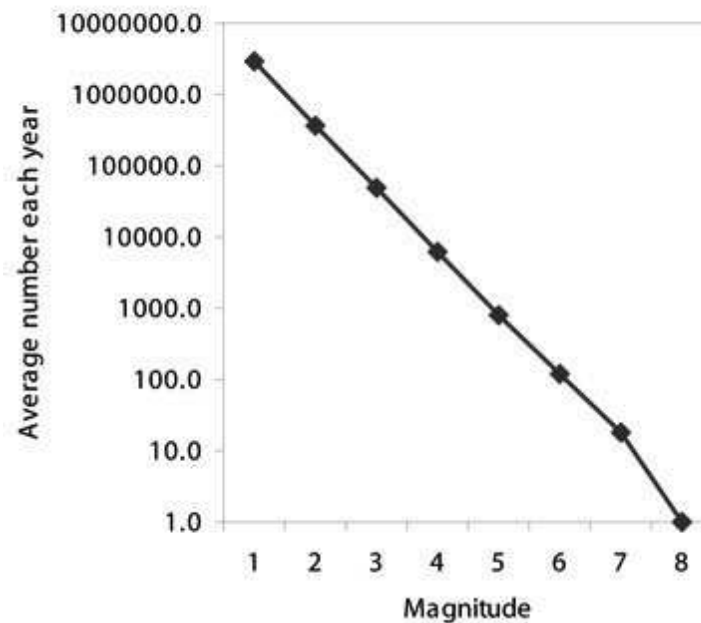
Processos não estacionários



Processos não estacionários - escalas



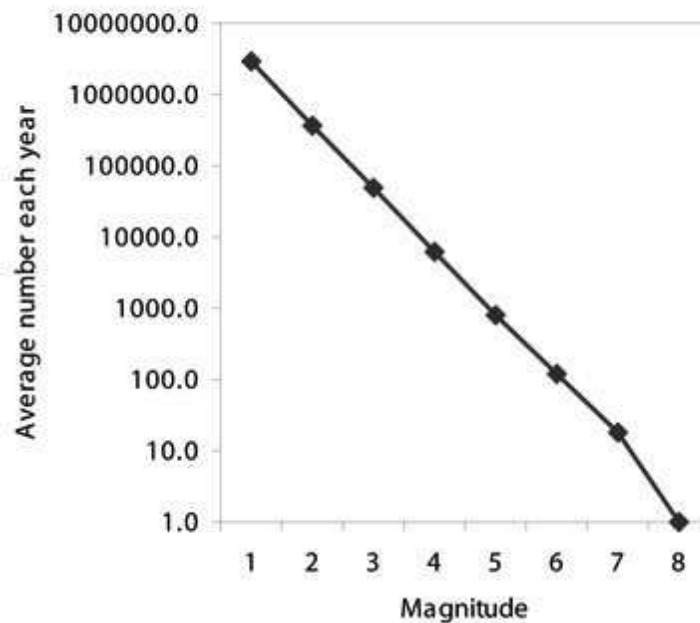
Processos não estacionários - escalas



Richter Energia

1	2×10^6 j
5	10^{12} j
9	10^{18} j

Processos não estacionários - escalas



Richter Energia

1 $2 \times 10^6 \text{ j}$

5 10^{12} j

9 10^{18} j

- $2 \times 10^6 \text{ j} \leftrightarrow 0,48 \text{ kg TNT} \sim 5 \text{ l gasolina}$; Richter 7 $\leftrightarrow \sim 0,5 \times 10^9 \text{ kg TNT}$

Processos estacionários



Processos estacionários



- Processos metabólicos humanos ~ 100 j/s

Processos estacionários

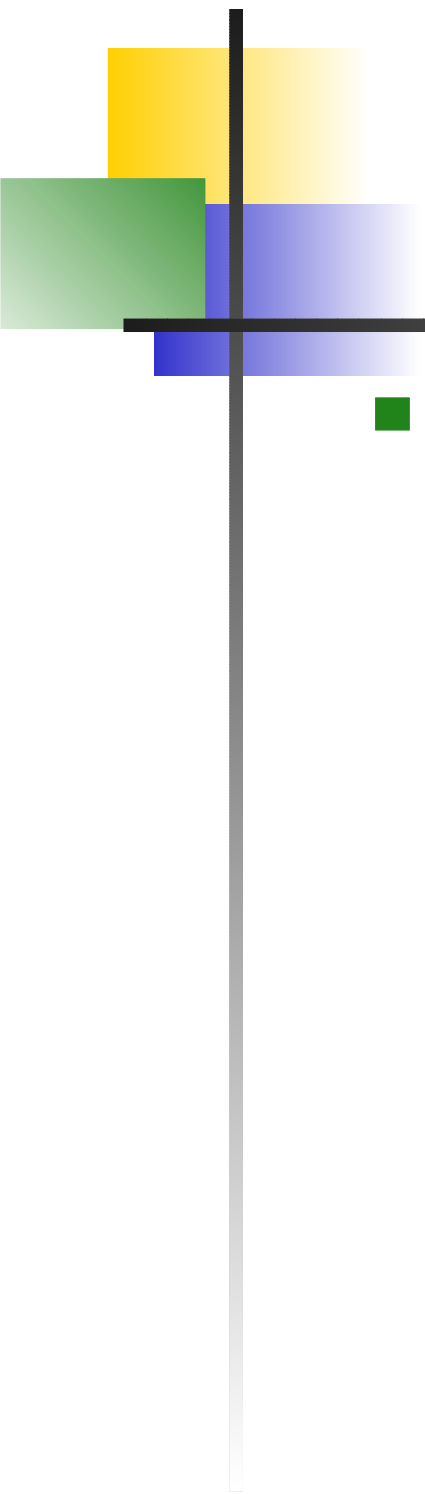


- Processos metabólicos humanos $\sim 100 \text{ j/s}$

Processos estacionários

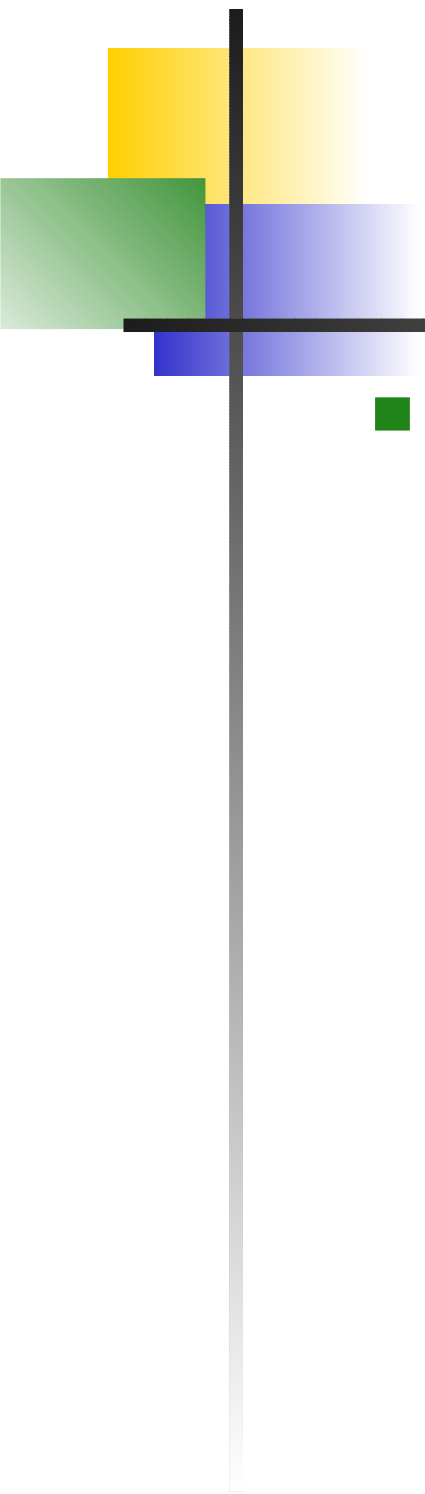
- Processo 'estacionário' no sol: $\sim 10^{20}$ j/s interceptados pela terra





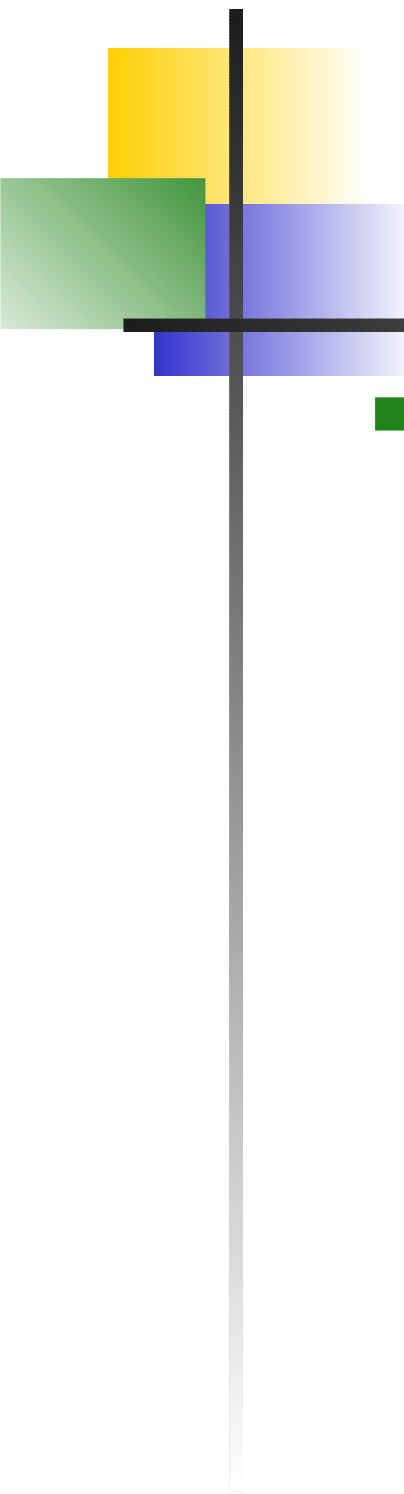
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade



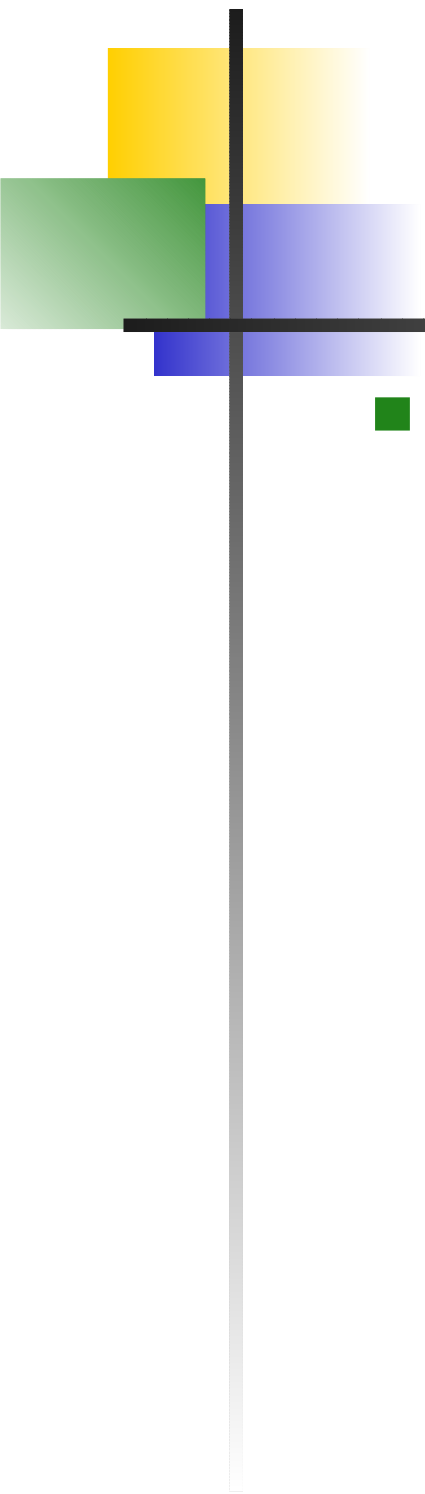
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica



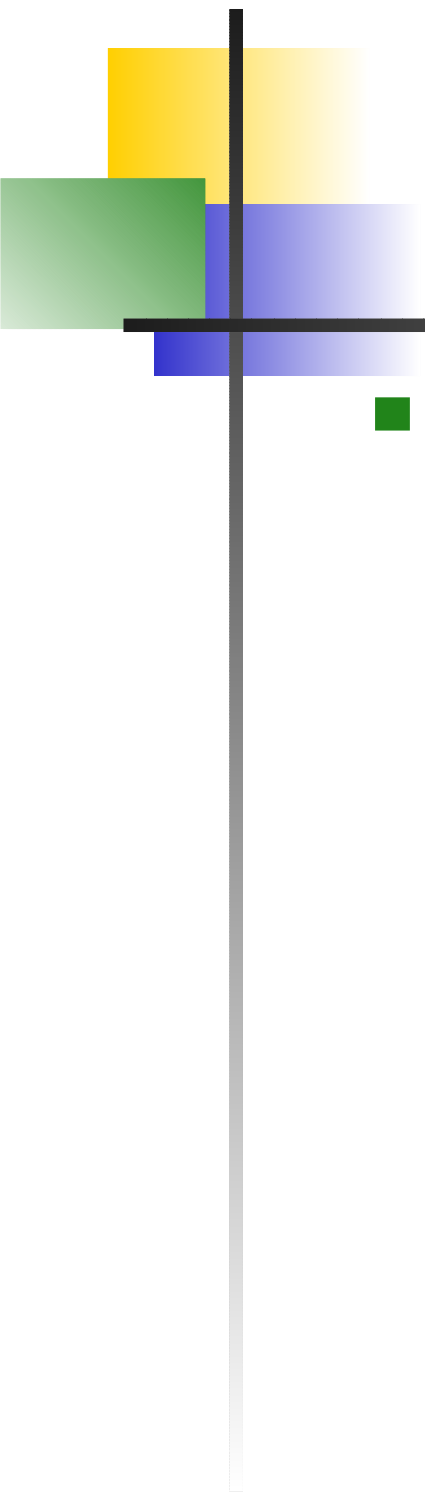
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte



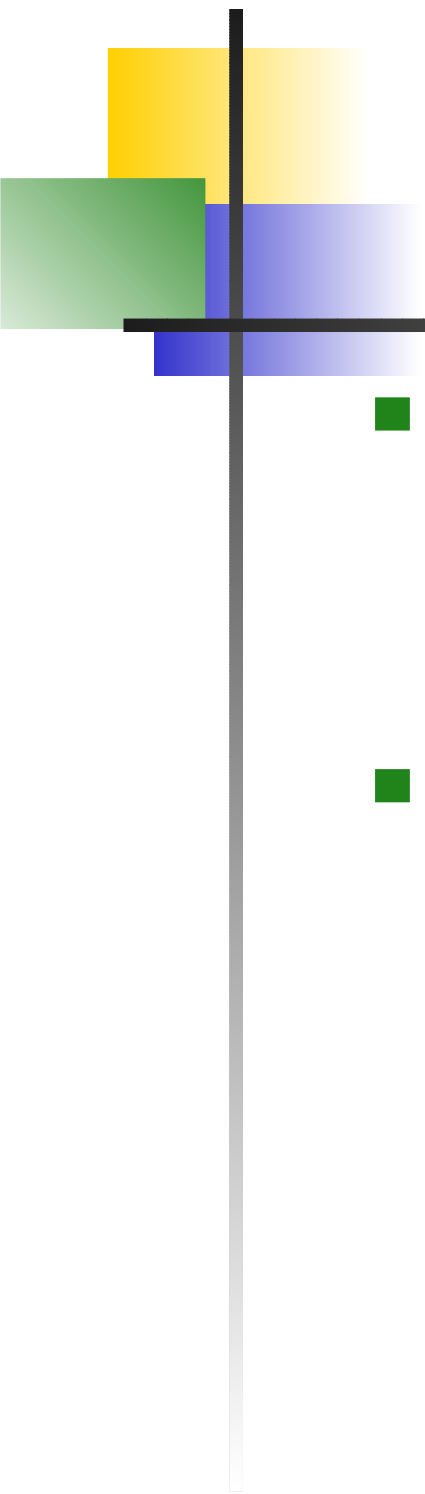
Formas e fontes de **energia disponível**

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química



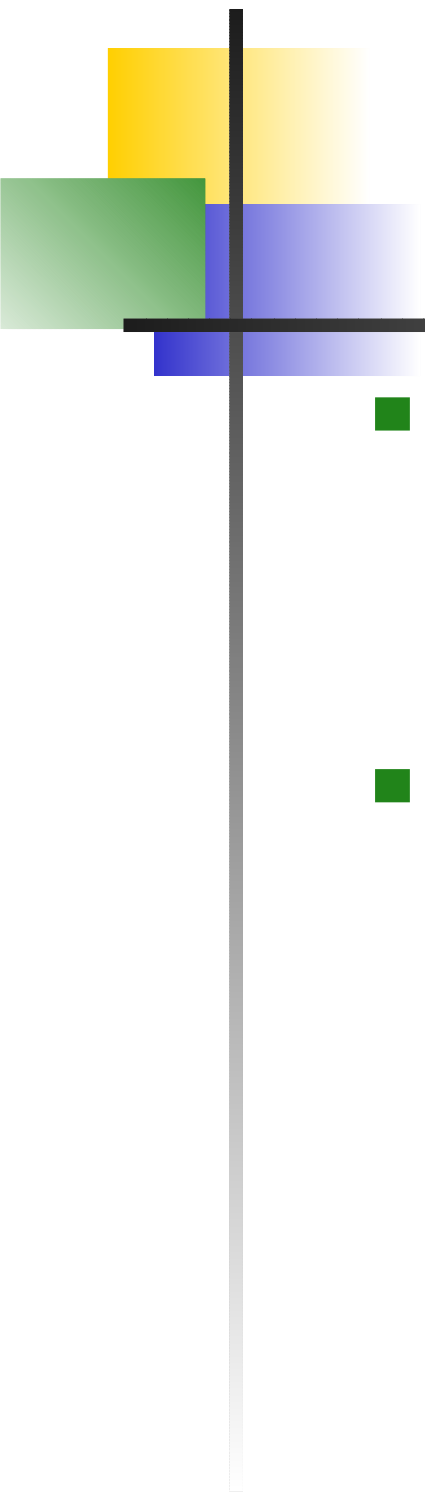
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos



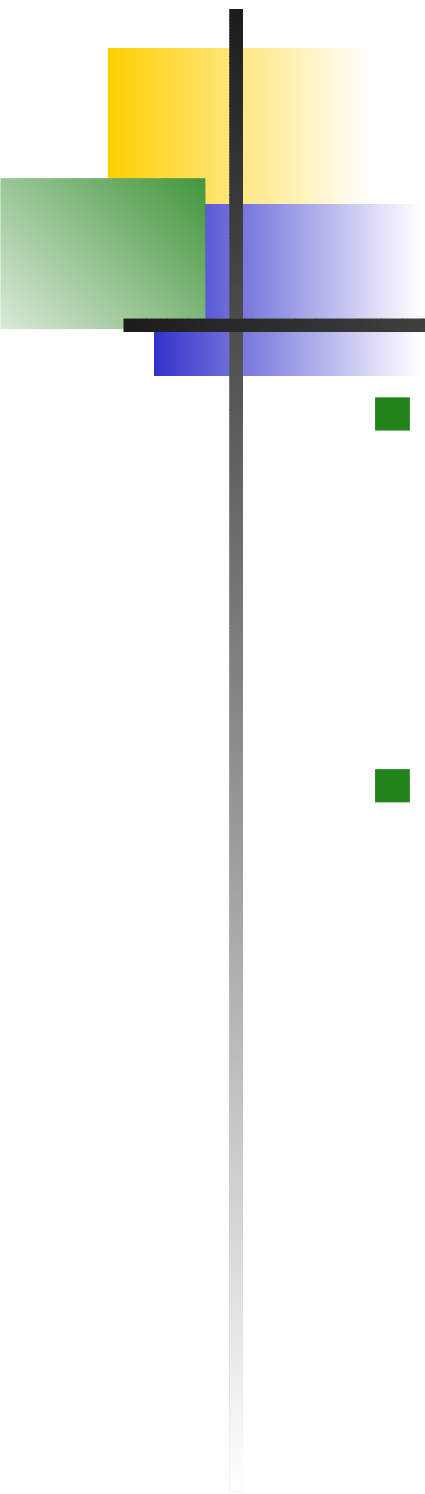
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo



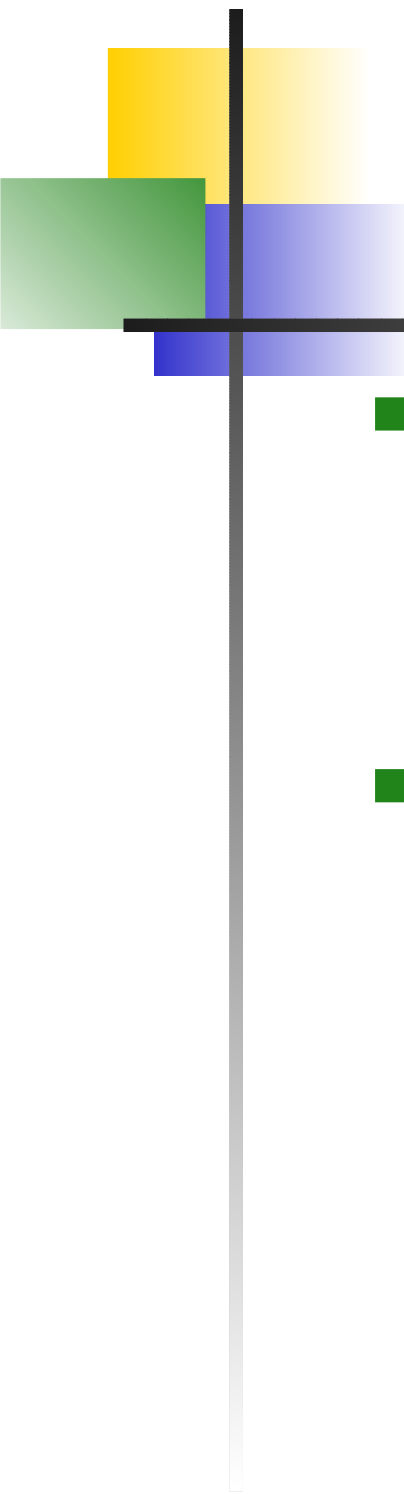
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa
 - Energia eletromagnética



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa
 - Energia eletromagnética
 - Energia radiante solar ← plantas verdes!



Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa
 - Energia eletromagnética
 - Energia radiante solar ← plantas verdes!
 - Energia nuclear



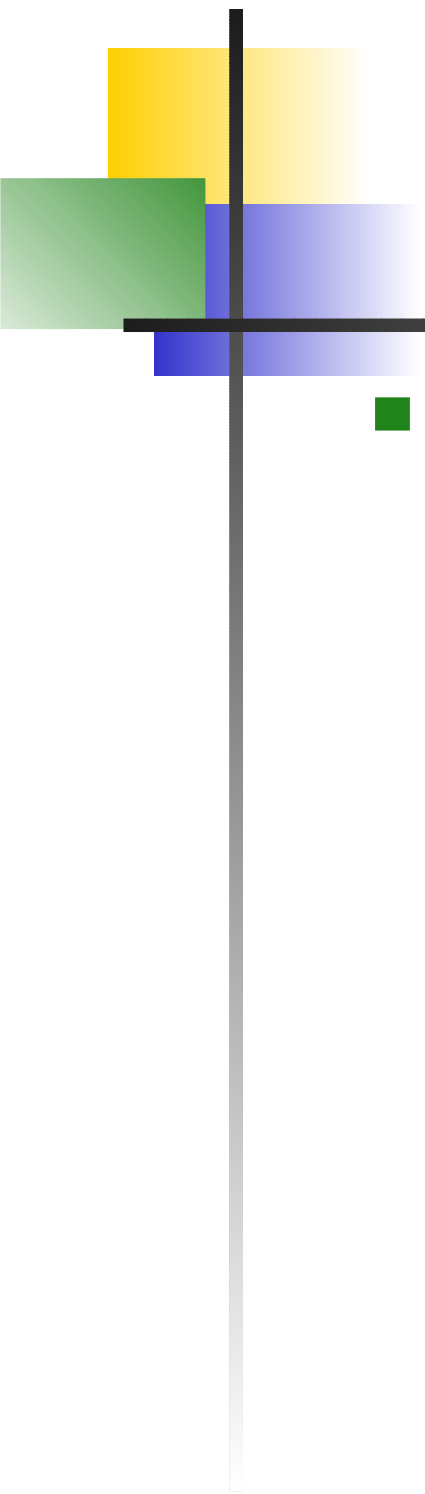
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa
 - Energia eletromagnética
 - Energia radiante solar ← plantas verdes!
 - Energia nuclear
 - Elementos pesados físséis (fóssil)



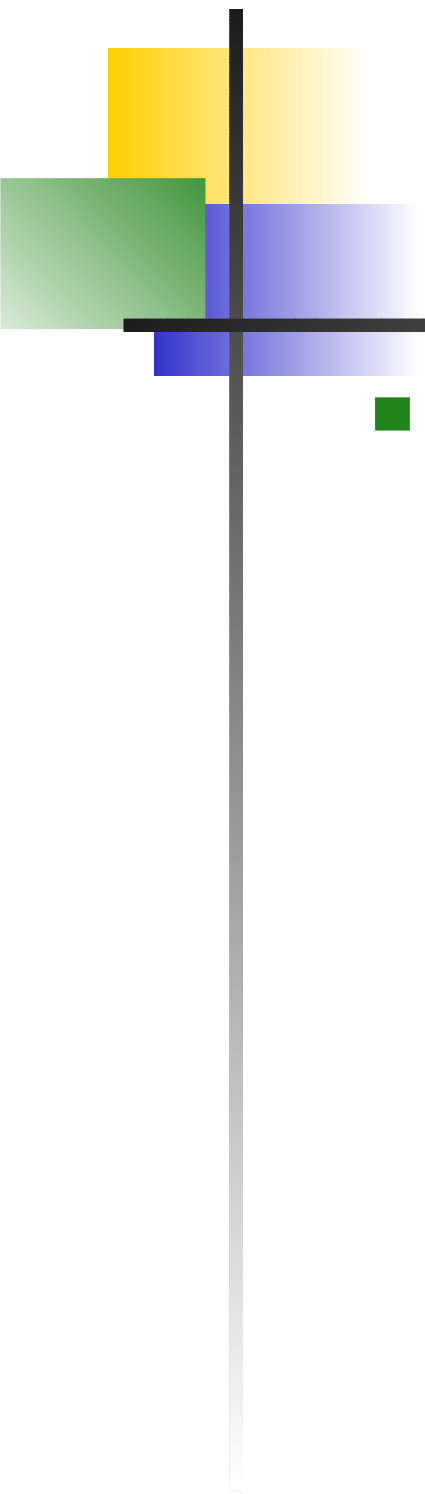
Formas e fontes de energia disponível

- Formas relevantes para consumo: conveniência, versatilidade
 - Energia elétrica
 - Iluminação, aquecimento, comunicação, transporte
 - Energia química
 - Transporte, aquecimento, eletricidade portátil, alimentos
- Fontes para as formas de consumo
 - Energia mecânica
 - Desequilíbrios 'naturais': quedas d'água, ventos, marés. . .
 - Energia química
 - Petróleo (fóssil), Biomassa
 - Energia eletromagnética
 - Energia radiante solar ← plantas verdes!
 - Energia nuclear
 - Elementos pesados físséis (fóssil)
- Conveniência das fontes: escalas na constituição da matéria!



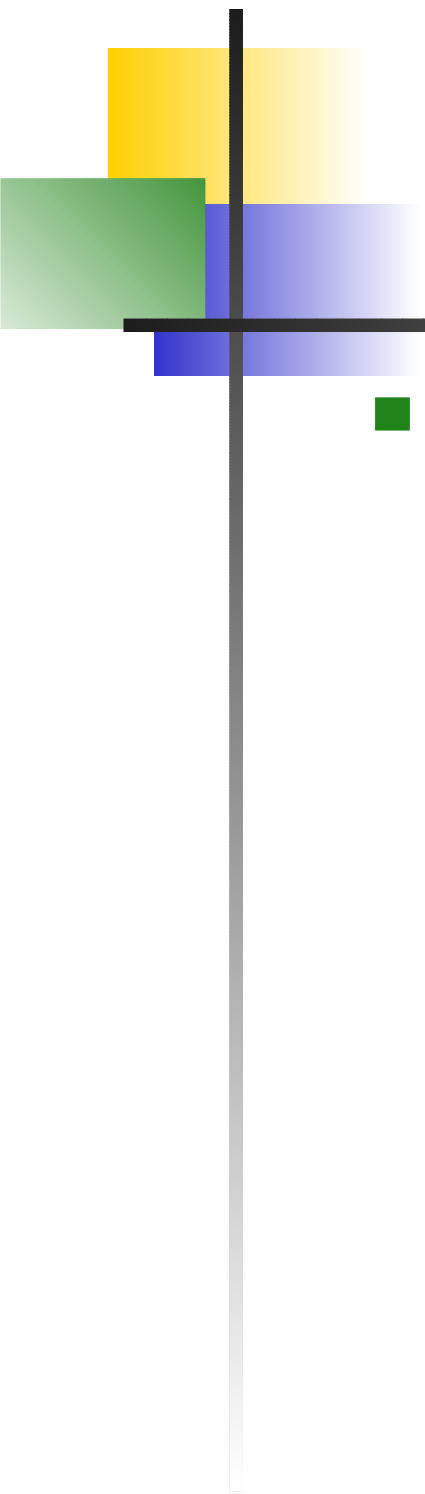
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria
(energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)



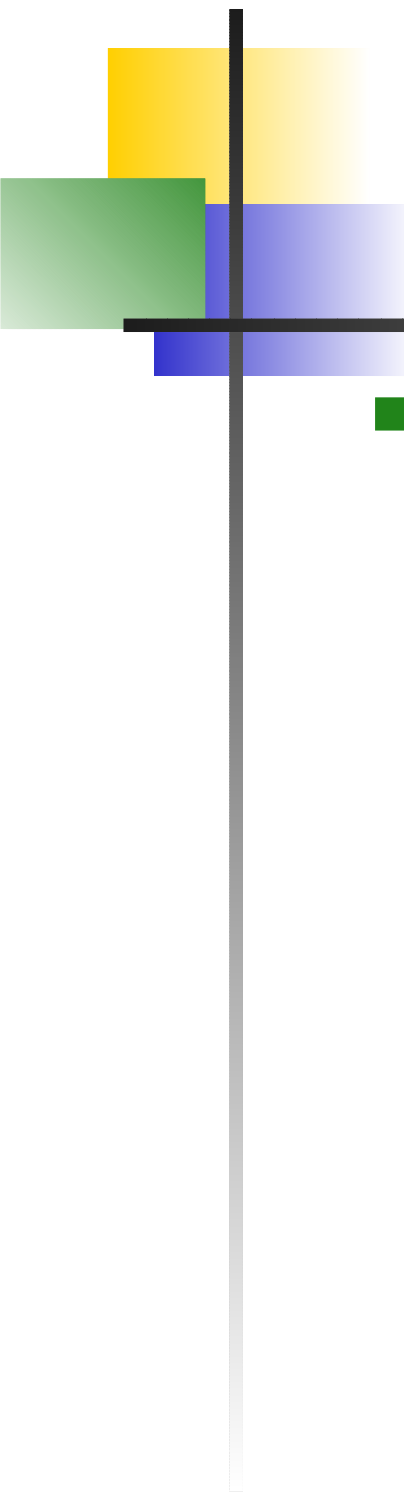
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria
(energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ $\leftarrow$ pessoas!



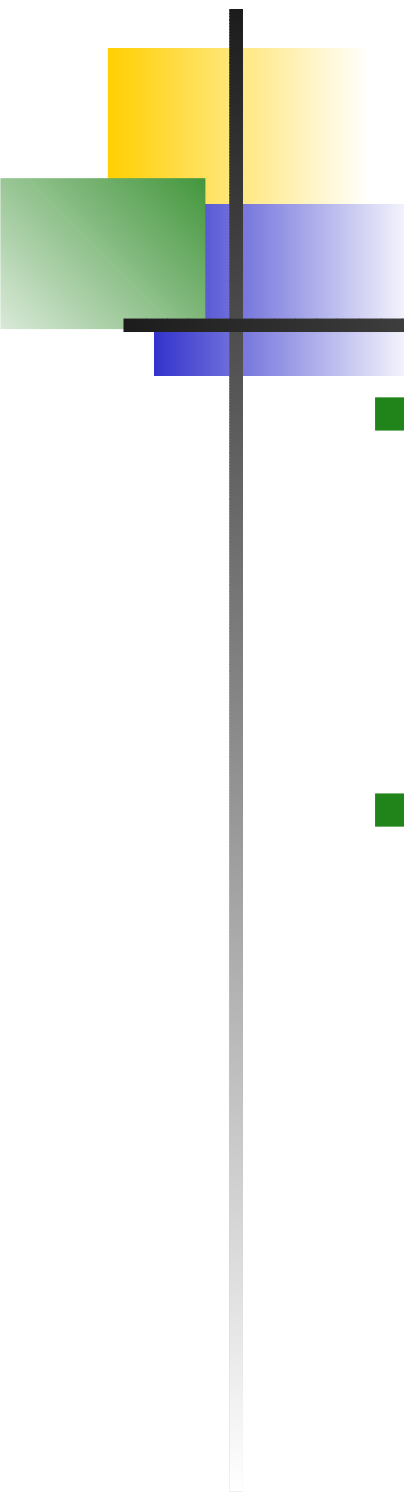
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria
(energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$



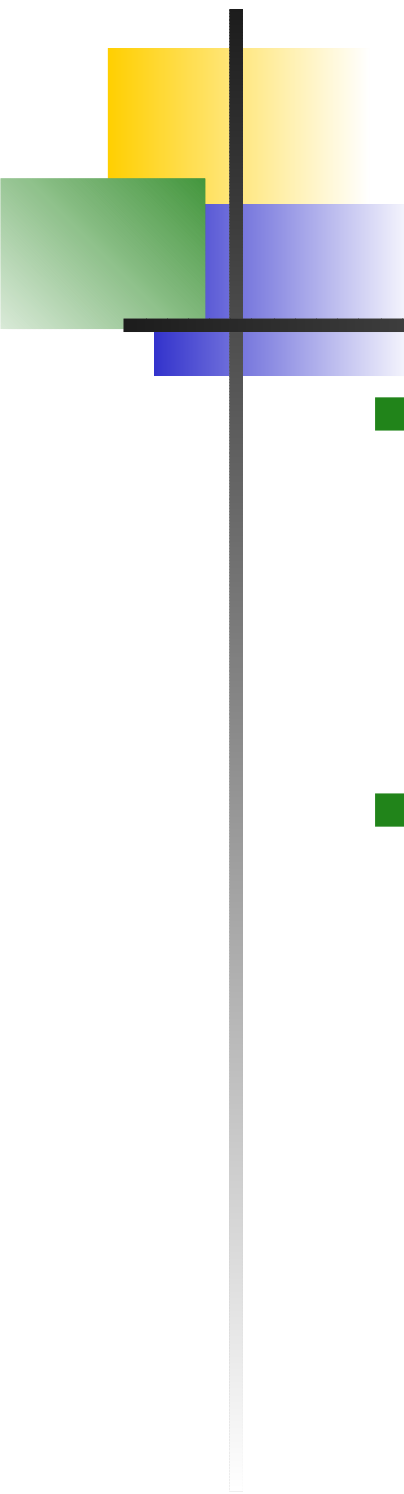
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$



Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$
- Fonte nuclear de energia: sobras resultantes da montagem/desmontagem de estruturas nucleares



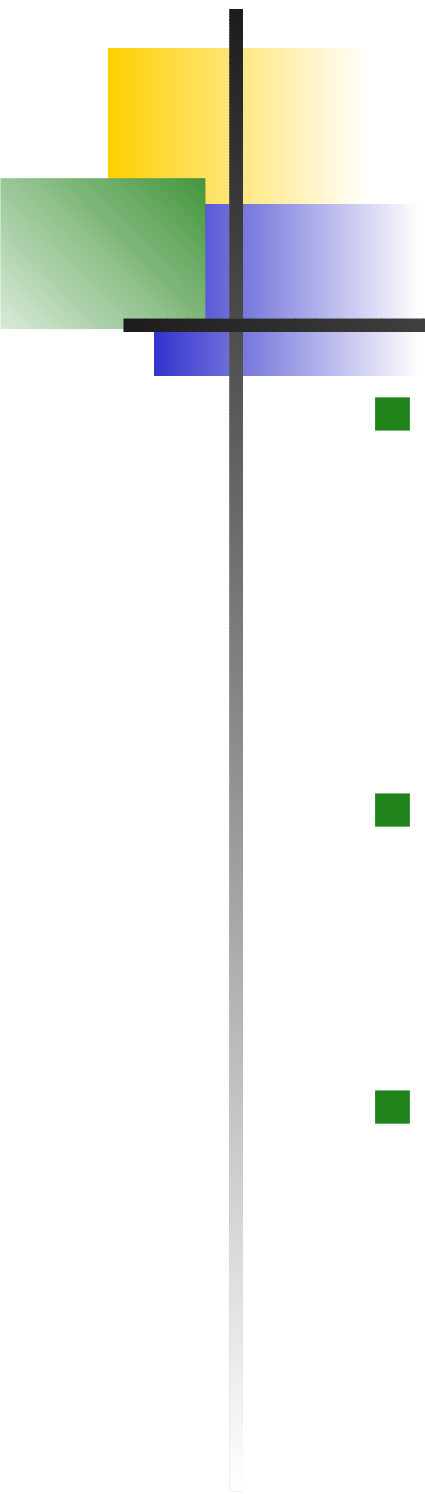
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$
- Fonte nuclear de energia: sobras resultantes da montagem/desmontagem de estruturas nucleares
 - Fontes químicas (atômicas, moleculares): analogia, diferença de escala



Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$
- Fonte nuclear de energia: sobras resultantes da montagem/desmontagem de estruturas nucleares
 - Fontes químicas (atômicas, moleculares): analogia, diferença de escala
- Processos 'elementares' nos diferentes domínios



Escalas na constituição da matéria

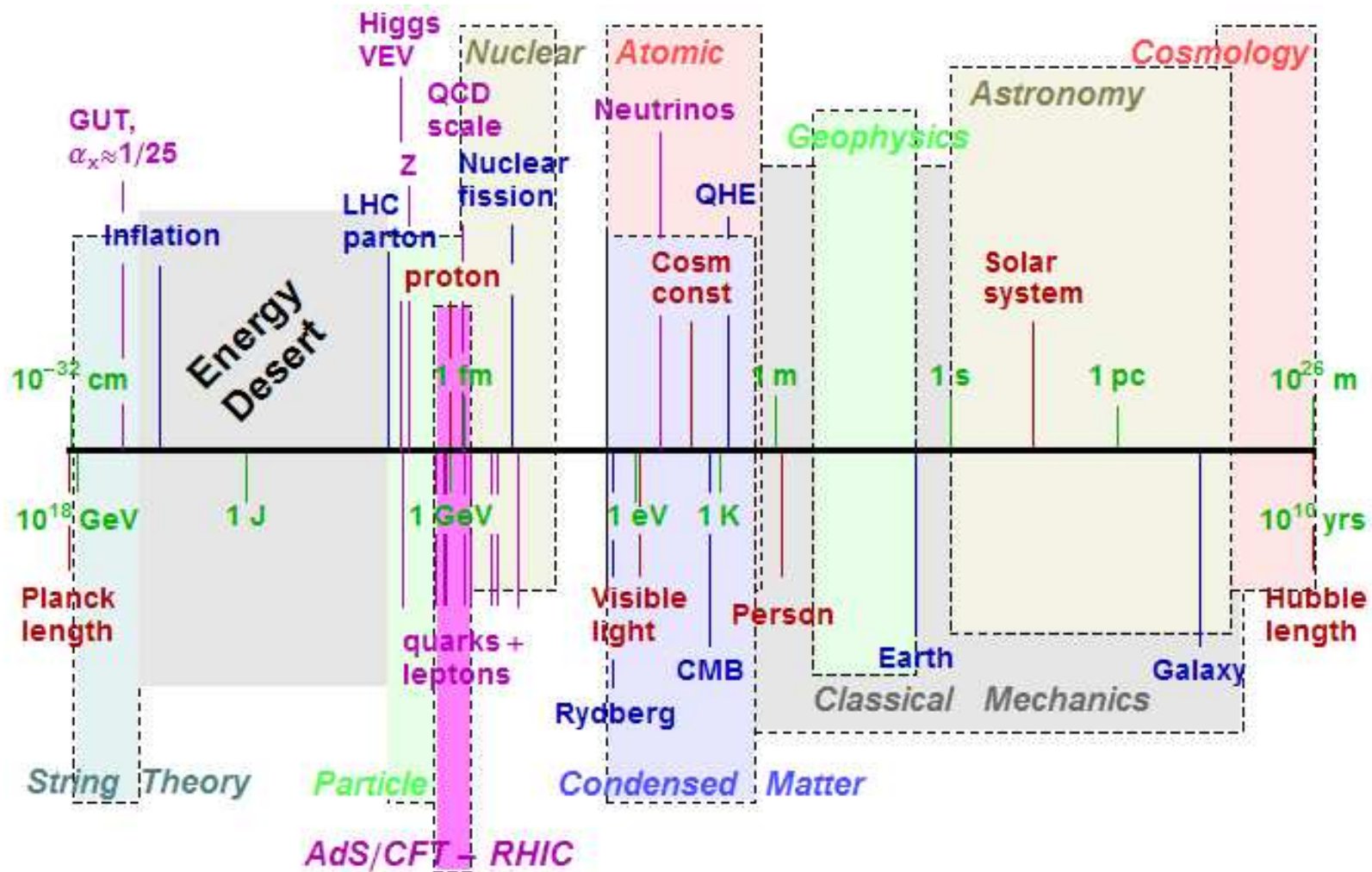
- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$
- Fonte nuclear de energia: sobras resultantes da montagem/desmontagem de estruturas nucleares
 - Fontes químicas (atômicas, moleculares): analogia, diferença de escala
- Processos 'elementares' nos diferentes domínios
 - Unidades muito pequenas: $1 \text{ j} \sim 10^{19} \text{ eV}$



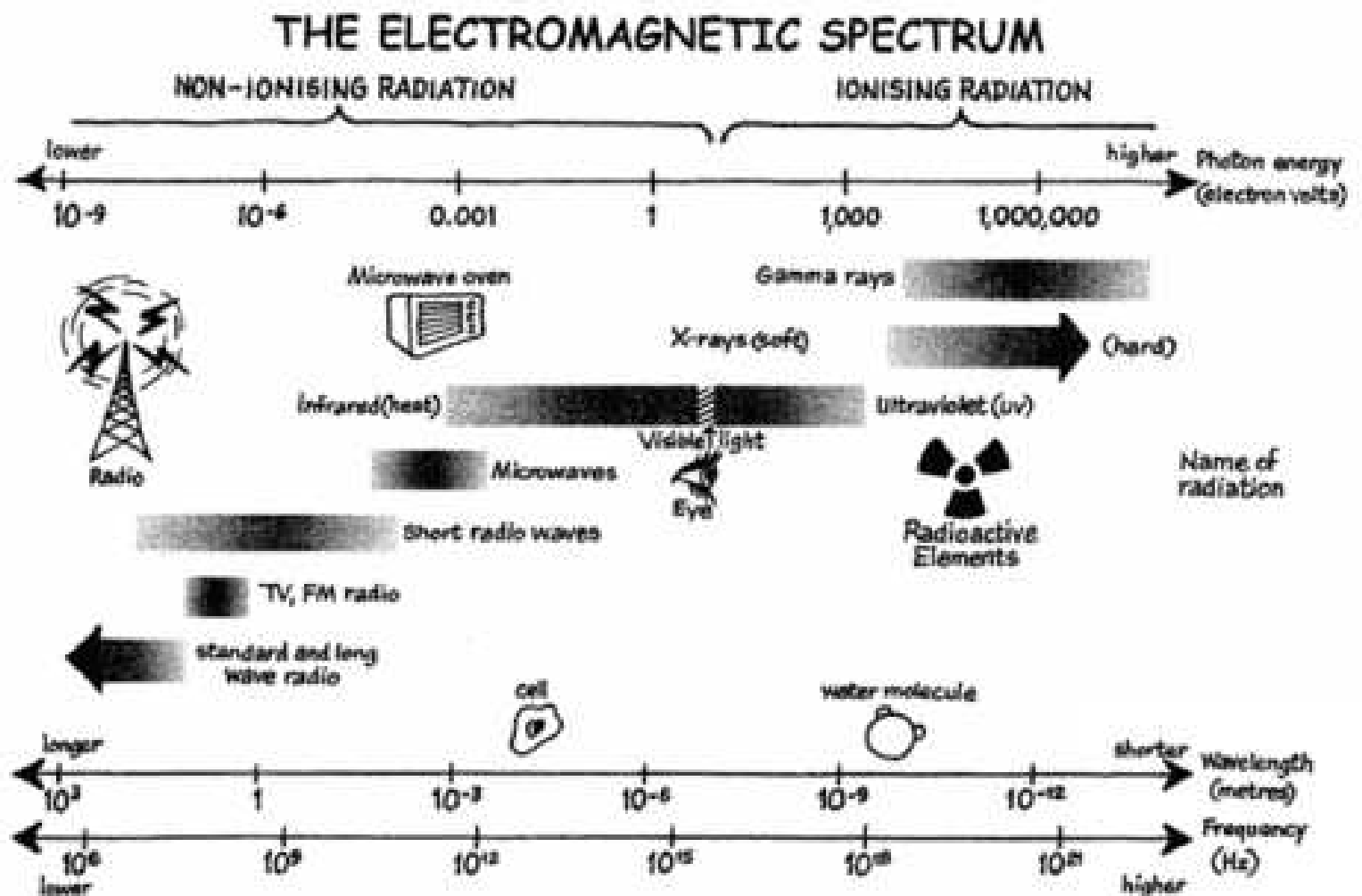
Escalas na constituição da matéria

- Hierarquia de energias na estruturação da matéria (energias envolvidas na montagem/desmontagem da matéria)
 - Forças atômicas (química) $\sim \text{eV}$ ← pessoas!
 - Forças nucleares (estrutura nuclear) $\sim 10^6 \text{ eV}$
 - Forças 'fundamentais' (subnucleares) $> 10^9 \text{ eV}$
- Fonte nuclear de energia: sobras resultantes da montagem/desmontagem de estruturas nucleares
 - Fontes químicas (atômicas, moleculares): analogia, diferença de escala
- Processos 'elementares' nos diferentes domínios
 - Unidades muito pequenas: $1 \text{ j} \sim 10^{19} \text{ eV}$
 - Diferenças de escala muito importantes: energia envolvida em um processo nuclear 'elementar' suficiente para desmontar estrutura química de $\sim 10^6$ átomos

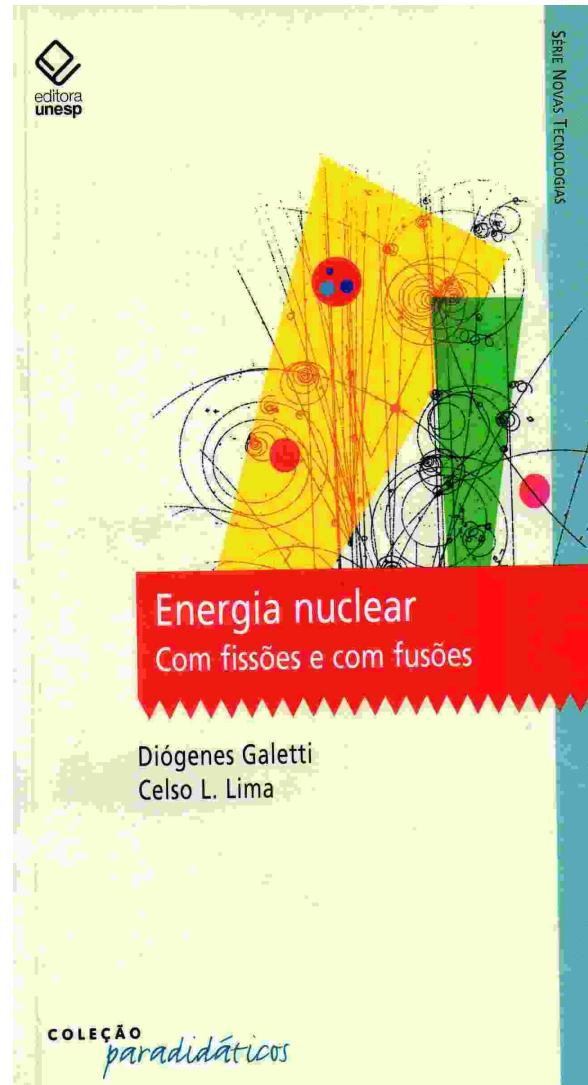
Escalas de Energia



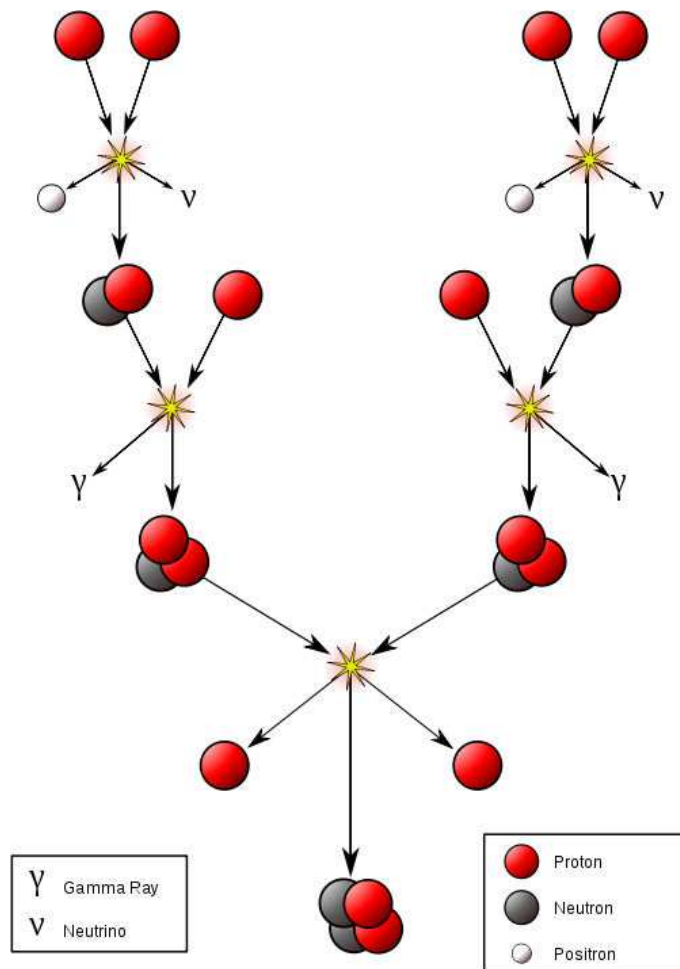
Escalas eletromagnéticas



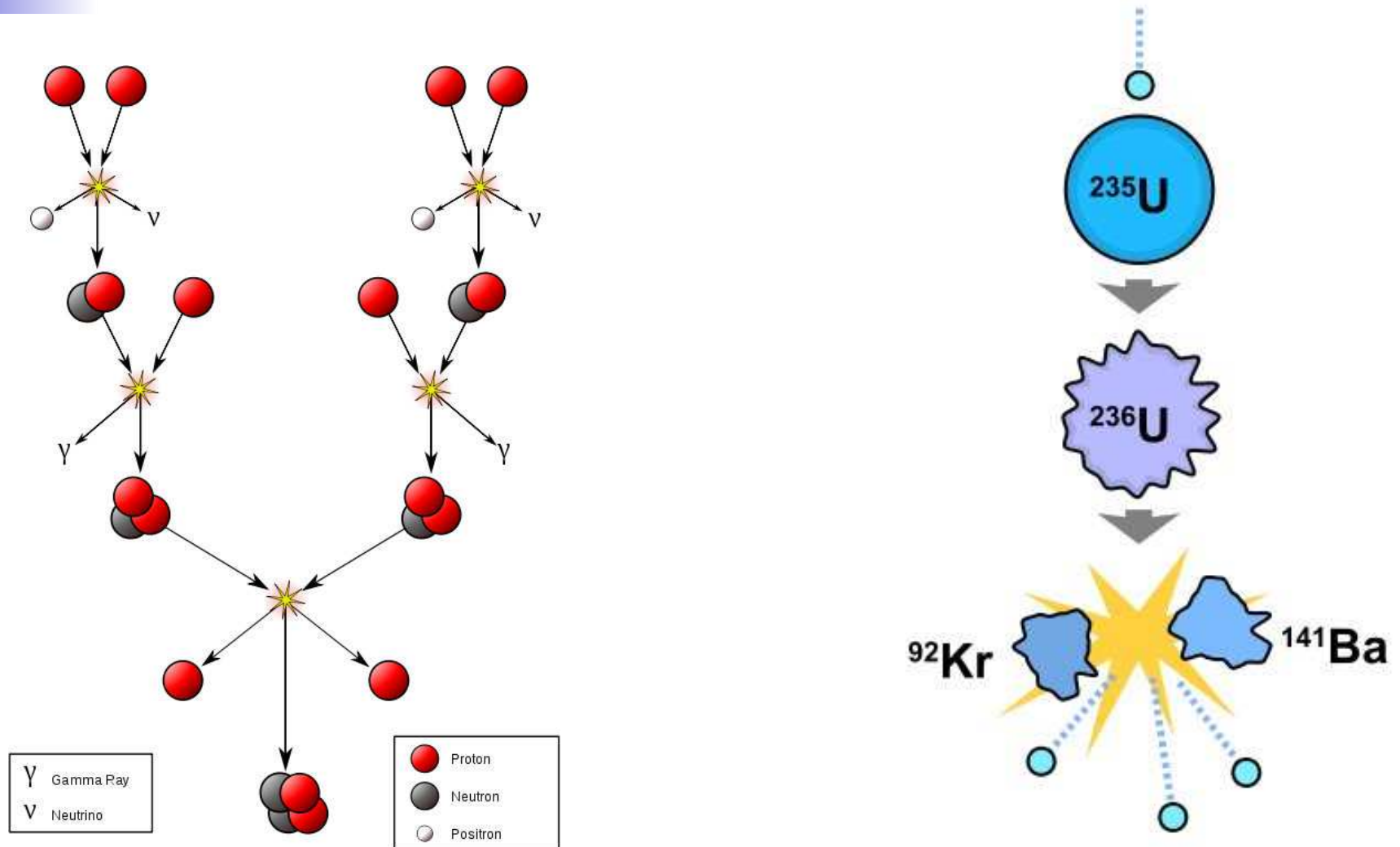
Energia nuclear com fusões e com fissões



Energia nuclear com fusões e com fissões



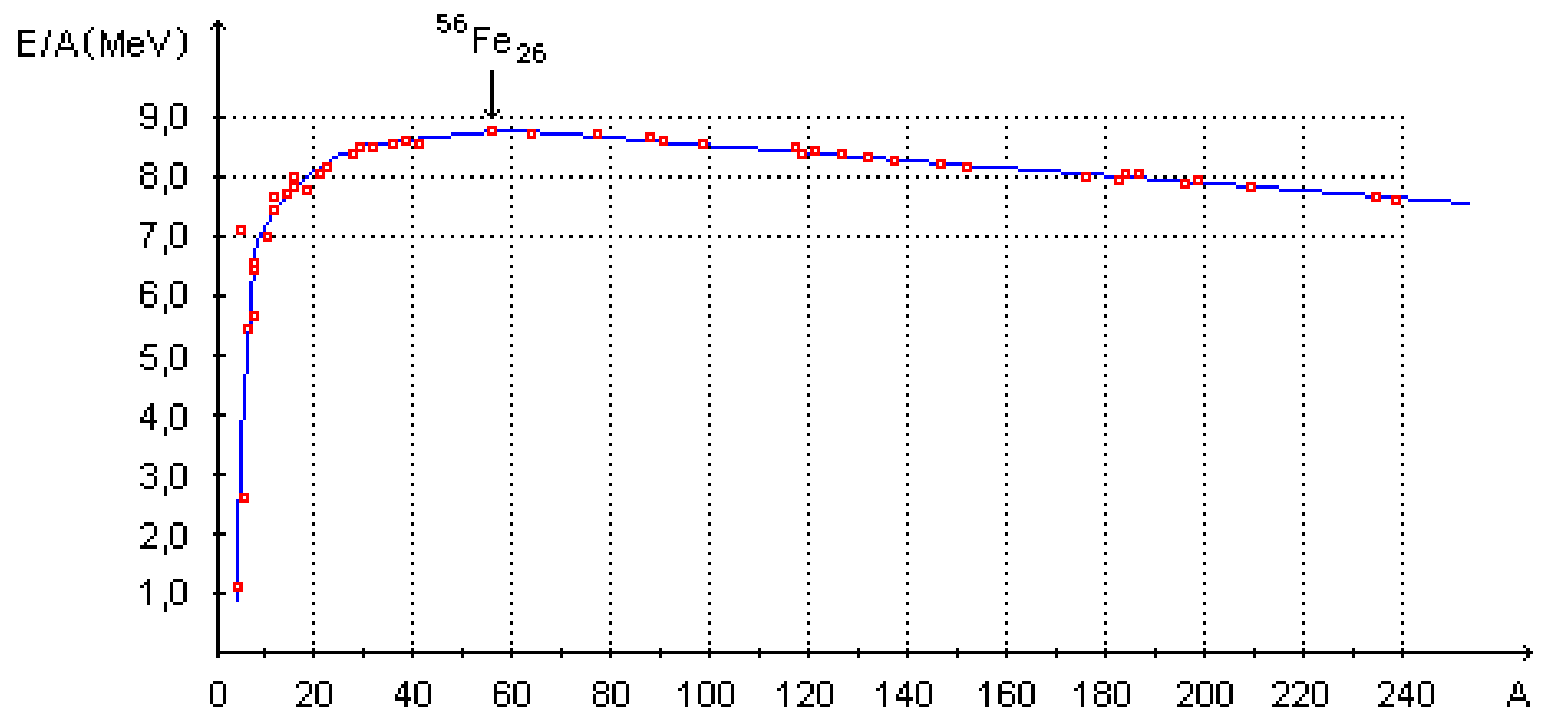
Energia nuclear com fusões e com fissões



Ganhos $\times$ perdas nucleares de energia

Fusões $\rightarrow$

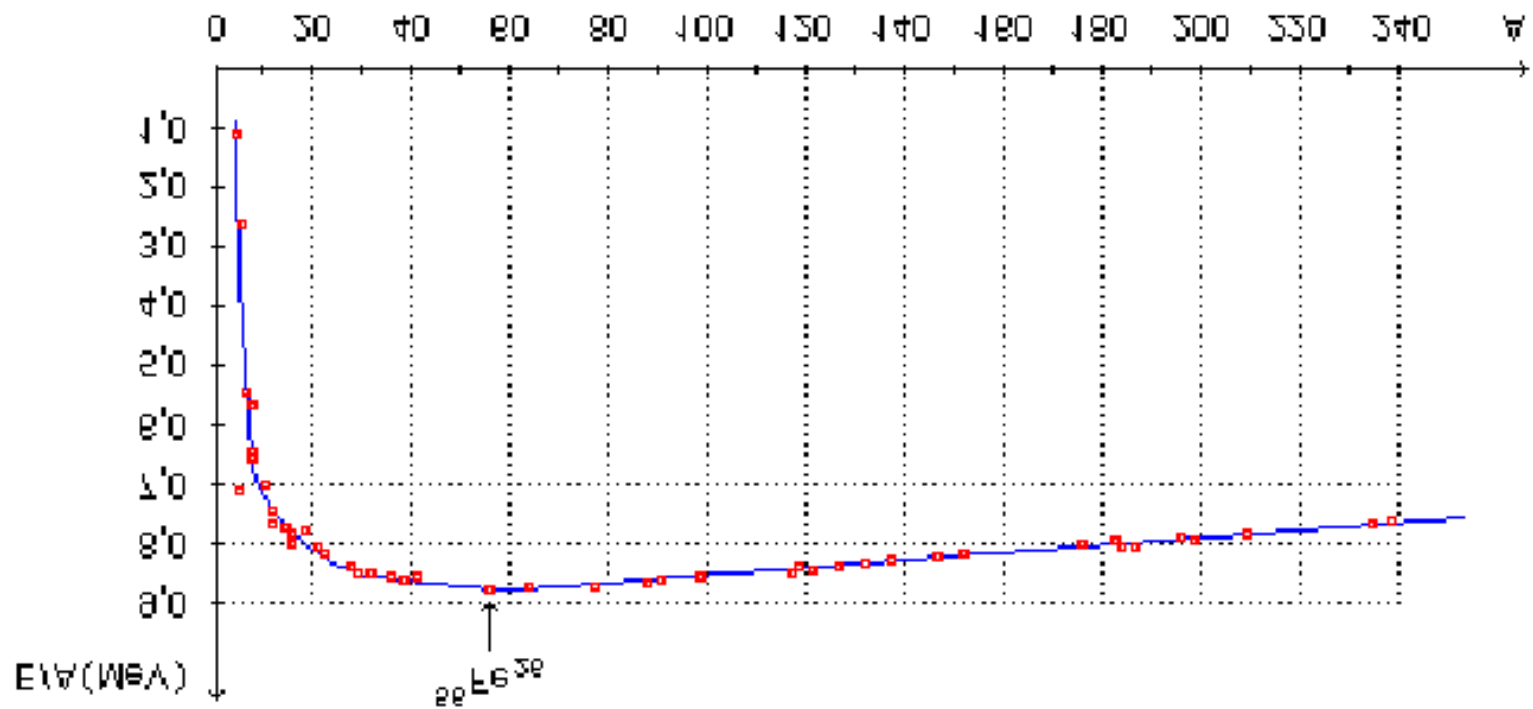
$\leftarrow$ Fissões

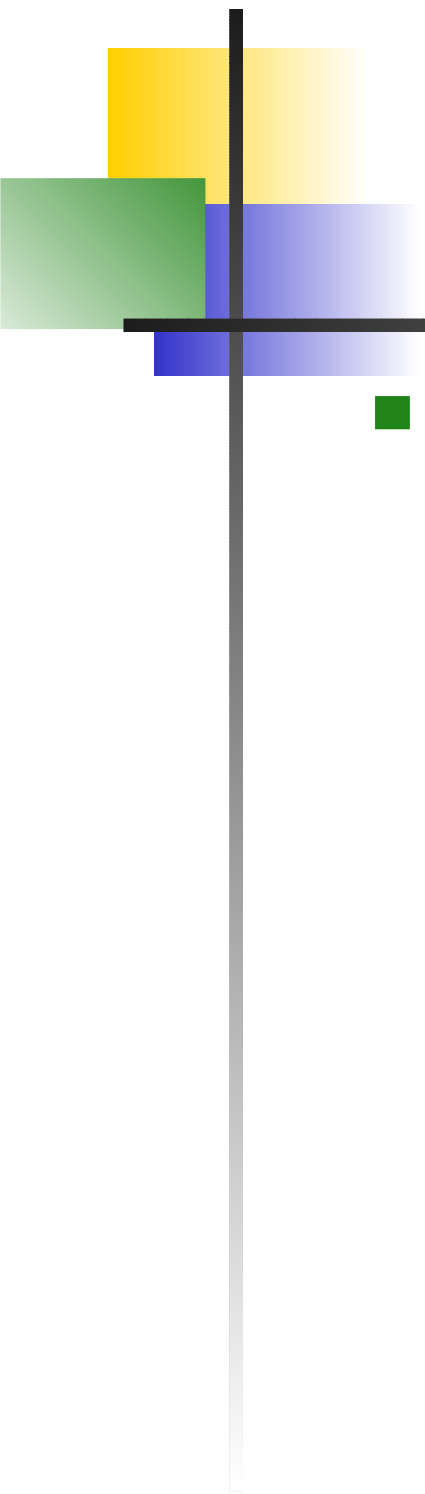


Ganhos $\times$ perdas nucleares de energia

Fusões $\rightarrow$

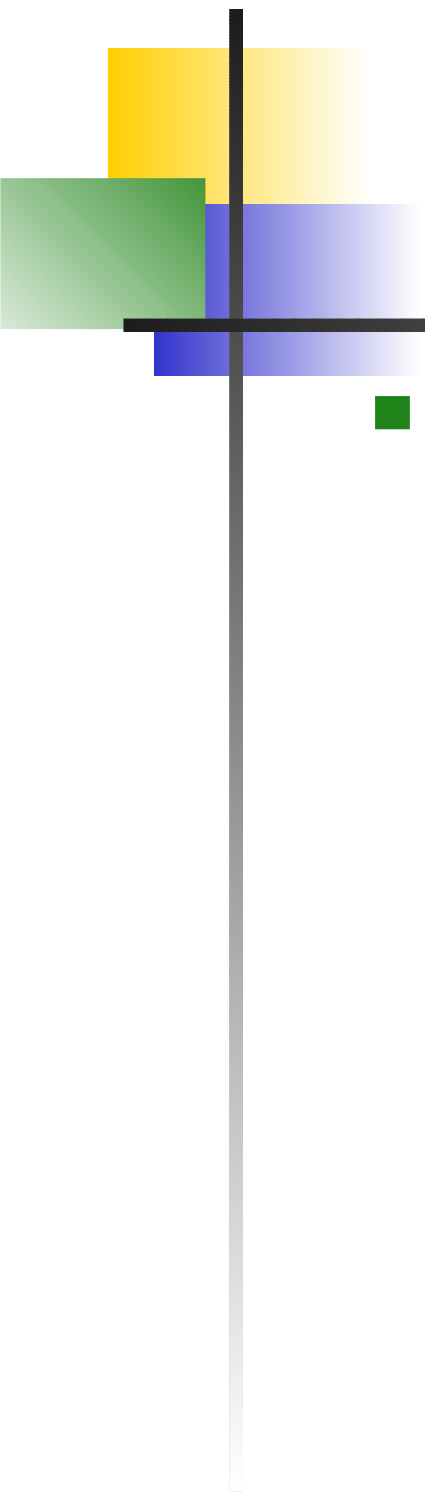
$\leftarrow$ Fissões





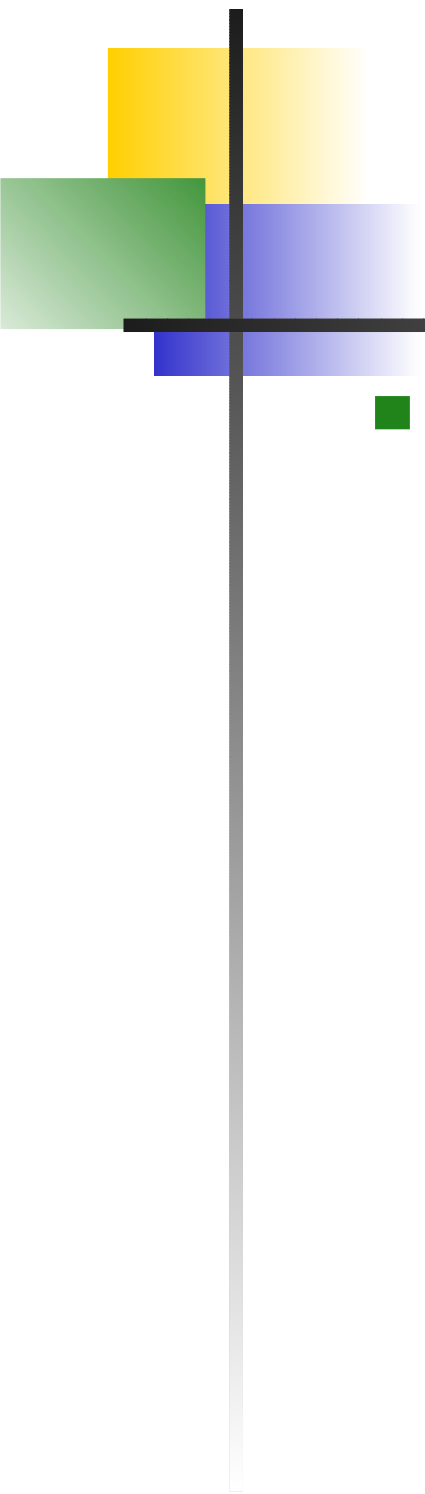
Fontes nucleares de energia - características

■ Fissão



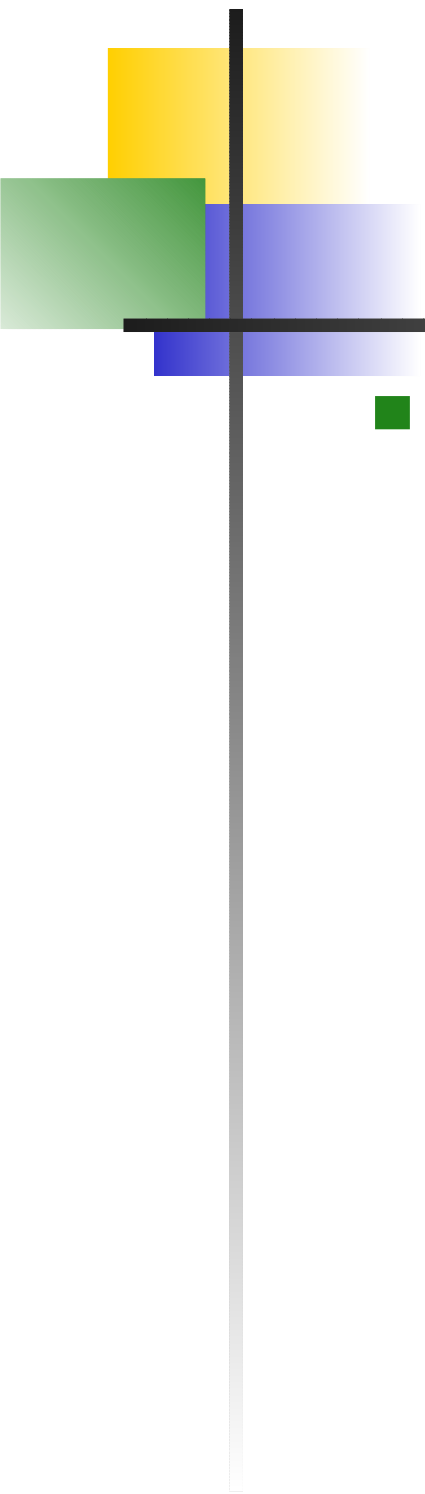
Fontes nucleares de energia - características

- Fissão
 - Tecnologia disponível



Fontes nucleares de energia - características

- Fissão
 - Tecnologia disponível
 - Matéria prima 'fóssil', relativamente abundante



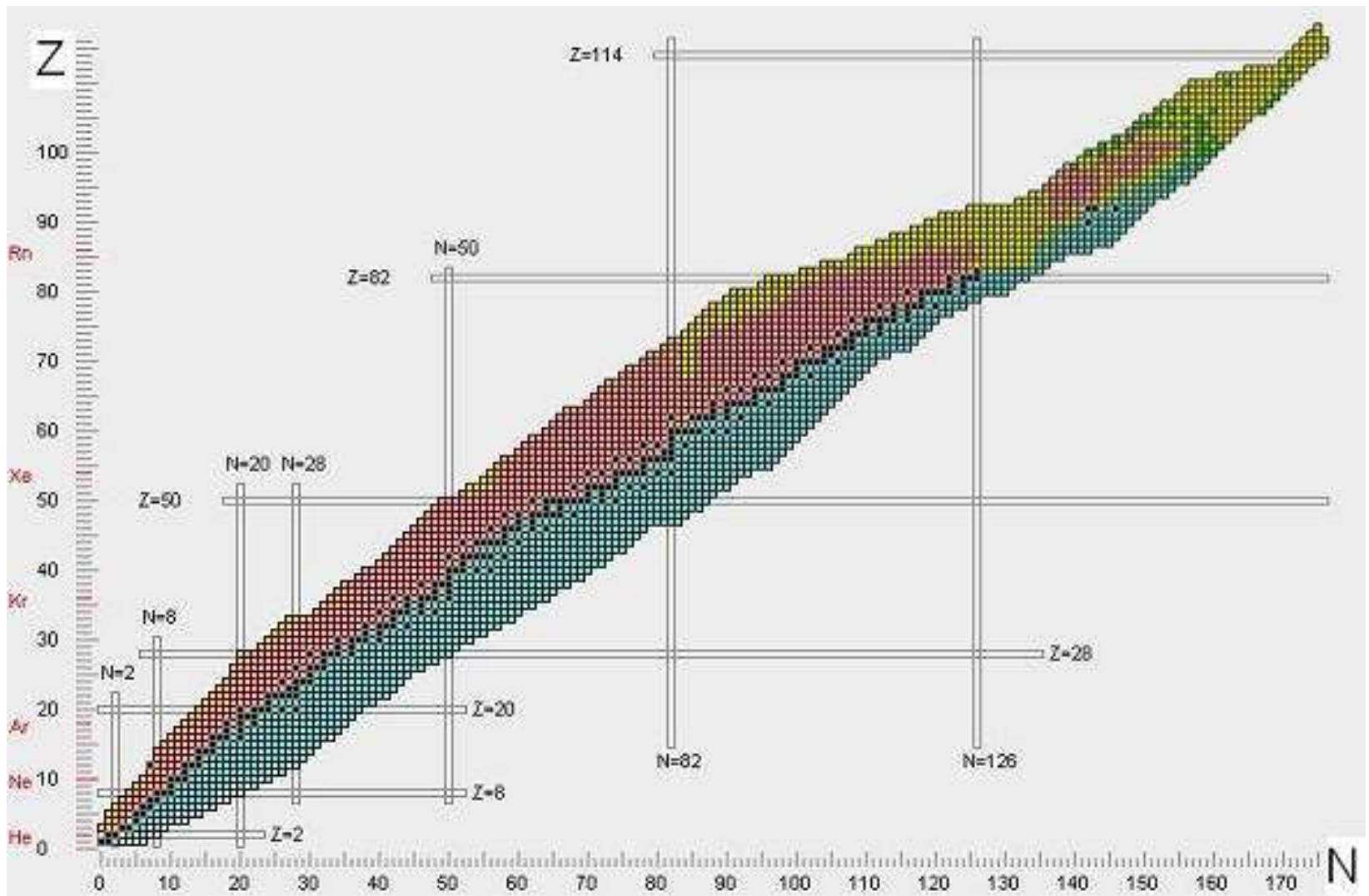
Fontes nucleares de energia - características

- Fissão

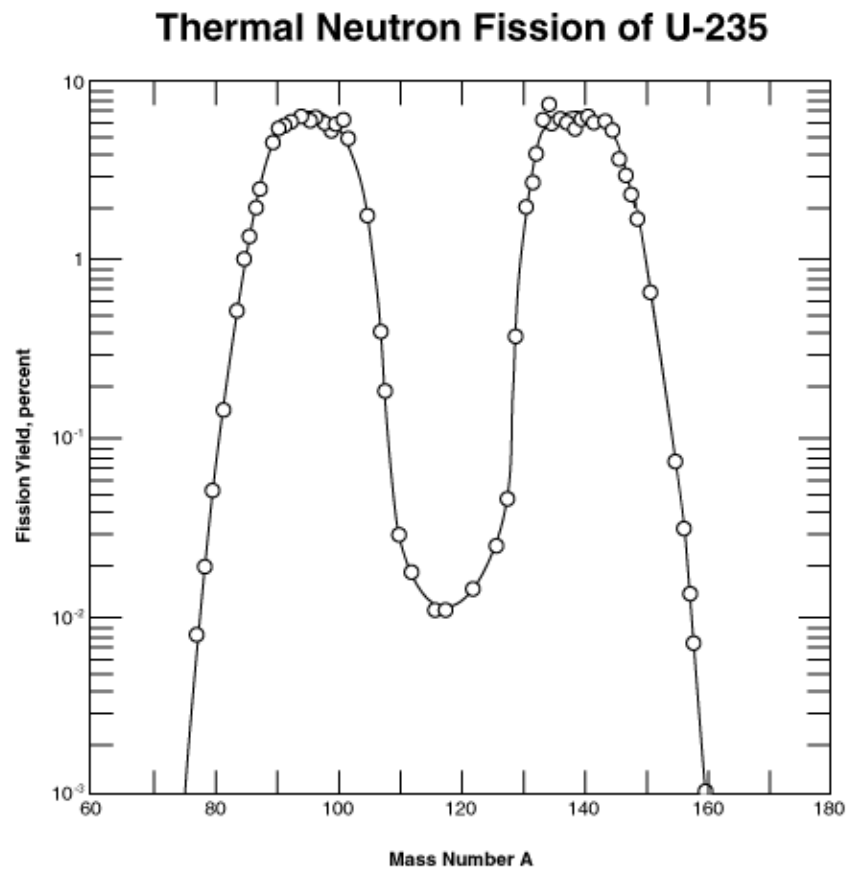
- Tecnologia disponível

- Matéria prima 'fóssil', relativamente abundante
 - Abundância de subprodutos instáveis, processos 'elementares' residuais na escala nuclear

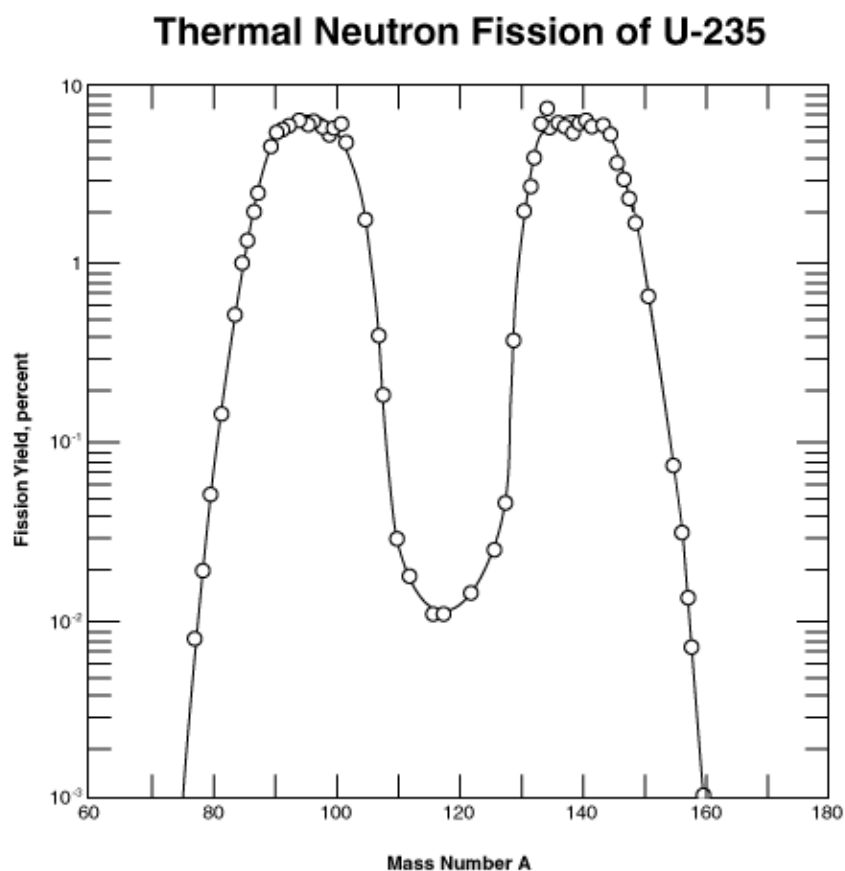
Fontes nucleares de energia - características



Fontes nucleares de energia - características

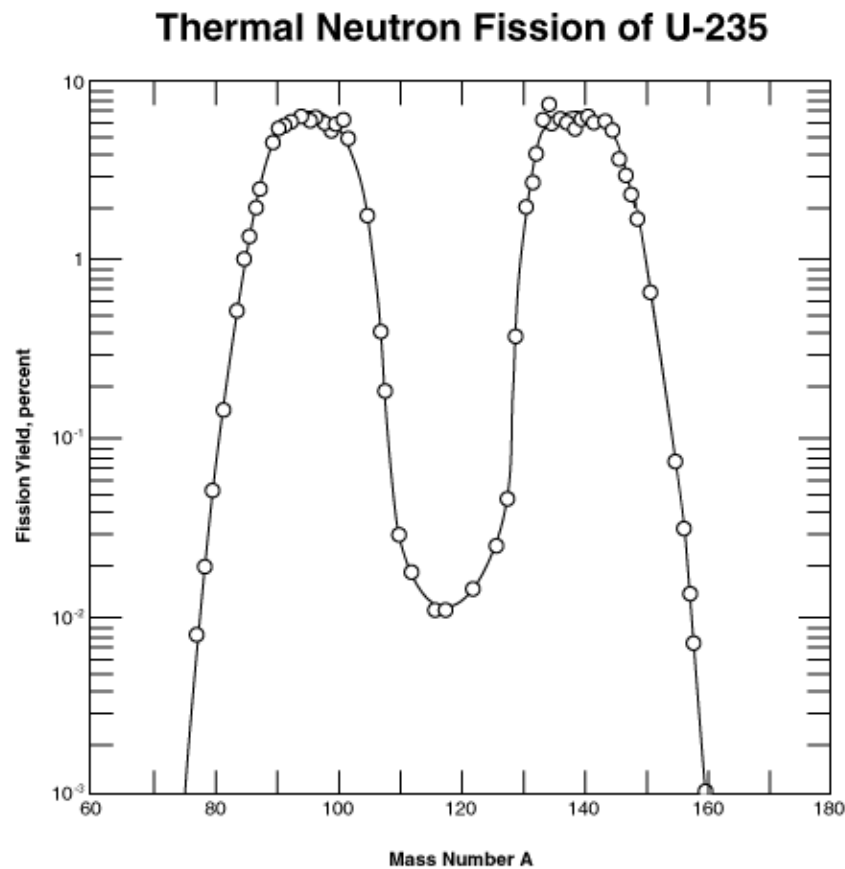


Fontes nucleares de energia - características

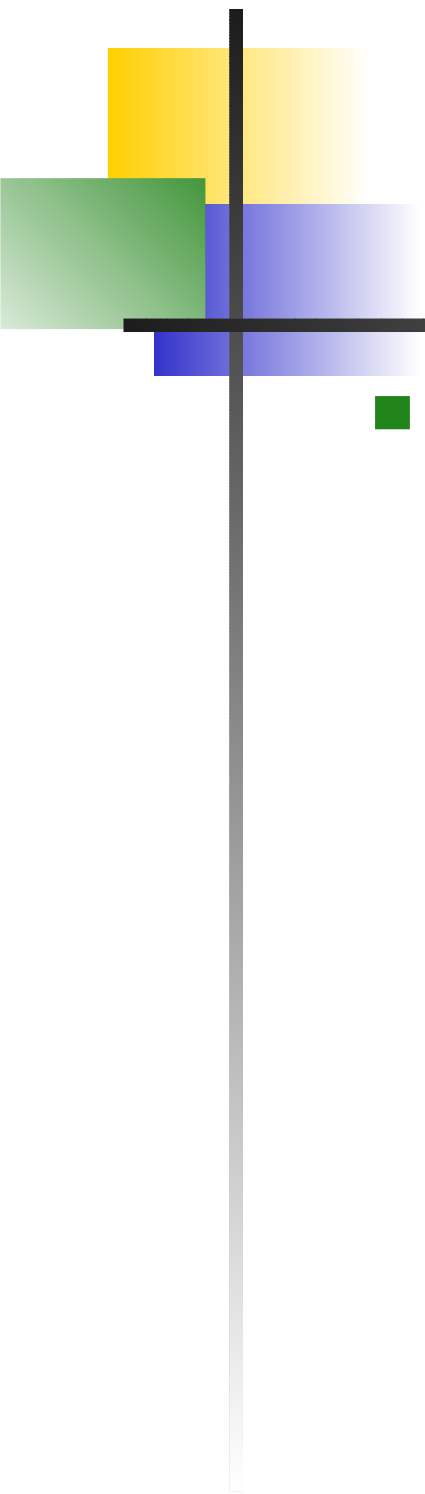


In100 6.1s	In101 16s	In102 22s	In103 1m	In104 1.8m	In105 5.07m
Cd 99 16s	Cd100 49.1s	Cd101 1.36m	Cd102 5.5m	Cd103 7.3m	Cd104 57.7m
Ag 98 46.7s	Ag 99 2.067m	Ag100 2.24m	Ag101 11.1m	Ag102 12.9m	Ag103 1.095h
Pd 97 3.1m	Pd 98 17.7m	Pd 99 21.4m	Pd100 3.63d	Pd101 8.47h	Pd102 1.02
Rh 96 9.9m	Rh 97 46.2m	Rh 98 8.72m	Rh 99 16.1d	Rh100 20.8h	Rh101 3.3y
Ru 95 1.643h	Ru 96 5.54	Ru 97 2.9d	Ru 98 1.87	Ru 99 12.76	Ru100 12.6
Tc 94 4.883h	Tc 95 61d	Tc 96 4.28d	Tc 97 2.6e+06y	Tc 98 4.2e+06y	Tc 99 2.11e+05y
Mo 93 4000y	Mo 94 9.25	Mo 95 15.92	Mo 96 16.68	Mo 97 9.55	Mo 98 24.13
Nb 92 3.47e+07y	Nb 93 100	Nb 94 2.03e+04y	Nb 95 34.99d	Nb 96 23.35h	Nb 97 1.202h
Zr 91 11.22	Zr 92 17.15	Zr 93 1.53e+06y	Zr 94 17.38	Zr 95 64.03d	Zr 96 2.8
Y 90 2.667d	Y 91 58.51d	Y 92 3.54h	Y 93 10.18h	Y 94 18.7m	Y 95 10.3m
Sr 89 50.53d	Sr 90 28.79y	Sr 91 9.63h	Sr 92 2.71h	Sr 93 7.423m	Sr 94 1.255m
Rb 88 17.77m	Rb 89 15.15m	Rb 90 4.3m	Rb 91 58.4s	Rb 92 4.492s	Rb 93 5.84s
Kr 87 1.272h	Kr 88 2.84h	Kr 89 3.15m	Kr 90 32.32s	Kr 91 8.57s	Kr 92 1.84s
Br 86 55s	Br 87 55.6s	Br 88 16.5s	Br 89 4.4s	Br 90 1.92s	Br 91 0.541s

Fontes nucleares de energia - características



Pr140 3.39m	Pr141 100	Pr142 19.12h	Pr143 13.57d	Pr144 17.28m	Pr145 5.984h
Ce139 137.6d	Ce140 88.45	Ce141 32.51d	Ce142 11.114	Ce143 1.377d	Ce144 284.9d
La138 0.09	La139 99.91	La140 1.679d	La141 3.92h	La142 1.518h	La143 14.2m
Ba137 11.232	Ba138 71.698	Ba139 1.384h	Ba140 12.75d	Ba141 18.27m	Ba142 10.6m
Cs136 13.16d	Cs137 30.08y	Cs138 33.41m	Cs139 9.27m	Cs140 1.062m	Cs141 24.84s
Xe135 9.14h	Xe136 8.87	Xe137 3.818m	Xe138 14.08m	Xe139 39.68s	Xe140 13.6s
I134 52.5m	I135 6.58h	I136 1.39m	I137 24.5s	I138 6.41s	I139 2.28s
Te133 55.4m	Te134 41.8m	Te135 19s	Te136 17.63s	Te137 2.49s	Te138 1.4s
Sb132 4.1m	Sb133 2.5m	Sb134 10.07s	Sb135 1.68s	Sb136 0.923s	Sb137 0.169s
Sn131 58.4s	Sn132 39.7s	Sn133 1.45s	Sn134 1.05s	Sn135 0.53s	Sn136 0.25s
In130 0.542s	In131 0.35s	In132 0.207s	In133 0.165s	In134 0.14s	In135 0.092s
Cd129 0.27s	Cd130 0.162s	Cd131 0.068s	Cd132 0.097s	Cd133 0.0184s	Cd134 0.0143s
Ag128 0.058s	Ag129 0.044s	Ag130 0.05s	Ag131 0.0125s	Ag132 0.0114s	Ag133 0.00865s
Pd127 0.0625s	Pd128 0.0449s	Pd129 0.0127s	Pd130 0.00956s	Pd131 0.0089s	Pd132 0.00663s
Rh126 0.0328s	Rh127 0.0245s	Rh128 0.00783s	Rh129 0.00613s	Rh130 0.00581s	Rh131 0.00445s

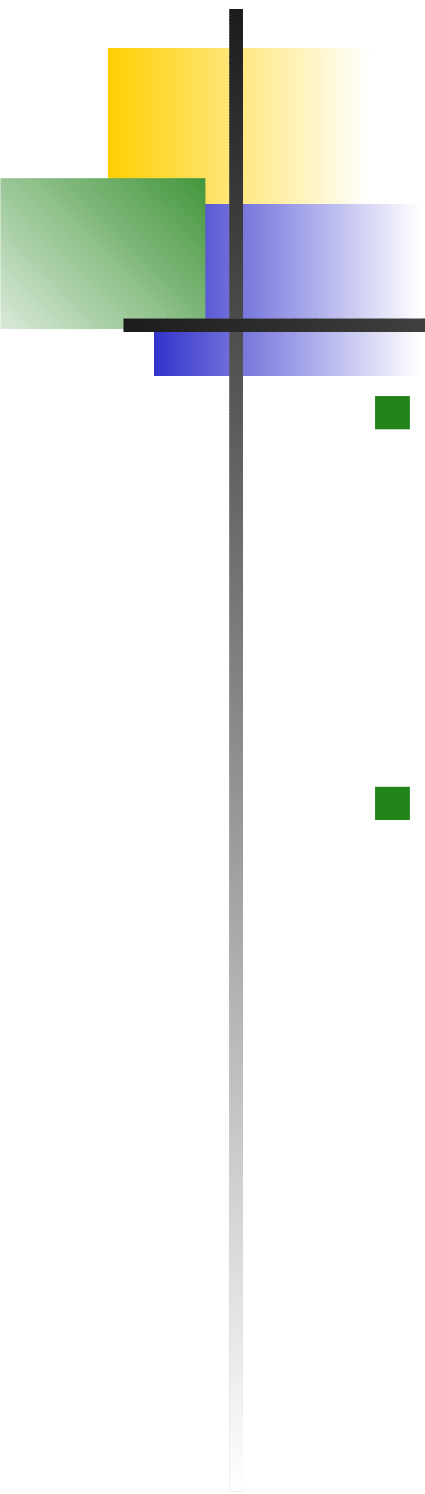


Fontes nucleares de energia - características

- Fissão

- Tecnologia disponível

- Matéria prima 'fóssil' relativamente abundante
 - Abundância de subprodutos instáveis, processos 'elementares' residuais na escala nuclear



Fontes nucleares de energia - características

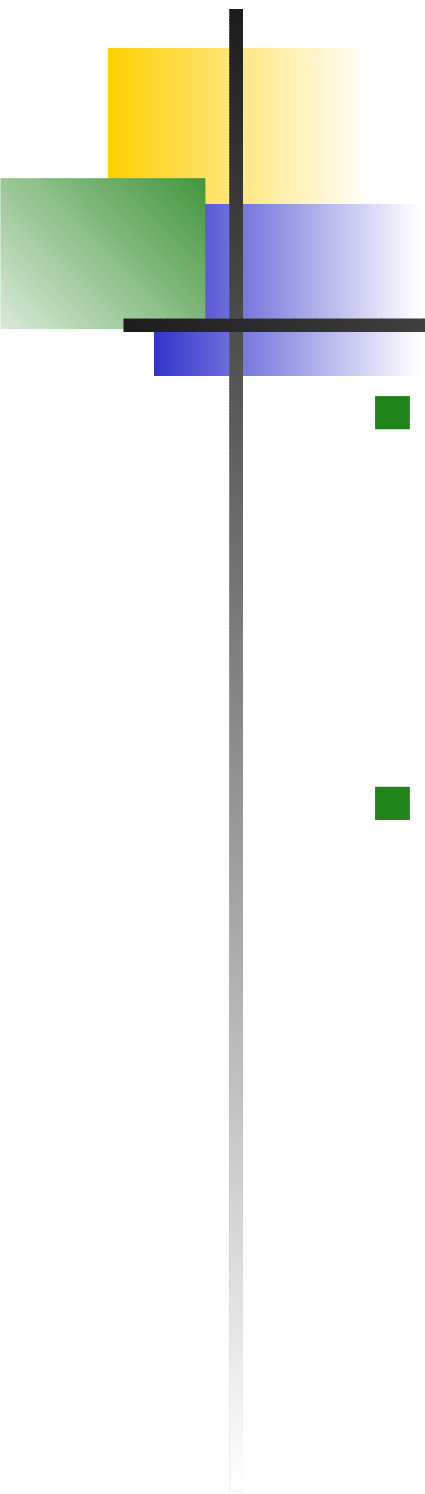
- Fissão

- Tecnologia disponível

- Matéria prima 'fóssil' relativamente abundante
 - Abundância de subprodutos instáveis, processos 'elementares' residuais na escala nuclear

- Fusão

- Tecnologia (ainda?) não disponível



Fontes nucleares de energia - características

■ Fissão

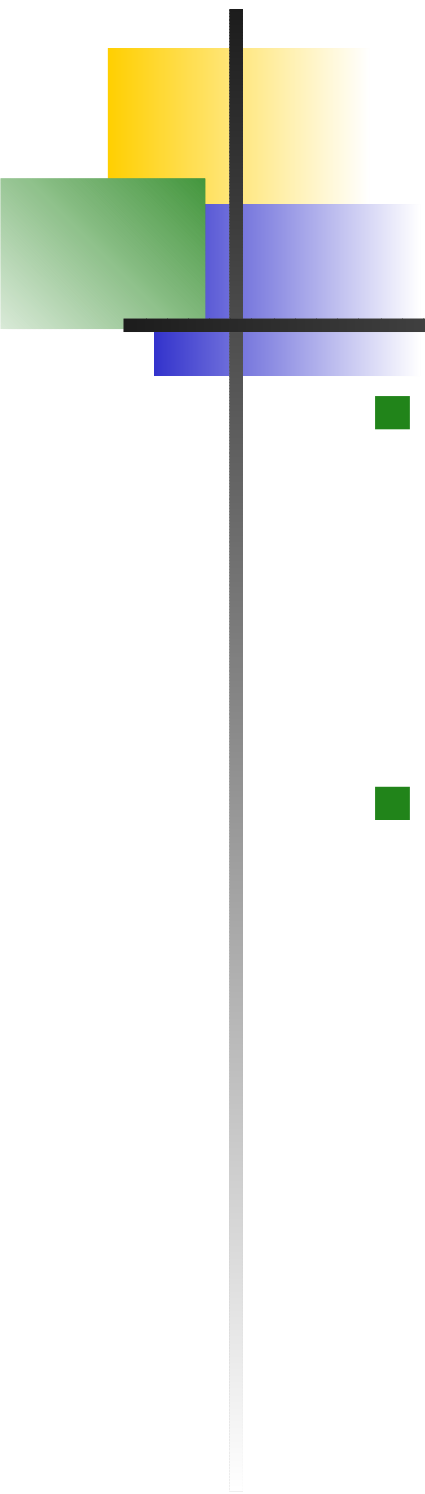
■ Tecnologia disponível

- Matéria prima 'fóssil' relativamente abundante
- Abundância de subprodutos instáveis, processos 'elementares' residuais na escala nuclear

■ Fusão

■ Tecnologia (ainda?) não disponível

- Matéria prima 'arqui-fóssil', abundante



Fontes nucleares de energia - características

■ Fissão

■ Tecnologia disponível

- Matéria prima 'fóssil' relativamente abundante
- Abundância de subprodutos instáveis, processos 'elementares' residuais na escala nuclear

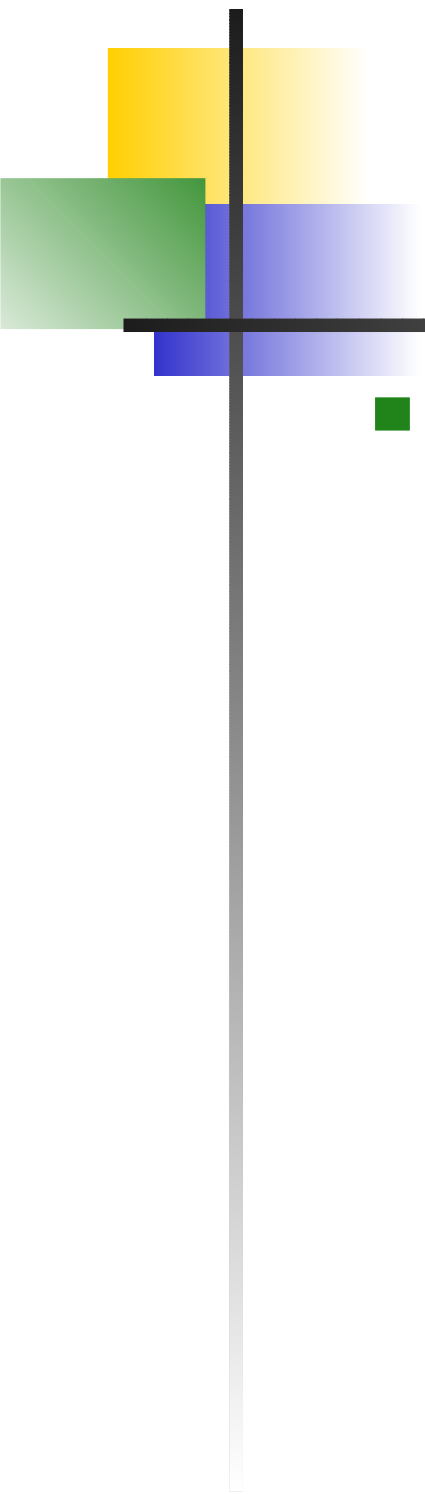
■ Fusão

■ Tecnologia (ainda?) não disponível

- Matéria prima 'arqui-fóssil', abundante
- Operação eventual na escala nuclear de processos elementares; eventuais efeitos secundários de neutrons perdidos

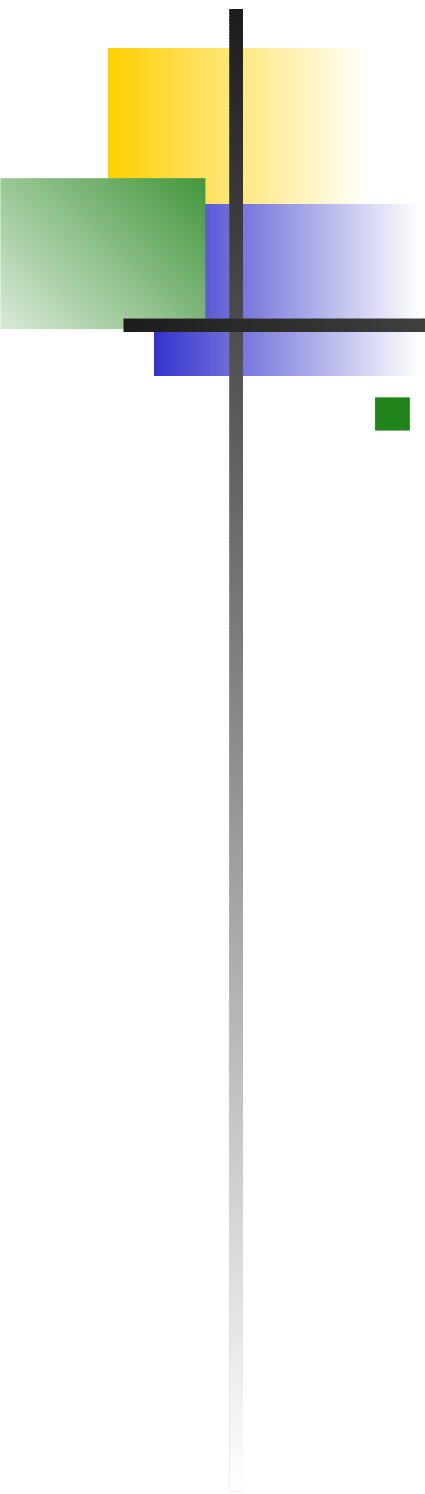
An abstract graphic featuring three overlapping squares: a yellow square at the top, a green square on the left, and a blue square at the bottom. A black crosshair is superimposed on the squares, with the vertical line passing through the yellow and blue squares, and the horizontal line passing through the green and blue squares.

				F14		F17 64.49 S	F18 109.77 M	F19 100	F20 11.163 S	F21 4.158 !
				O13 8.98 MS	O14 70.606 S	O15 122.24 S	O16 99.762	O17 0.038	O18 0.200	O19 26.91 S
		N10		N12 11.000 MS	N13 9.965 M	N14 99.634	N15 0.366	N16 7.13 S	N17 4.173 S	N18 624 MS
	C9 126.5 MS	C10 19255 S	C11 20.39 M	C12 98.89	C13 1.11	C14 5730 Y	C15 2.449 S	C16 0.747 S	C17 193 MS	C18 95 MS
	B8 770 MS		B10 19.8	B11 80.2	B12 2020 MS	B13 17.36 MS	B14 12.3 MS	B15 9.87 MS	B16 <190 PS	B17 5.08 M
Be5	Be7 53.29 D		Be9 100	Be10 1510000 Y	Be11 13.81 S	Be12 21.3 MS		Be14 4.35 MS		
	Li6 7.59	Li7 92.41	Li8 838 MS	Li9 178.3 MS		Li11 8.5 MS	Li12 <10 NS			
	He3 0.000137	He4 99.999863		He6 806.7 MS		He8 1190 MS				
H1 99.985	H2 0.015	H3 12.33 Y								
	N1 10.24 M									



Fontes nucleares - benefícios e riscos

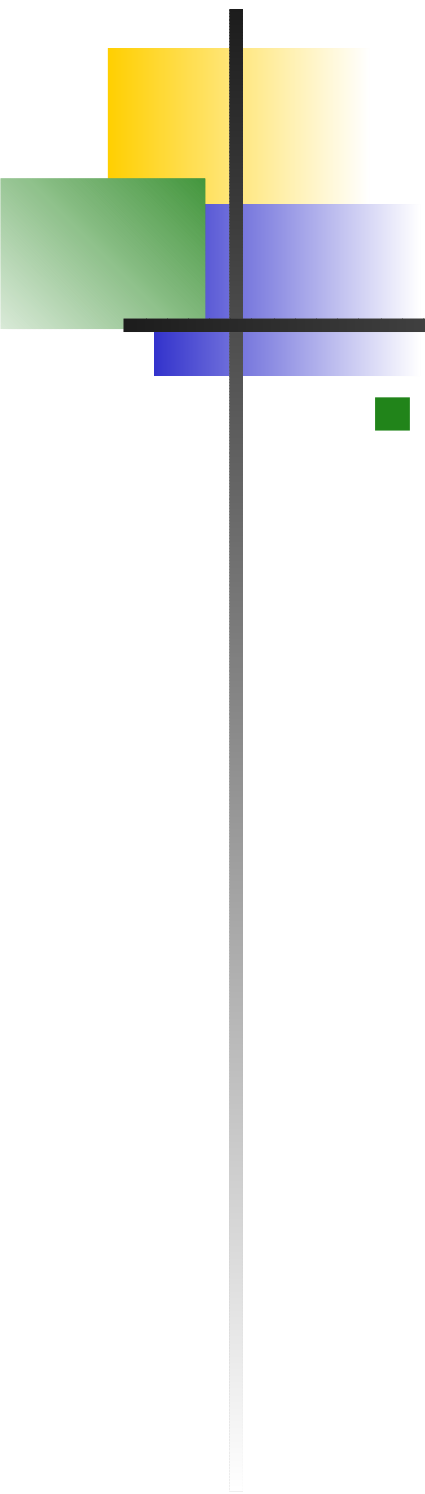
■ Benefícios



Fontes nucleares - benefícios e riscos

- Benefícios

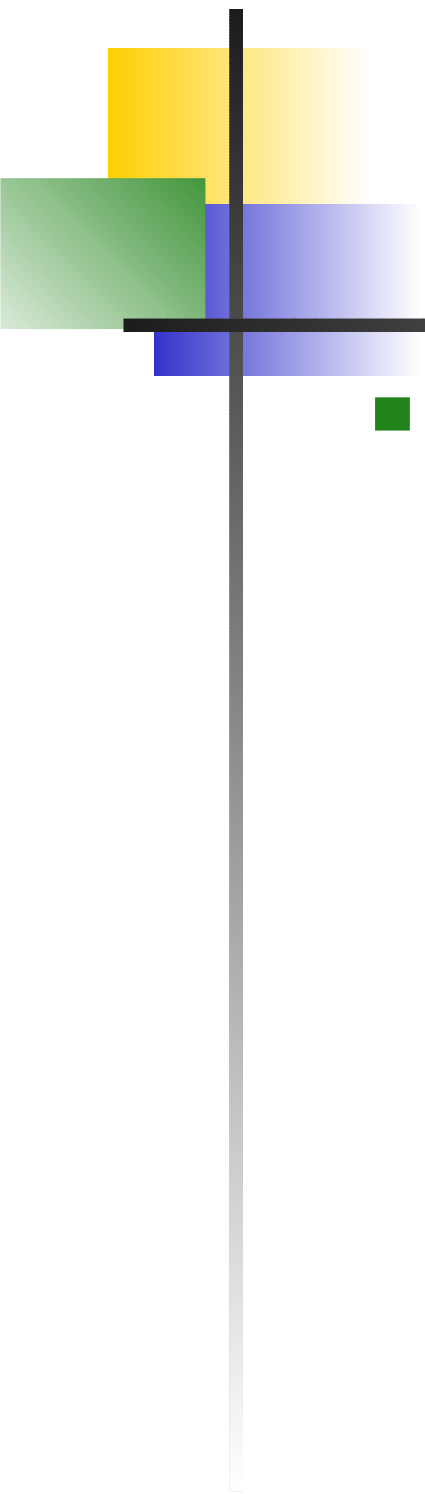
- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida



Fontes nucleares - benefícios e riscos

- Benefícios

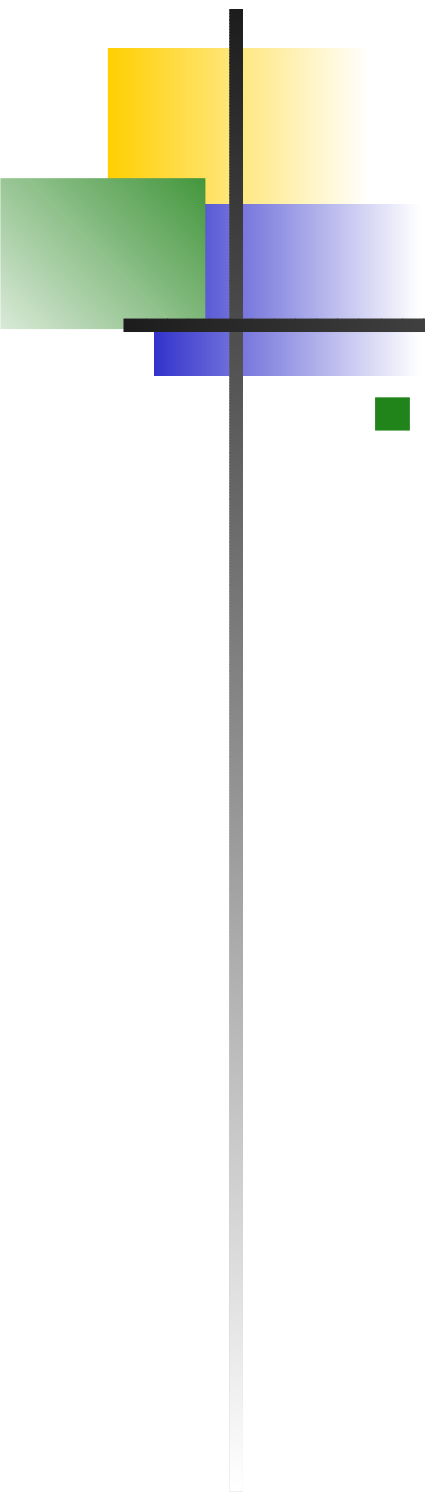
- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

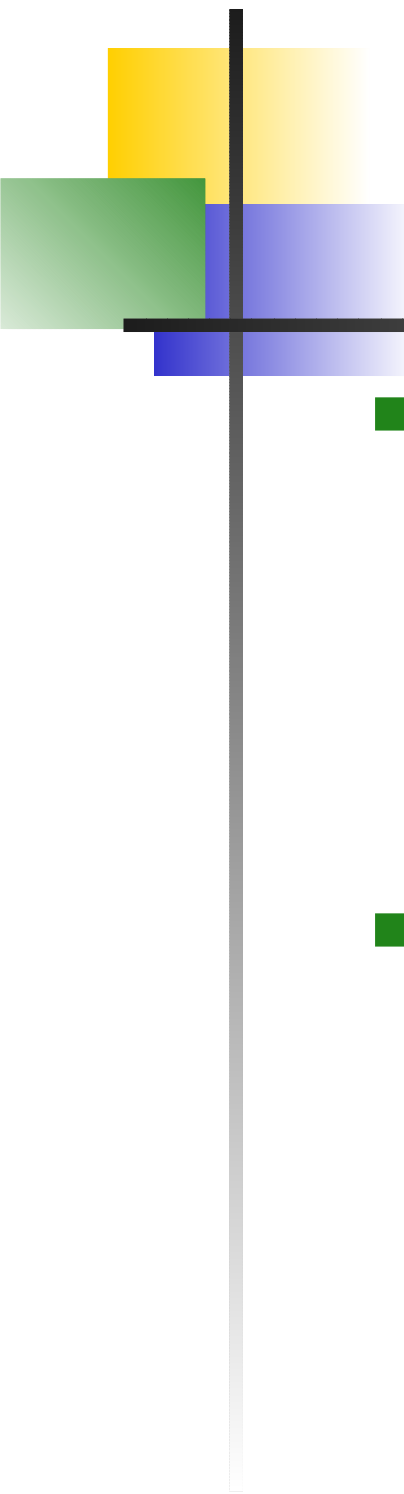
- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia
 - Atividade residual presente por tempos longos



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia
 - Atividade residual presente por tempos longos
- Riscos para as instalações



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia
 - Atividade residual presente por tempos longos
- Riscos para as instalações
 - Causas internas ← Chernobyl (não nucleares)



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia
 - Atividade residual presente por tempos longos
- Riscos para as instalações
 - Causas internas ← Chernobyl (não nucleares)
 - Causas externas ← Fukushima (não nucleares)



Fontes nucleares - benefícios e riscos

■ Benefícios

- Instalações 'compactas', massa de combustível reduzida
 - Massa de rejeitos finais relativamente pequena
- Ausência de poluentes químicos comuns a fontes químicas (CO_2 , SO_2 , NO_2)
- Combustível efetivamente abundante embora 'fóssil' (não renovável)

■ Riscos

- Riscos intrínsecos
 - Escala dos processos elementares ← Goiânia
 - Atividade residual presente por tempos longos
- Riscos para as instalações
 - Causas internas ← Chernobyl (não nucleares)
 - Causas externas ← Fukushima (não nucleares)
- Riscos para as instalações agravados pelos intrínsecos

Riscos intrínsecos: ^{137}Cs em Goiânia



Riscos intrínsecos: ^{137}Cs em Goiânia



Causas internas: Chernobyl



Chernobyl nuclear power plant AP/Efrem Lukatsky

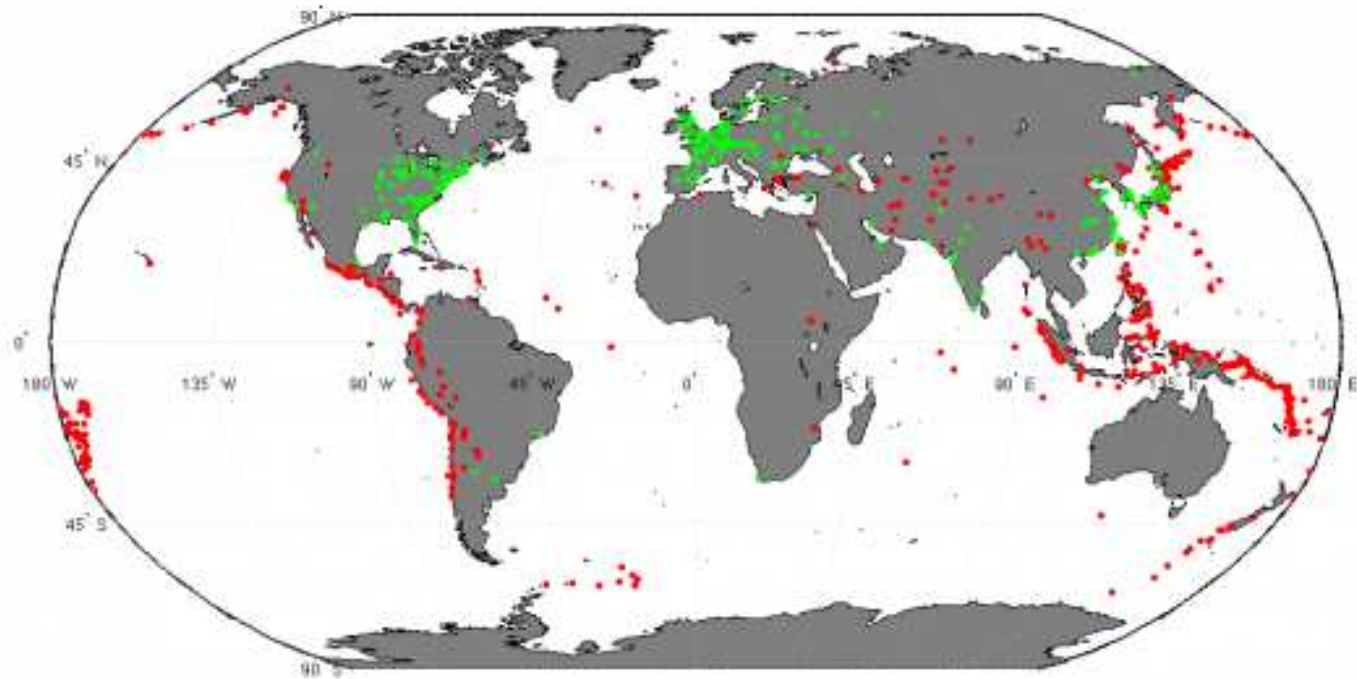
Causas internas: Chernobyl



Causas internas: Chernobyl



Causas externas - Reatores e Terremotos

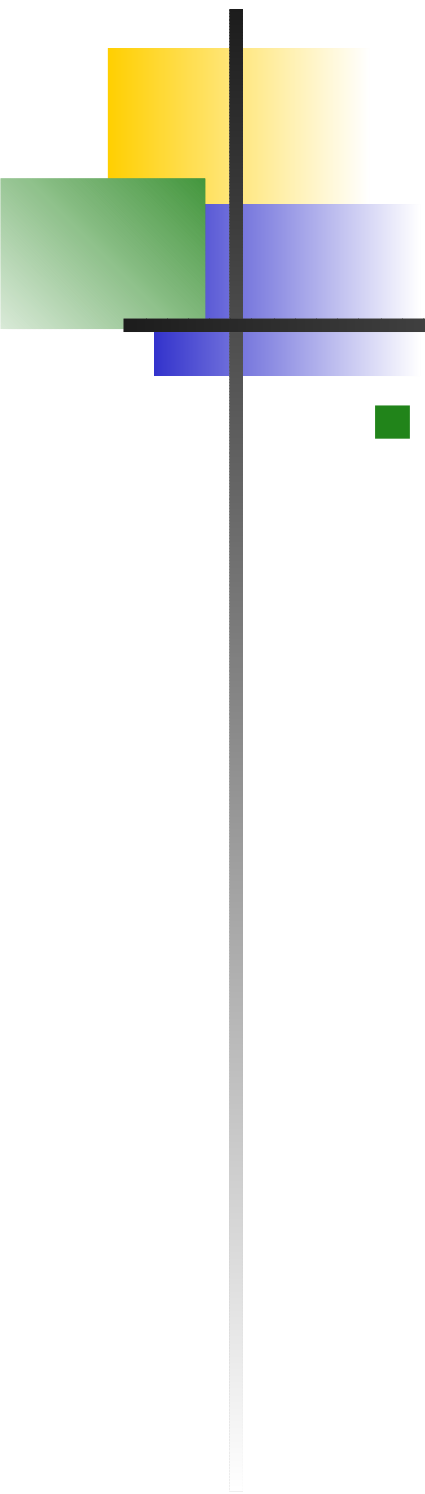


Causas externas: Fukushima



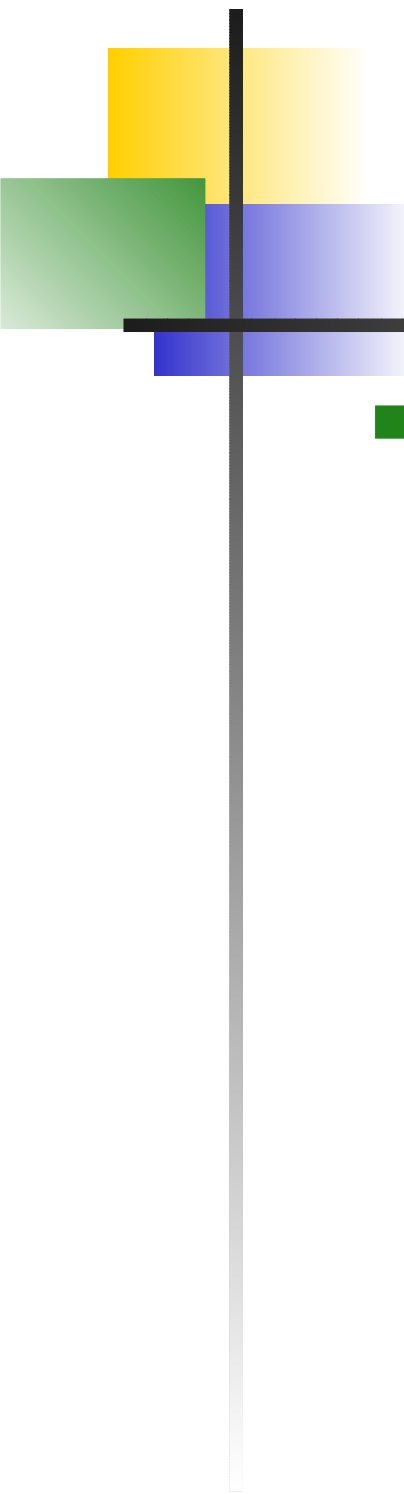
Causas externas: Fukushima





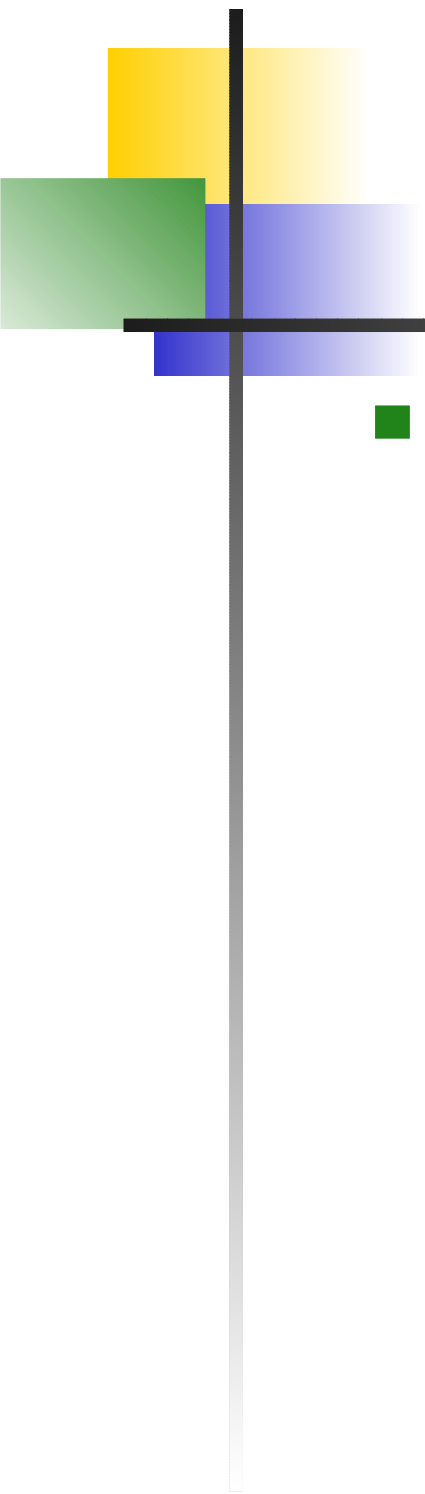
Conclusões

- Processos requerem energia disponível



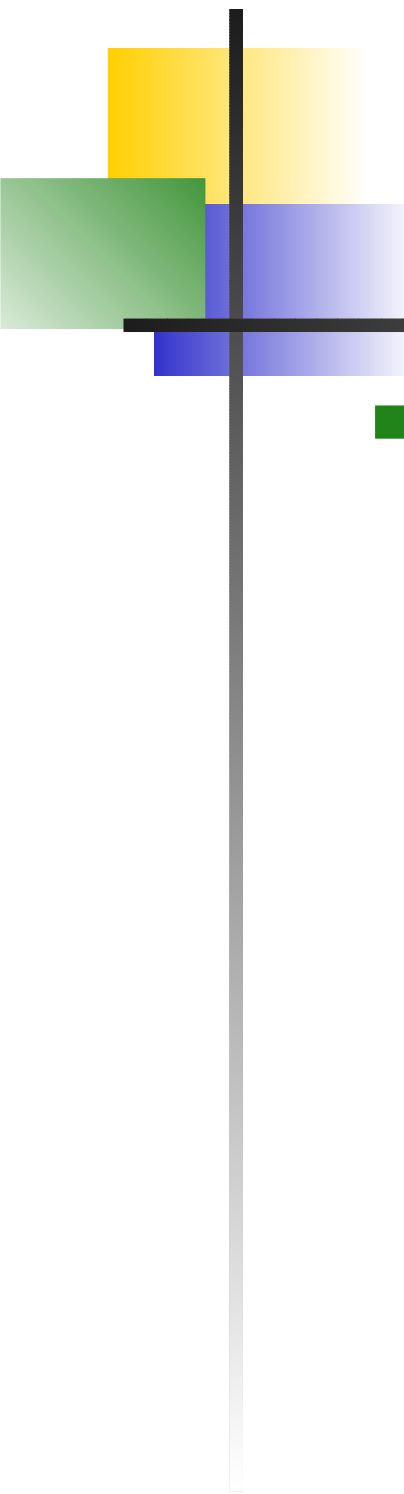
Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’



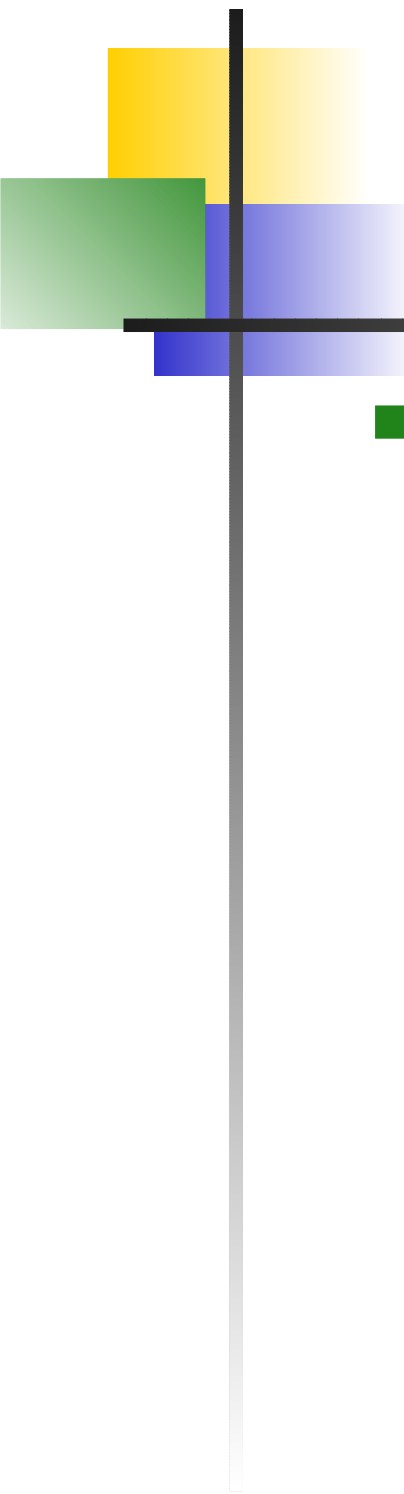
Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos



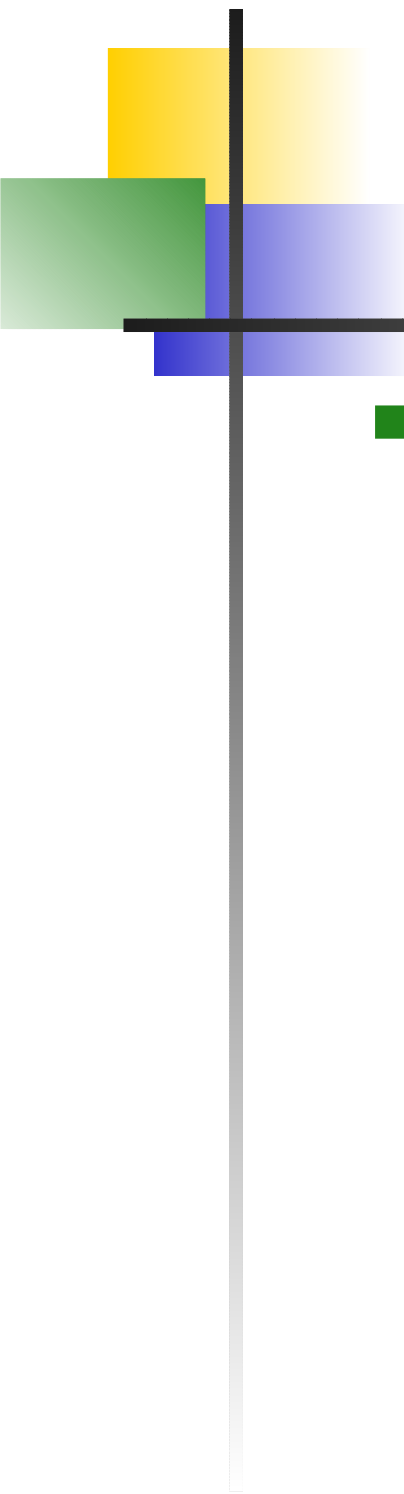
Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)



Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)
 - De qual fonte? (nuclear?)



Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)
 - De qual fonte? (nuclear?)
 - Efeitos colaterais? Efeitos residuais?



Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)
 - De qual fonte? (nuclear?)
 - Efeitos colaterais? Efeitos residuais?
- Atenção às escalas na avaliação de riscos



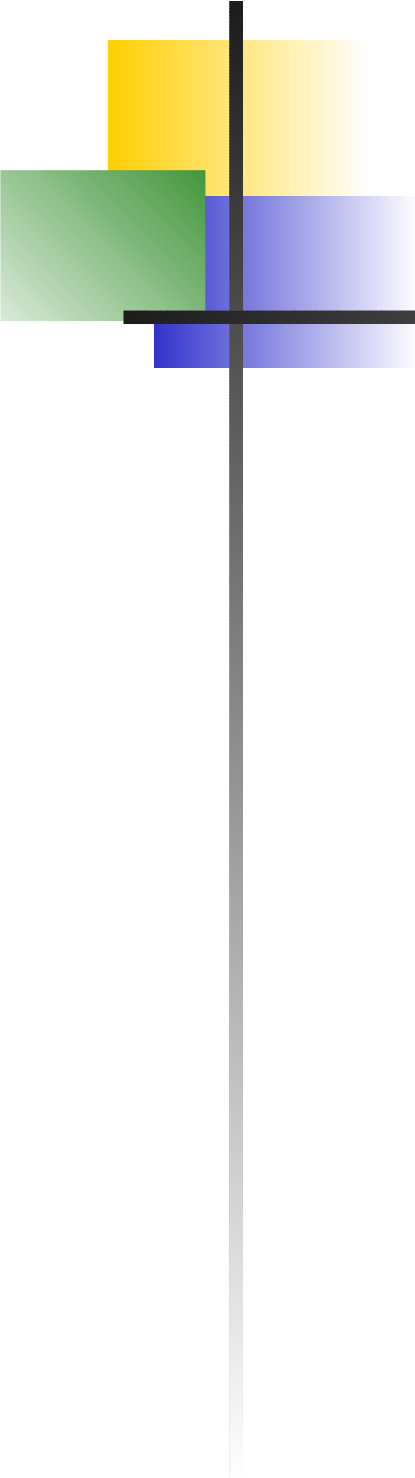
Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)
 - De qual fonte? (nuclear?)
 - Efeitos colaterais? Efeitos residuais?
- Atenção às escalas na avaliação de riscos
- Consequências físicas



Conclusões

- Processos requerem energia disponível
 - Disponibilidade: aspectos físico e ‘cultural’
 - Ênfase no ‘aperfeiçoamento’ de processos
 - Quanta energia? (Eficiência)
 - De qual fonte? (nuclear?)
 - Efeitos colaterais? Efeitos residuais?
- Atenção às escalas na avaliação de riscos
- Consequências físicas
 - Inevitabilidade e automatismo ‘em tempo real’



OBRIGADO