



METALURGIA EXTRATIVA DO URÂNIO

ANA CAROLINA Z. OLIVEIRA
FÁBIO GONÇALVES RIZZI

ISRAEL GARCIA CHAGAS
LUCAS LANDI MARTINS

LUIZ FELIPE ABRILERI

AGENDA

Introdução

- Usos
- Propriedades

Minérios

- Tipos de depósitos
- Reservas

Produção de urânio

- Mineração
- Beneficiamento
- Concentração

Combustível Nuclear

- Produção
- Reciclagem

Conclusão



INTRODUÇÃO

USOS E PROPRIEDADES DO URÂNIO

ELEMENTO URÂNIO

- Último elemento da tabela periódica que ocorre naturalmente:
 - Número atômico 92
 - Isótopos mais comuns: U^{234} , U^{235} , U^{238} (99,3%)
- Encontrado a concentrações de 2,8 ppm na crosta terrestre
 - Somente o isótopo 235 é físsil



PRINCIPAIS USOS

- A principal aplicação é para a produção do *combustível nuclear*



1kg

de Urânio Natural

=



10 ton

de Petróleo

=



20 ton

de Carvão

PRINCIPAIS USOS

- Outras aplicações:
 - Medicina nuclear: ressonância magnética, raios-X, injeções de radioisótopos
 - Pesquisa científica
 - Agricultura: irradiação de alimentos e sementes
 - Produtos de consumo: detectores de fumaça, relógios, componentes de computador



MINERAIS E RESERVAS

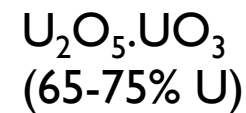
PRODUÇÃO MUNDIAL, TIPOS DE DEPÓSITOS

PRINCIPAIS MINERAIS

uraninita



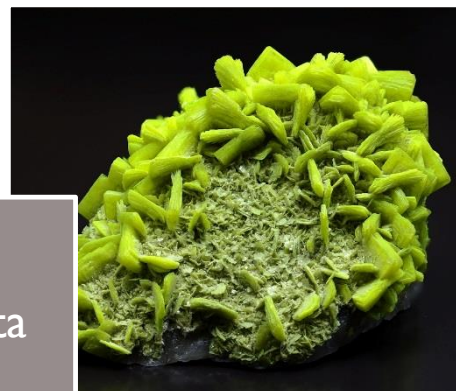
pechblenda



carnotita



autunita



RESERVAS MUNDIAIS



PRODUÇÃO MUNDIAL

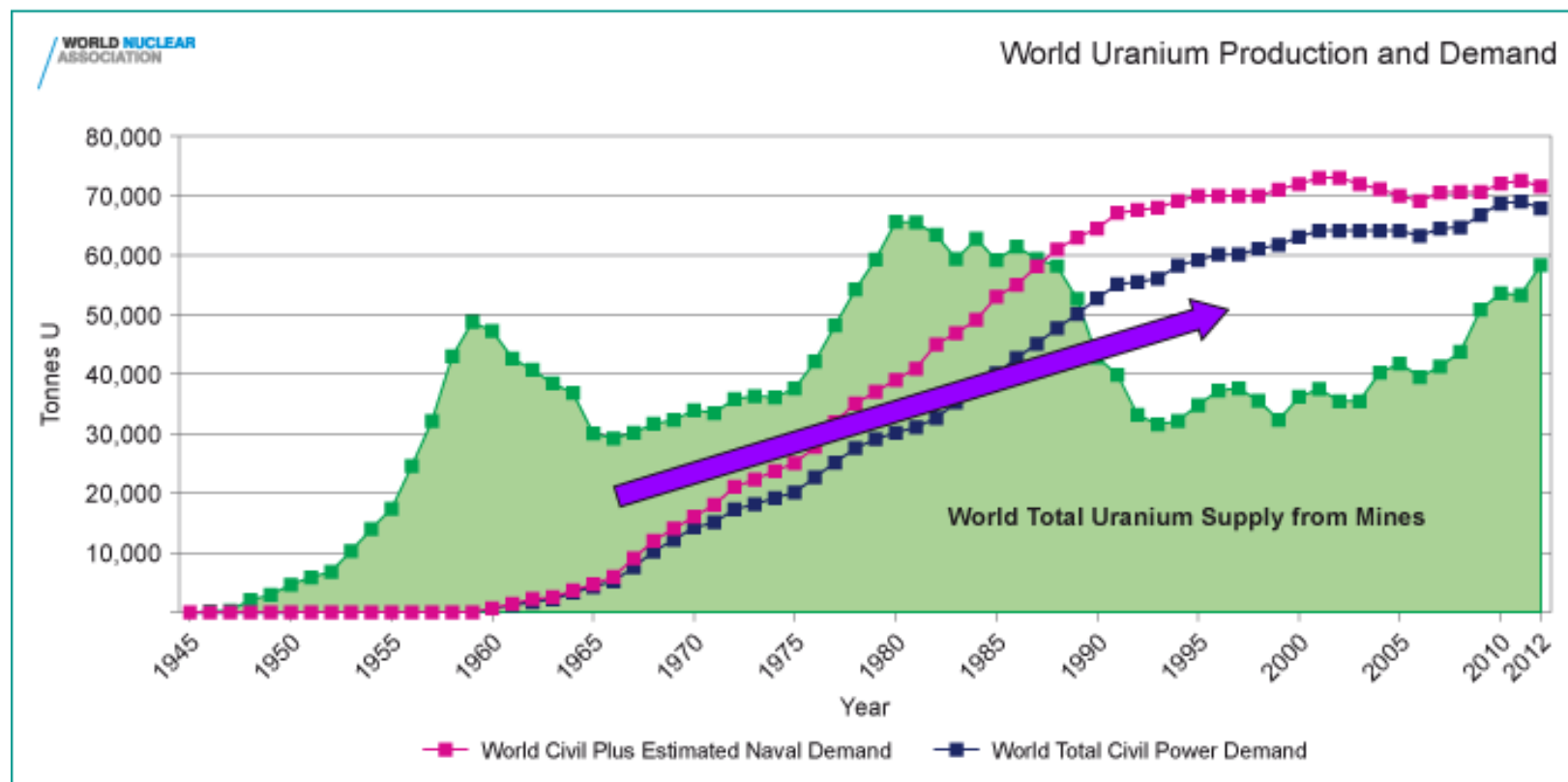
O maior produtor em 2013 foi o Cazaquistão, com 22451 t

Country	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Kazakhstan	6637	8521	14020	17803	19451	21317	22451	22829
Canada	9476	9000	10173	9783	9145	8999	9331	9090
Australia	8611	8430	7982	5900	5983	6991	6350	5000
Niger (est)	3153	3032	3243	4198	4351	4667	4518	
Namibia	2879	4366	4626	4496	3258	4495	4323	3605
Russia	3413	3521	3564	3562	2993	2872	3135	2990
Uzbekistan (est)	2320	2338	2429	2400	2500	2400	2400	
USA	1654	1430	1453	1660	1537	1596	1792	1888
China (est)	712	769	750	827	885	1500	1500	
Malawi			104	670	846	1101	1132	
Ukraine	846	800	840	850	890	960	922	
South Africa	539	655	563	583	582	465	531	
India (est)	270	271	290	400	400	385	385	
Brazil	299	330	345	148	265	231	231	
Czech Republic	306	263	258	254	229	228	215	
Romania (est)	77	77	75	77	77	90	77	
Pakistan (est)	45	45	50	45	45	45	45	
Germany	41	0	0	8	51	50	27	
France	4	5	8	7	6	3	5	
Total world	41 282	43 764	50 772	53 671	53 493	58 394	59,370	
tonnes U ₃ O ₈	48 683	51 611	59 875	63 295	63 084	68 864	70,015	
percentage of world demand*	64%	68%	78%	78%	85%	86%	92%	

A produção total de U em 2013 foi de 59 t, o que corresponde a **92%** da demanda

59 t U =
70 t U₃O₈

PRODUÇÃO MUNDIAL



A produção mundial sofreu uma queda no fim dos anos 80 e vem crescendo desde o ano 2000

CONSUMIDORES DE URÂNIO

País		% de geração de energia nuclear	Quantidade de usinas nucleares ativas
1	Eua	19,4	104
2	França	77,7	58
3	Japão	18,1	50
4	Rússia	7,6	33
5	Coréia	34,6	23
6	Índia	3,7	20
7	Canadá	15,3	17
8	Inglaterra	17,8	16
9	Ucrânia	47,2	15
10	Alemanha	17,8	9
24	Brasil	3,2	2

Maior consumidor: EUA – 104 usinas nucleares

Brasil: 24º maior consumidor – 2 usinas (Angra I e II)

NO BRASIL...

■ Reservas:

- Bahia: Caetité/Lagoa Real
- Minas Gerais: Caldas
- Ceará: Santa Quitéria



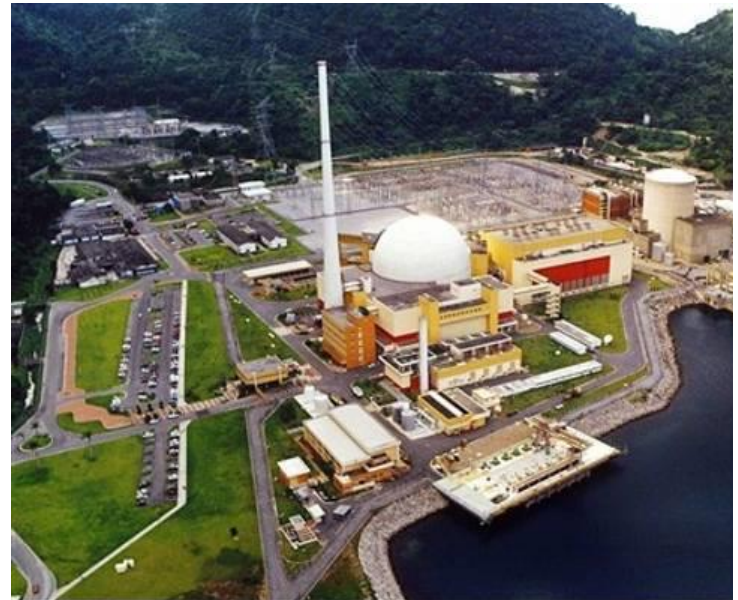
NO BRASIL...

■ Produção:

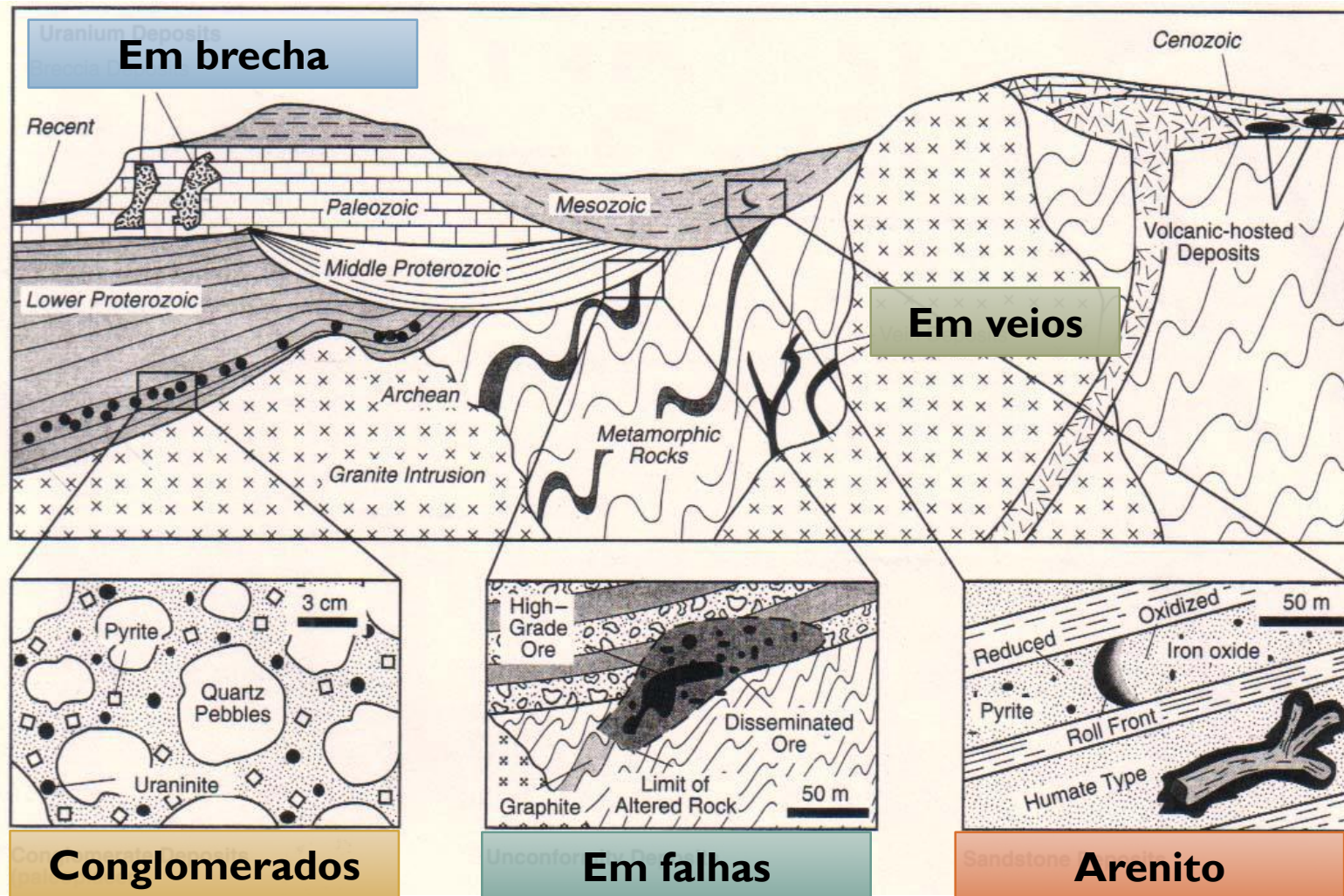
- A única mina de urânio em operação: Caetité/BA - 400t de concentrado de urânio (U_3O_8) por ano
- Controlada pela INB – Indústrias Nucleares Brasileiras

■ Usinas nucleares

- Angra I e Angra II: 3% da energia elétrica do país

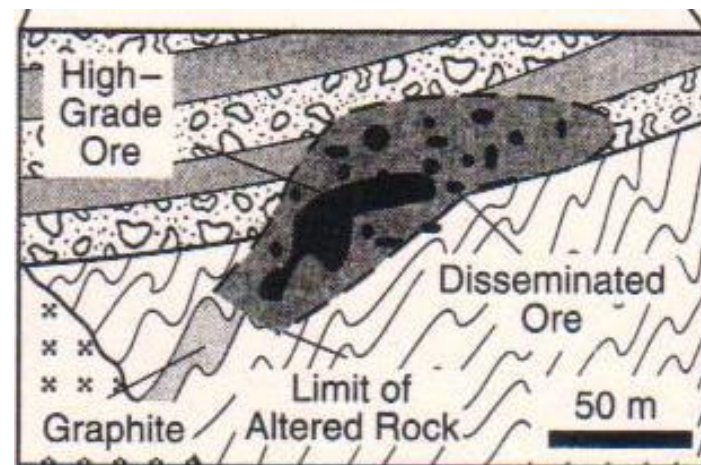


TIPOS DE DEPÓSITOS



DEPÓSITOS EM FALHAS

- Região entre duas unidades de rochas onde a unidade inferior foi deformada, e as unidades subjacentes foram menos deformados.
- Unidades subjacentes: porosidade e permeabilidade das rochas.
- Unidades sobrepostas : arenito que permite a concentração de urânio



Em falhas

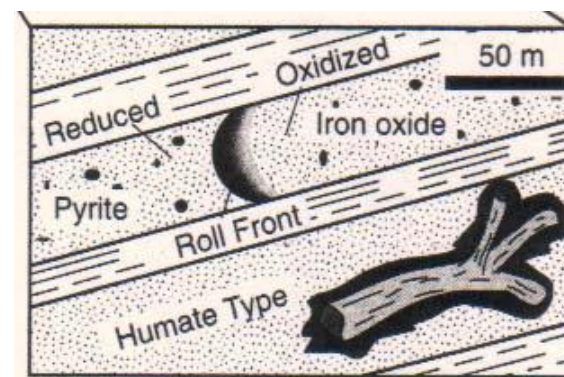
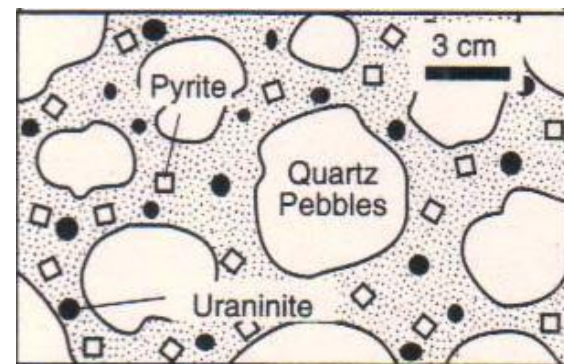
DEPÓSITOS EM BRECHAS

- Brechas são rochas pré-existentes que foram quebrada em pedaços por qualquer tipo de intempérie, colapso ou fratura (hidráulica ou tectônica).
- Os blocos formam uma região de alta porosidade e permeabilidade para a precipitação de urânio



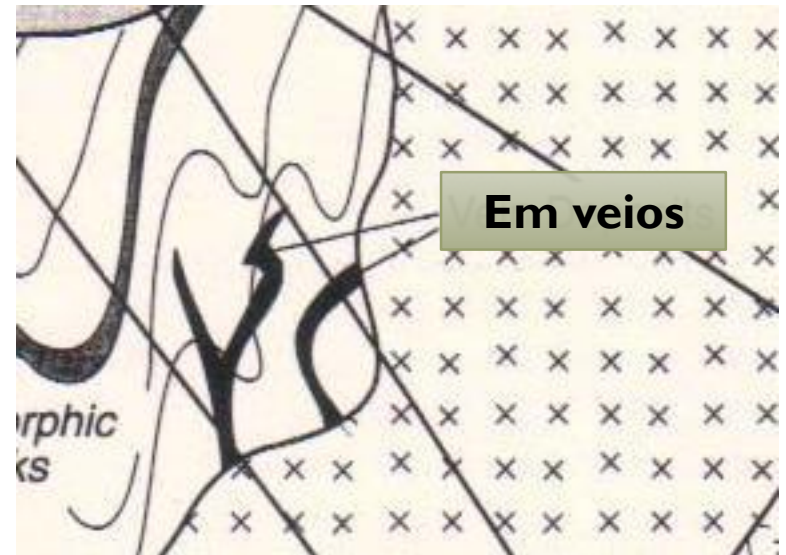
ARENITO E DEPÓSITOS CONGLOMERADOS

- Os depósitos são encontrados entre as unidades impermeáveis que contêm restos orgânicos abundantes ou outros materiais para promover as condições de redução e causar a precipitação de urânio.



DEPÓSITOS EM VEIOS

- Minério de urânio é associado com veias em rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, originadas de rachaduras, falhas e brechas.
- Depósitos deste tipo são encontrados na Austrália, França, República Checa, Alemanha e Zaire.

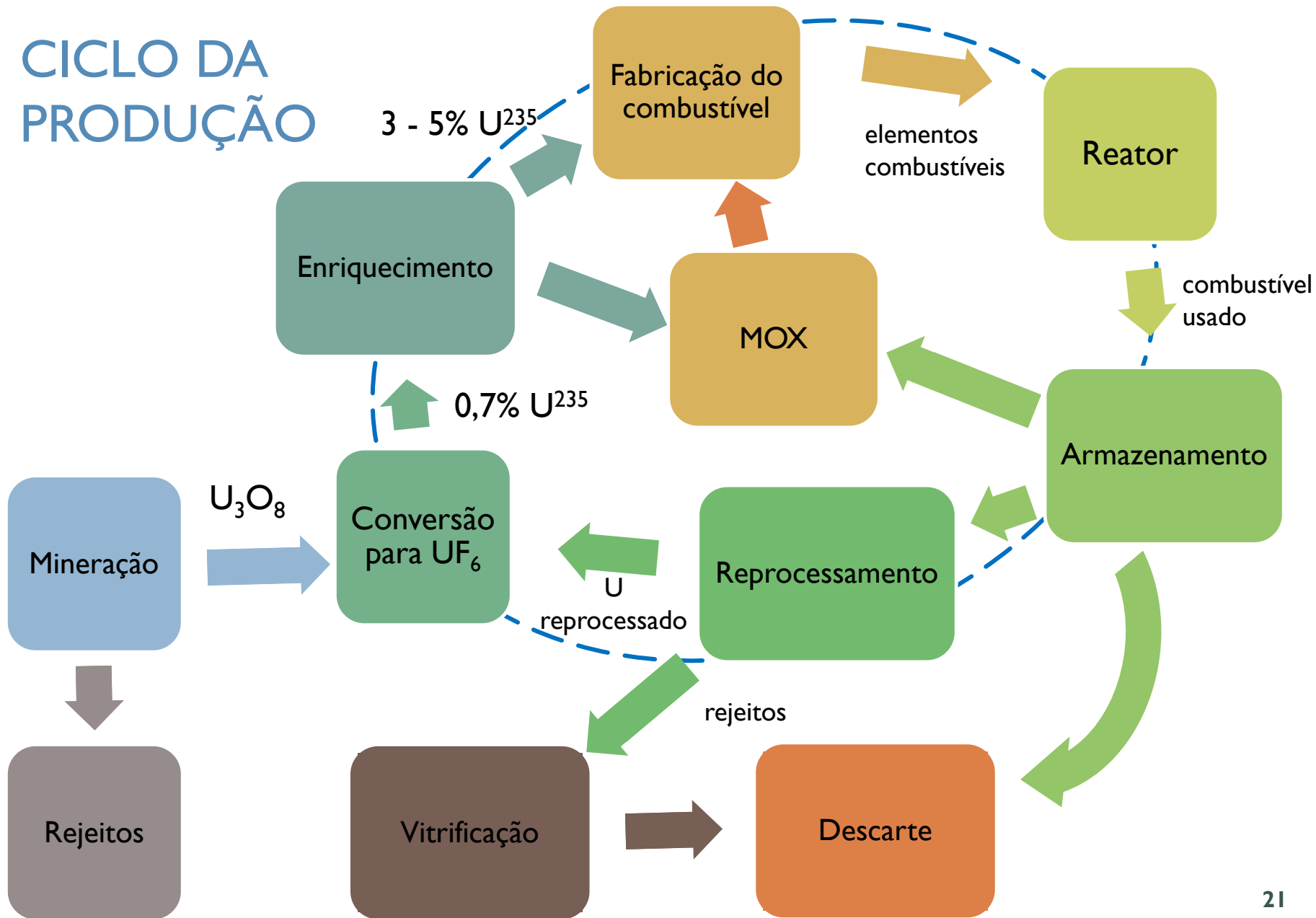




PRODUÇÃO DE URÂNIO

MINERAÇÃO, BENEFICIAMENTO, CONCENTRAÇÃO

CICLO DA PRODUÇÃO



MINAS DE URÂNIO

- A maioria dos depósitos de minério de urânio apresenta concentrações superiores a 0,10% do urânio - ou seja, mais de mil partes por milhão
- Existem minas de urânio operando em cerca de vinte países, dentre eles principalmente Austrália e Canadá.
- São a céu aberto ou subterrâneas



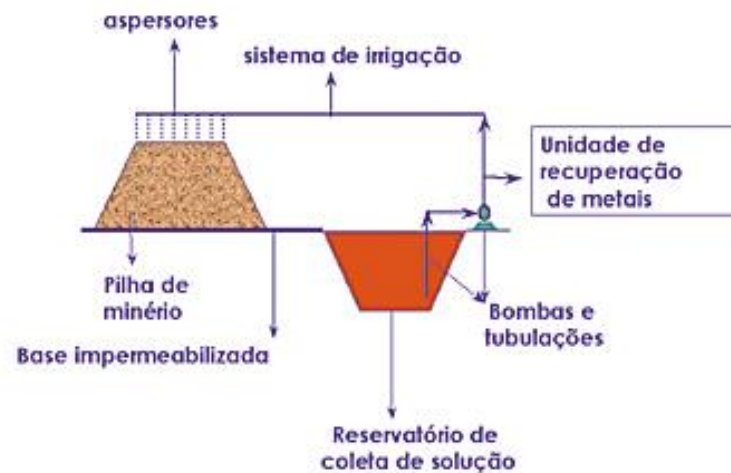
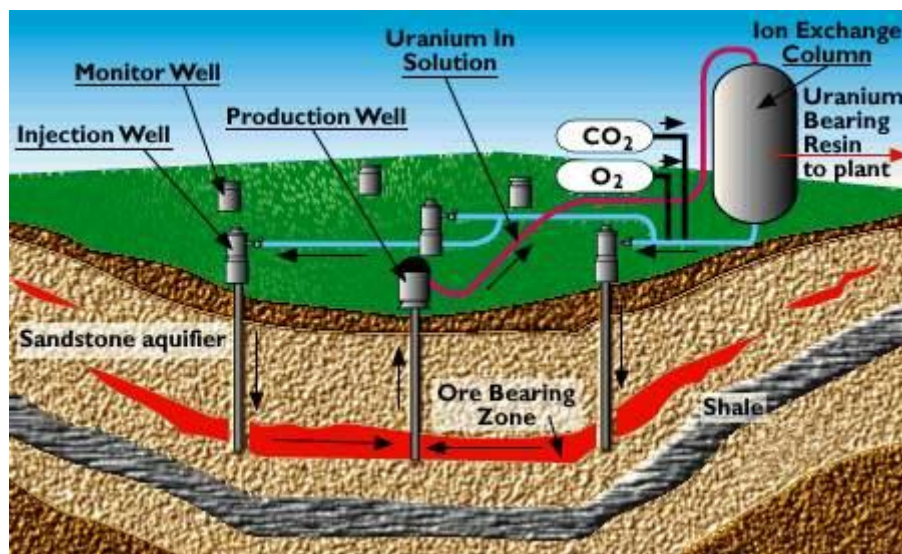
Mina subterrânea de McArthur River, Canadá

BENEFICIAMENTO

- Extração do urânio do minério, purificação e concentração para produção de yellow cake – U_3O_8
 - Após a extração, o minério é conduzido a uma etapa de britagem e moagem
 - Em seguida, é encaminhado para a etapa de lixiviação

LIXIVIAÇÃO DO URÂNIO

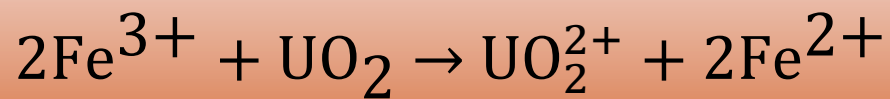
- In situ ou em pilha



- Pode ser realizada em soluções ácidas ou em soluções alcalinas

LIXIVIAÇÃO DO URÂNIO - ÁCIDA

- É utilizada uma mistura de ácido sulfúrico com H_2O_2 em presença de ferro:



- Características:
 - Rápida, pouco seletiva, maior gasto de reagente em minerais carbonatados

LIXIVIAÇÃO DO URÂNIO - ALCALINA

- Utiliza o carbonato de sódio como lixiviante:



- Características:
 - menos efetiva, maior seletividade, economia de reagentes em relação ao anterior

PURIFICAÇÃO – EXTRAÇÃO POR SOLVENTE

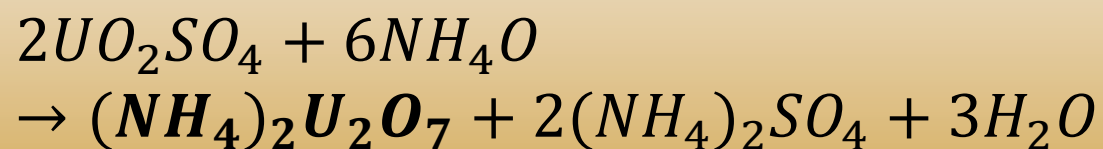
- **Separação sólido-líquido:** geralmente são utilizados filtros à vácuo em tambor, em disco ou em correia horizontal.
- A purificação da solução é realizada por extração por solvente:
 - Extratante ácido: DEHPA (ácido di (2 - etilhexilfosfórico))
 - Extratante básico: alamina 336
 - Extratante neutro: TBP (tributilfosfato)

PURIFICAÇÃO – EXTRAÇÃO POR SOLVENTE

- A purificação da solução é realizada por **extração por solvente**:
 - Extratante ácido: DEHPA (ácido di (2 - etilhexilfosfórico))
 - Extratante básico: alamina 336
 - Extratante neutro: TBP (tributilfosfato) – utilizada na reciclagem de elementos combustíveis

PRECIPITAÇÃO

- Realizada com amônia, soda cáustica ou cal:



Diuranato de amônia - DUA



DUA = yellow cake

- Separação sólido-líquido:** geralmente são utilizados filtros à vácuo em tambor, em disco ou em correia horizontal

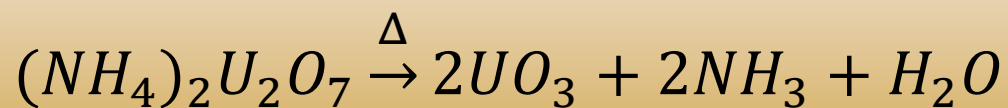


PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

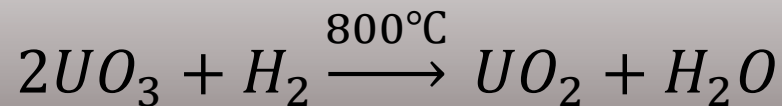
PRINCIPAIS ETAPAS, RECICLAGEM

CALCINAÇÃO E REDUÇÃO

- O diuranato de amônia (DUA) é calcinado após a precipitação:



- Redução:

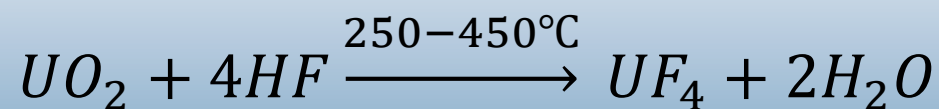


ENRIQUECIMENTO

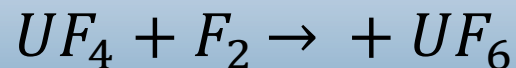
- Aumentar a porcentagem de U^{235} – **0,7%**
 - Reatores: **3 a 5%**
 - Submarino nuclear: 20%
 - Bomba atômica: 95%
- Principais processos
 - Difusão gasosa
 - Ultracentrifugação: processo utilizado no Brasil

PRODUÇÃO DE UF₆

- Fluoretação do dióxido de urânio a 450°C:

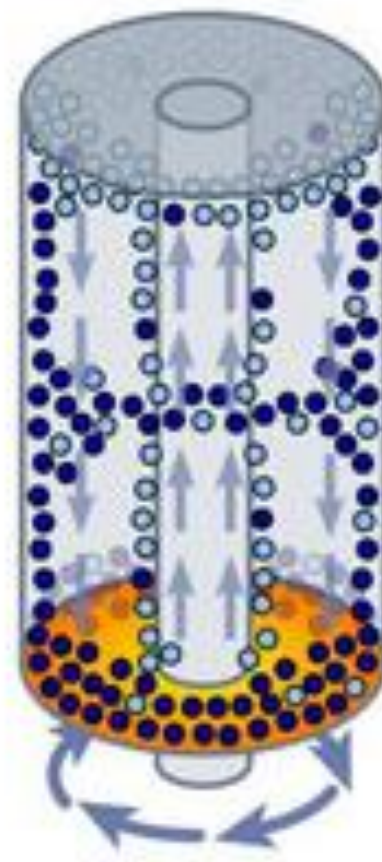


- Fluoretação do UF₄:



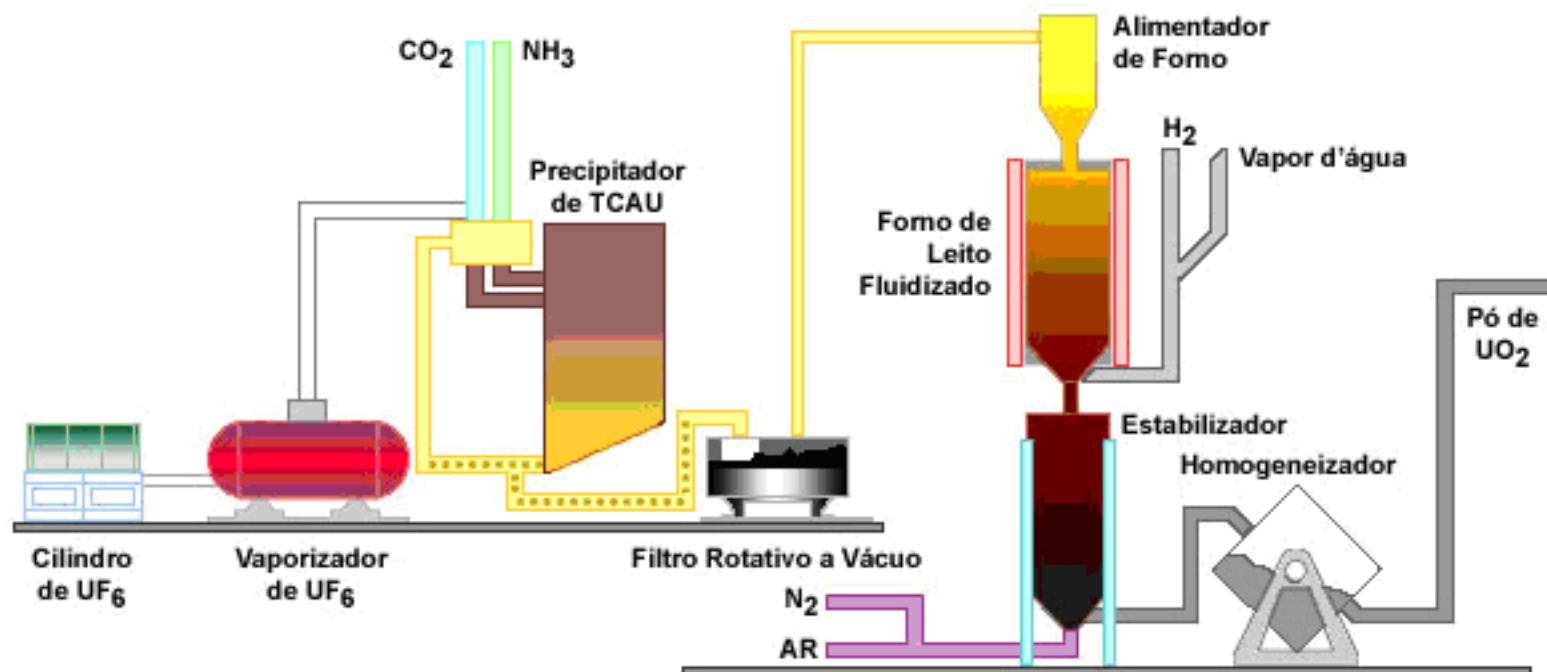
PRODUÇÃO DE UF₆

- **Difusão gasosa:** o UF₆ é passado por um membrana porosa, separando-se o U²³⁵ do U²³⁸
- **Ultracentrifugação:** a separação dos dois isótopos se dá pela força centrífuga



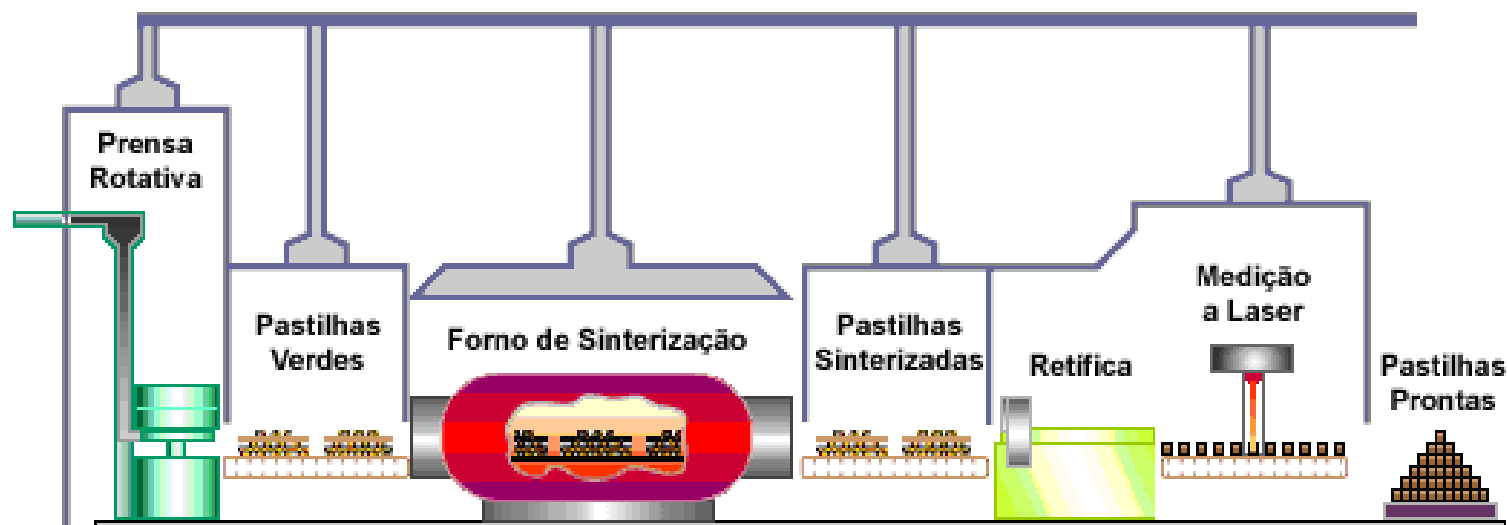
RECONVERSÃO DO UF_6

- Transforma o gás UF_6 em dióxido de urânio UO_2 , na forma de pó, para ser utilizado como combustível.



PRODUÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

- Metalurgia do pó



PRODUÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

- Montagem dos elementos combustíveis
 - São colocadas em tubos de zircaloy



RECICLAGEM DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

■ Objetivos

- Separar qualquer elemento utilizável do combustível nuclear já utilizado nos reatores – *através da dissolução das pastilhas combustíveis*
- Novo combustível – Mixed-Oxide Fuel (**MOX**).
- Conversão dos rejeitos radioativos em formas seguras de transporte e armazenamento (como a **vitrificação**)

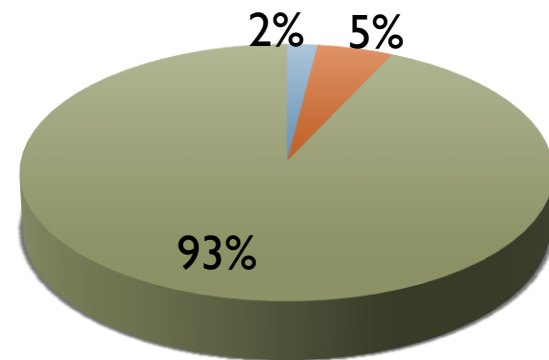


RECICLAGEM DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

Composição do Combustível Irradiado

- Combustível irradiado:
 - Já foi utilizado nos reatores nucleares
 - Elementos Transurânicos
 ^{239}Pu , Np , Am , Cm
 - Produtos de Fissão
 Sr , Cs , Ba , I , dentre outros
 - Volume de Rejeito

^{238}U



- Elementos Transurânicos
- Produtos de Fissão
- Urânio (volume de rejeito)

RECICLAGEM DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

■ Problemas:

- Processo muito caro, não é utilizado em escala industrial – **escala laboratorial**
- Risco de proliferação da tecnologia nuclear – o plutônio recuperado pode ser utilizado para produção de armas nucleares
- Utilizado na França, Japão, Rússia, Inglaterra, dentre outros

RECICLAGEM DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

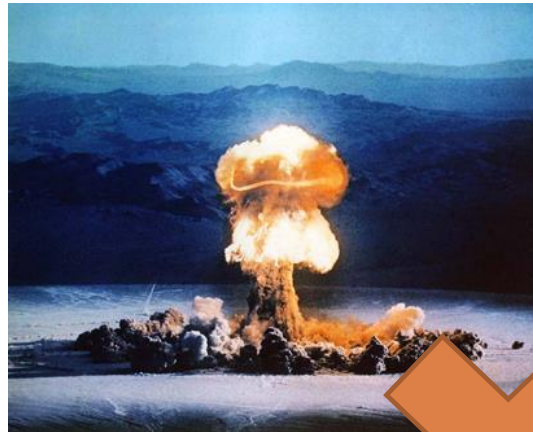
- **Processo PUREX:** dissolução das pastilhas com ácido nítrico e extração por solvente com TBP



CONCLUSÃO

■ Importância

- Forma alternativa de energia: não emite gases causadores do efeito estufa
- Eficiência energética



■ Problemas

- Rejeitos
- Reciclagem
- Uso bélico





FIM!

OBRIGADO!