



Materiais dos
Reatores
Nucleares

**MATERIAIS DE
APLICAÇÃO NA
ENGENHARIA
NUCLEAR**



Profa.
Raquel M. Lobo





**Ipen
2023**



Ementa

Introdução aos tipos de reatores nucleares, estruturas, componentes e materiais utilizados nas centrais nucleares

Revisão da ciência dos materiais especialmente da relação microestrutura e propriedades

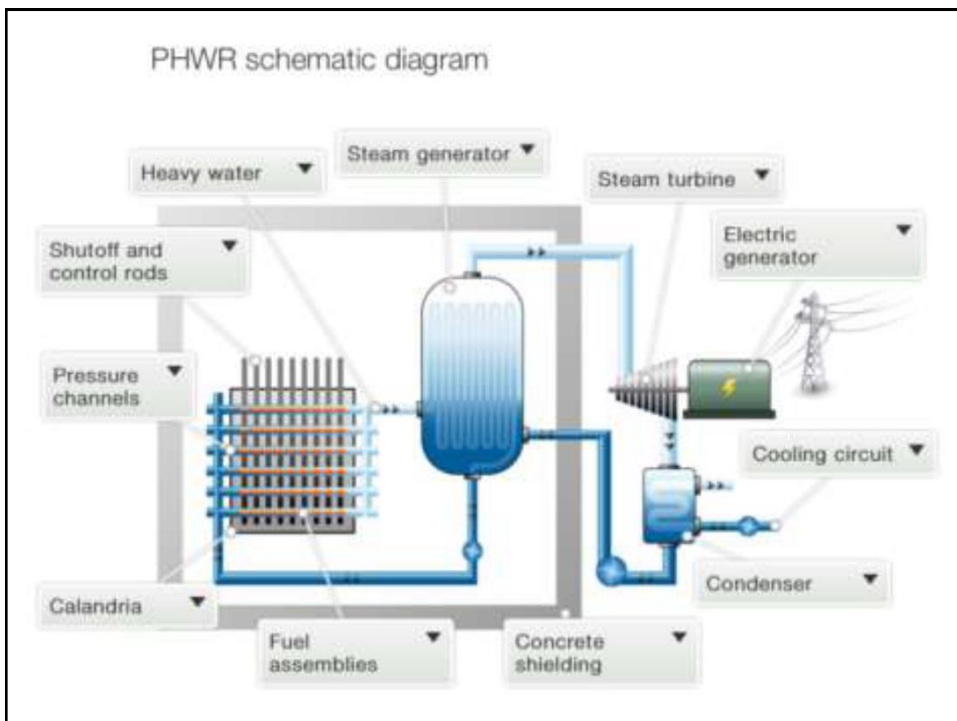
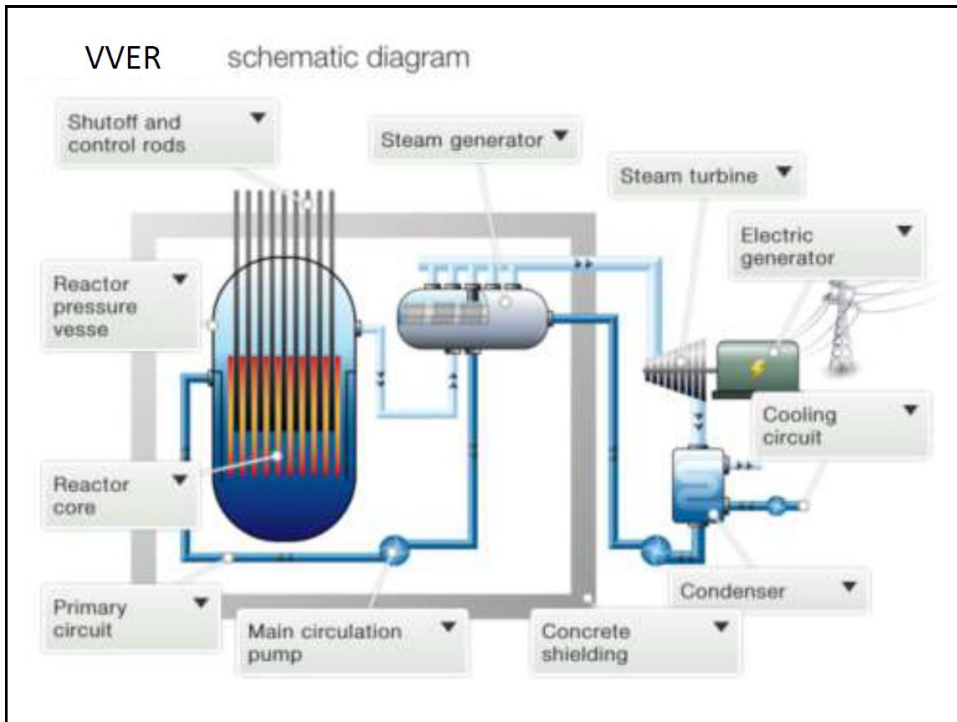
Interação entre partículas, matéria e defeitos elementares
Danos de radiação e a microestrutura

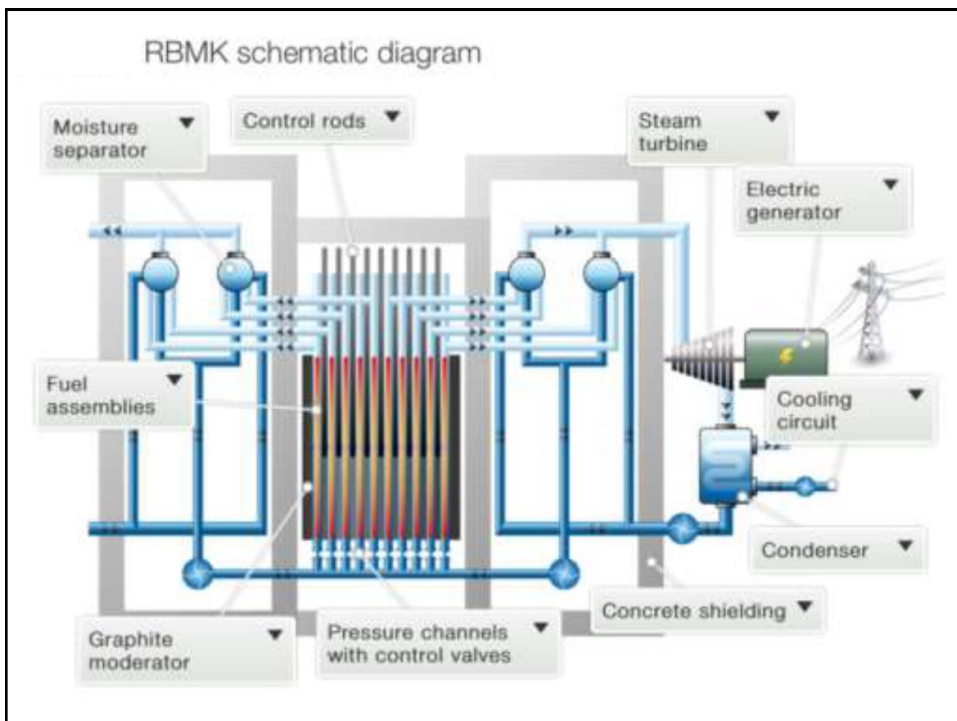
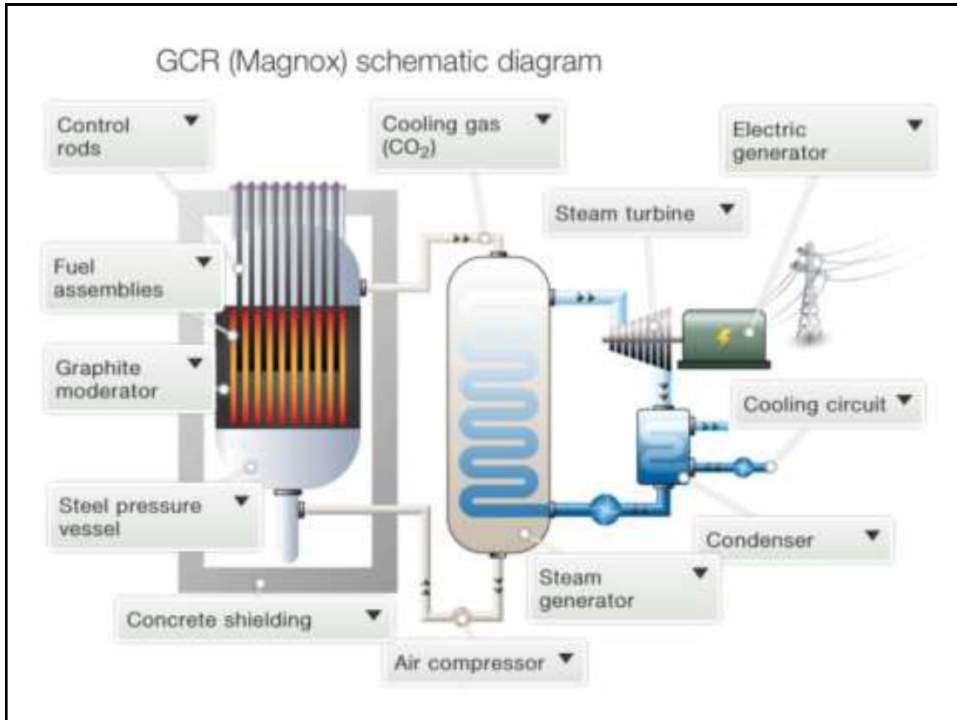
O combustível nuclear e seu revestimento.
Modos de degradação do combustível nuclear

Vaso de pressão e tubulações do primário.

Materiais clássicos utilizados nos reatores (gerador de vapor;
confinamento dos resíduos

Extensão da vida útil. Recomendações e perspectivas.







Angra dos Reis - RJ

Angra dos Reis

Município no Rio de Janeiro

Angra dos Reis é um município do Rio de Janeiro, a sudoeste do estado, com belas praias, ilhas e um pequeno porto. Possui uma costa íngreme e arborizada, cercada pelas suas inúmeras praias. Possui a Ilha Grande, a maior ilha deserta do Brasil, a vila da ilha e conta com o Santuário de São Sebastião, no centro, e as ruínas do presídio Cândido



Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

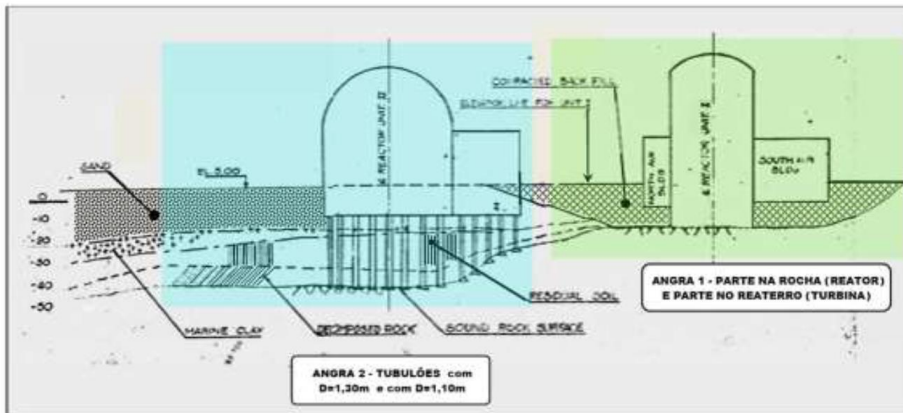


Angra dos Reis



ESQUEMA DAS FUNDAÇÕES DE ANGRA 2 E DE ANGRA 1

6



ANGRA 1 - PARTE NA ROCHA (REATOR)
E PARTE NO REATERRO (TURBINA)

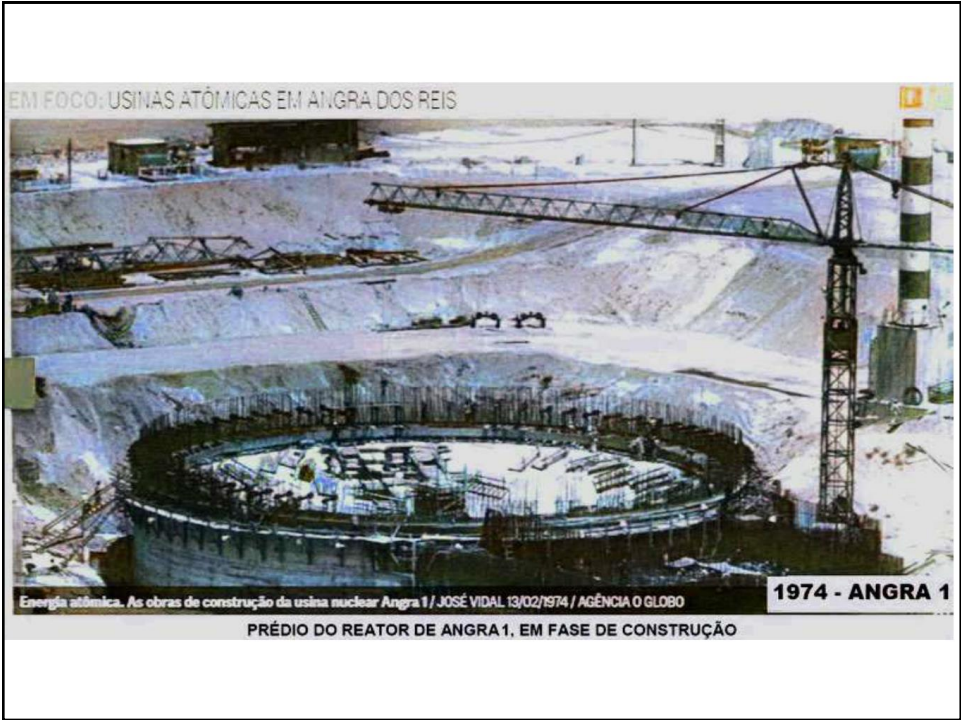
ANGRA 2 - TUBULÕES com
De1,30m e com De1,10m

LEGEND	
	SAND
	MARINE CLAY
	RESIDUAL SOIL
	DECOMPOSED ROCK
	COMPACTED BACK FILL



1971 - Praia de Itaorna





Angra II



Angra III



Prédio das Turbinas & Gerador Elétrico



Angra II



2018 - ITAORNA

Tupinambá - pedra podre

TÚNEL DE DESCARGA DA ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

Através do túnel de 1 km de extensão, escavado na rocha, a água de refrigeração será lançada ao mar.
Área do túnel = 65 m² ; Largura = 8m ; Altura = 9m ; Comprimento = 1000 metros..



PRÉDIO DO REATOR DE ANGRA 3, EM FASE DE CONSTRUÇÃO.



Angra III



THE LARGEST NUCLEAR POWER PLANTS AROUND THE WORLD:

Power plant	Country	Power output
Kashiwazaki Kariwa	Japan	7 965 MW _e
Bruce	Canada	6 152 MW _e
Hanul	South Korea	5 881 MW _e
Hanbit	South Korea	5 875 MW _e
Zaporizhzhya Nuclear power station	Ukraine	5 700 MW _e

kashiwazaki kariwa - Japão



Bruce - Canadá



Hanul - Coréia do Sul





Hanbit - Coréia do Sul

Zaporizhzhya - Ucrânia



Materiais para Reatores

Componentes e Materiais dos Reatores Nucleares

Componentes	Principais Materiais
Combustível Nuclear	Urânio, Plutônio, Tório
Estruturais	Ligas de zircônio, aço inoxidável, ligas de alumínio, ligas de níquel, aço carbono
Moderador e Refletor	Grafite, água leve e pesada, berílio
Elementos de controle	Carbeto de boro, cádmio, háfnio, ácido bórico, absorvedores queimáveis
Refrigerantes	Hélio, CO ₂ , H ₂ O, D ₂ O, metais líquidos
Blindagens	Elementos ou compostos de número atômico baixo, leve ou pesado
Sistemas de Segurança	Sistemas de supressão de pressão, de resfriamento emergencial do núcleo, de monitoramento

Materiais Combustíveis

Função: Fonte de Energia

- **Urânio (U)** : metálico e cerâmico ★
- **Plutônio (Pu)** : diluído no urânio na forma metálica ou cerâmica
- **Tório (Th)** : material fértil - ligas metálicas e compostos cerâmicos

Materiais Estruturais

Função : proporcionar confinamento físico do combustível, resistência mecânica e suporte estrutural aos componentes do reator

- Encamisante
- Vaso de Pressão
- Canais e tubos de refrigeração do combustível
- Placas de suporte do núcleo

Materiais Estruturais

Requisitos	Materiais
Baixa absorção (captura) de neutrons	Be, Mg, Zr, Al
Alta resistência mecânica e ductilidade	Aço carbono, aço inoxidável
Alta estabilidade sob radiação	Mo, Ti, Ta, W
Boa resistência a corrosão em temperaturas elevadas	Grafite, concreto protendido
Boa Condutividade térmica	Al, Mg
Baixa radioatividade induzida	BeO, Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂

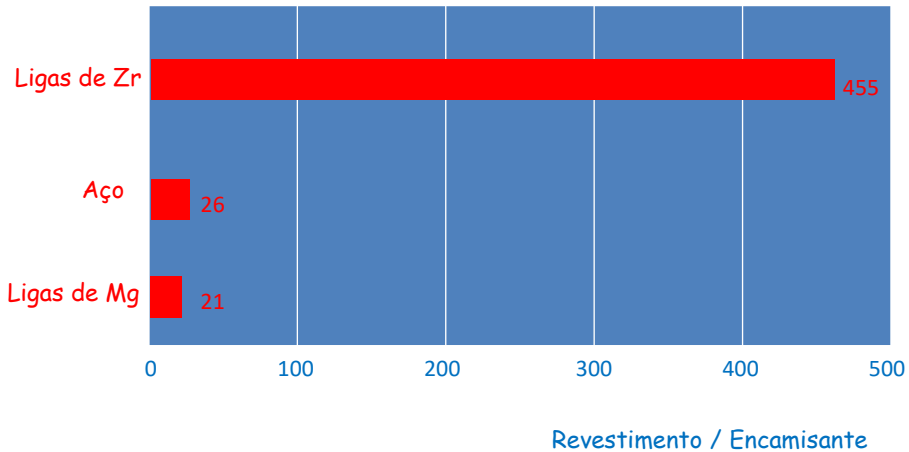
Atributos do Encamisante (revestimento) *

- Tensão de escoamento adequado em T elevada e durante a irradiação
- Resistência à corrosão
- Estabilidade dimensional
- Propriedades mecânicas previsíveis
- Condutividade térmica elevada
- Boas propriedades neutrônicas
- Facilidade de fabricação e instalação
- Facilidade de reprocessamento
- Custo baixo
- Baixa demanda de recursos escassos



* O combustível deve ser protegido do refrigerante e vice-versa

Aproximadamente 90% dos Reatores a Fissão Atuais usam materiais do revestimento a base de Zr



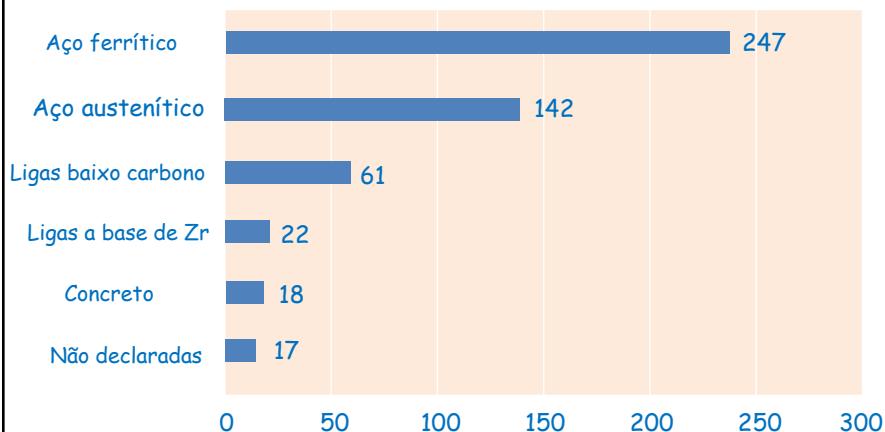
Zircônio como Material Estrutural Nuclear

Vantagens	Desvantagens
Baixa seção de choque de absorção de nêutrons térmicos	Baixa condutividade térmica
Alto ponto de fusão	Baixa resistência à corrosão em temperaturas elevadas
Resistência mecânica alta em temperaturas elevadas	Custo relativamente alto
Boa resistência à corrosão (água e vapor)	Baixo coeficiente de expansão térmica
Conformabilidade e usinabilidade	
Disponibilidade razoável	

Alumínio como Material Estrutural Nuclear (Reator de Pesquisa)

Vantagens	Desvantagens
Absorção de nêutrons térmicos relativamente baixa	Baixo ponto de fusão
Condutividade térmica elevada	Resistencia mecânica baixa em temperaturas elevadas
Alta estabilidade sob irradiação	
Boa resistência à corrosão (água e ar)	
Conformabilidade e soldabilidade	
Disponibilidade e baixo custo	

Aproximadamente 90% dos reatores a fissão atuais usam aço para o Vaso de Pressão



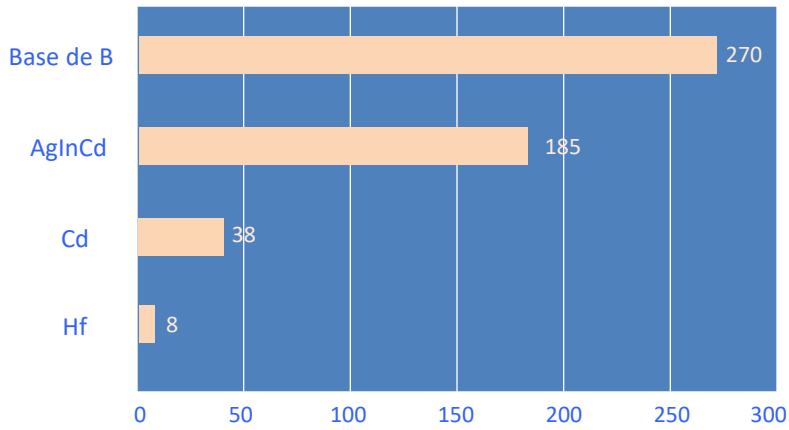
Atributos do Material Moderador

Seção de choque de espalhamento elevada
Seção de choque de absorção baixa
Perda de energia por colisão alta

Atributos dos Materiais das Barras de Controle

- Seção de choque de absorção elevada
- Resistência mecânica adequada para barras sólidas
- Baixa massa para permitir movimentação rápida
- Resistência à corrosão
- Estabilidade química e dimensional
- Baixo custo
- Boa capacidade de transferência de calor

Aproximadamente Metade dos Reatores à Fissão Atuais usa Varetas de Controle a base de Boro



Atributos do Refrigerante para Reatores a Fissão

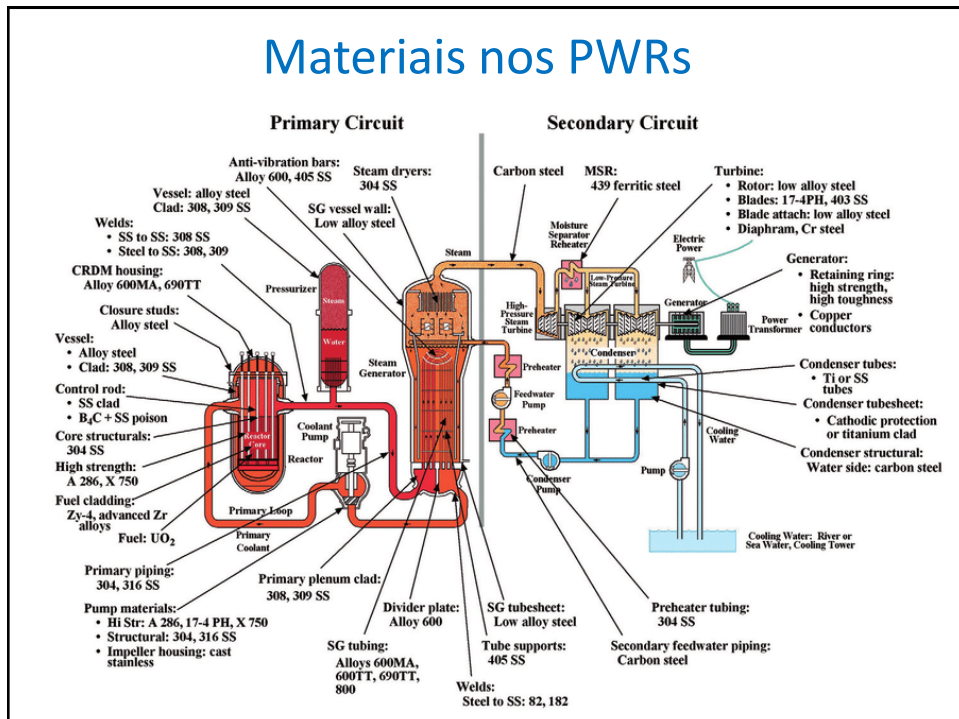
- Condutividade térmica elevada
- Calor específico elevado
- Estabilidade (sob irradiação, temperaturas)
- Radioatividade induzida baixa
- "Corrosividade" baixa

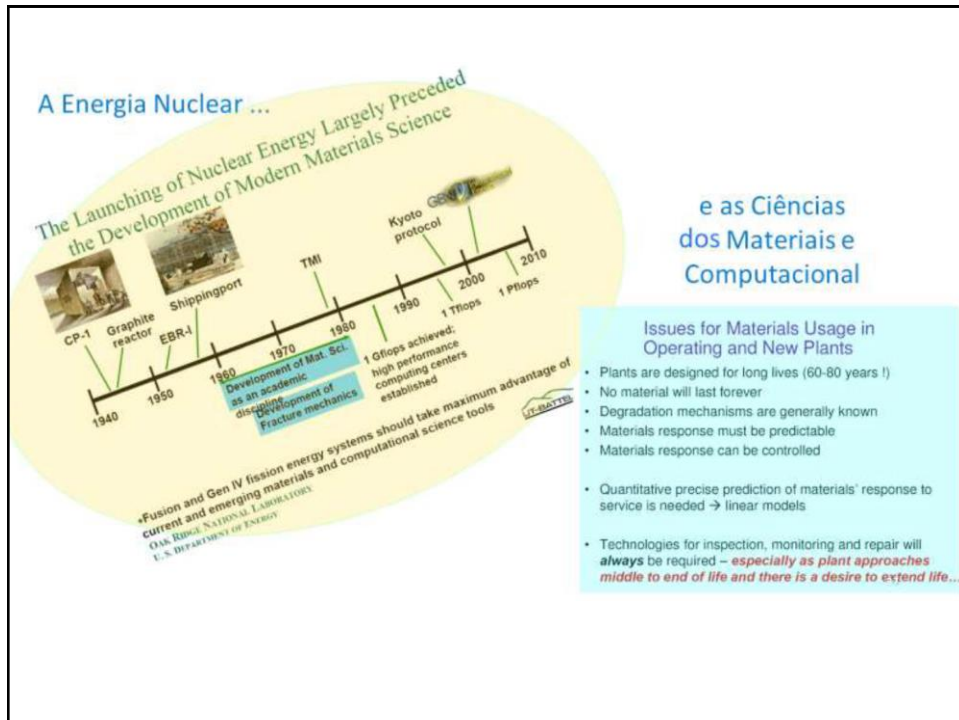
Atributos do Material de Blindagem

Bom material de moderação
 Bom absorvedor de neutrons
 Densidade elevada para atenuar radiação gama

Possíveis Materiais

Cimentos e concretos; cerâmicas e cermets; vidros e sais fundidos; minerais; ligas metálicas e pós sinterizados; polímeros e etc.





Noções Básicas de Ciência e Engenharia de Materiais

- ✓ O Estado Sólido
- ✓ Classes de Materiais
- ✓ Estrutura Cristalina
- ✓ Imperfeições nos Sólidos
- ✓ O Fenômeno da Difusão
- ✓ Discordâncias e Outros Defeitos
- ✓ Técnicas Experimentais para Micro e Nanoestruturas
- ✓ Testes Mecânicos (Tração, Fluência e Impacto)
- ✓ Degradação dos Materiais (Corrosão e Oxidação)

Sólidos – a grande imagem

Estrutura eletrônica

- Átomo de Bohr
- Bohr – Sommerfeld
- Números quânticos
- Princípio aufbau (construção)
- Átomos com multi-elétrons
- Padrões da Tabela Periódica
- Estabilidade dos octetos



Ligação

Primária:

- Iônica
- Covalente
- Metálica

Secundária:

- van der Waals
- dipolo-dipolo
- dispersão de London
- hidrogênio



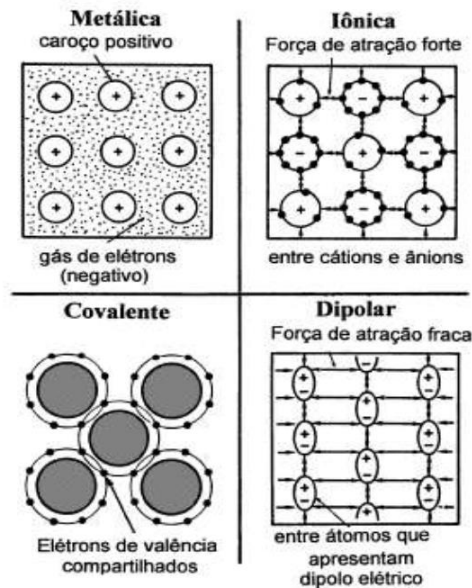
Estado de agregação

- Gás
- Líquido
- Sólido

Classificação dos sólidos:

- Tipo de Ligação
- Arranjo Atômico

LIGAÇÕES QUÍMICAS

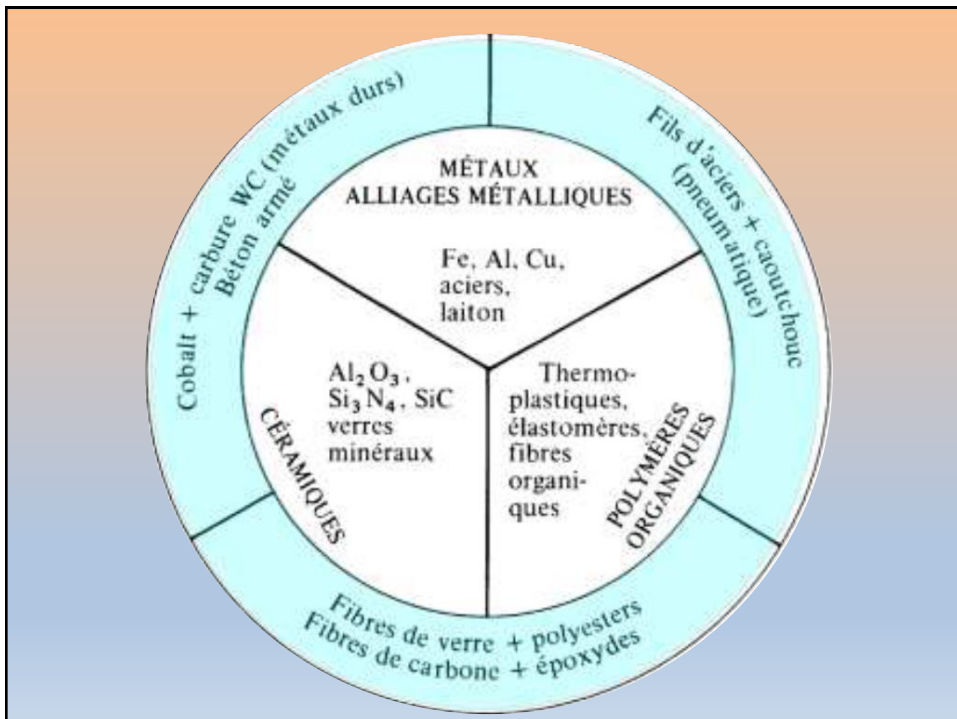


Os materiais e os tipos de ligação

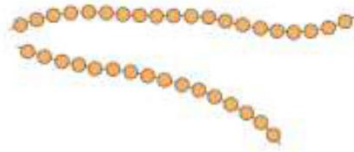
Materiais Cerâmicos: apresentam caráter iônico predominante. Entretanto, mesmo nestes casos, eles apresentam um certo grau de covalência. Outros materiais cerâmicos, tais como carbetos de silício, nitreto de silício e nitreto de boro, apresentam caráter covalente predominante.

Materiais Poliméricos: ligação covalente entre átomos e ligações secundárias entre cadeias.

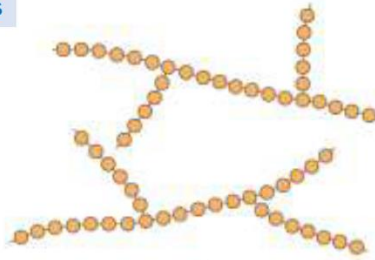
Materiais Metálicos: embora sempre apresentem caráter metálico predominante, exibem um certo caráter covalente. Quanto menor o número de elétrons de valência do átomo metálico, maior será a predominância da ligação metálica.



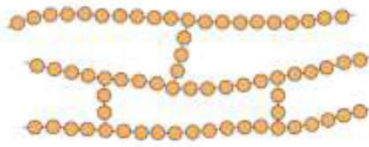
Estruturas Moleculares Poliméricas



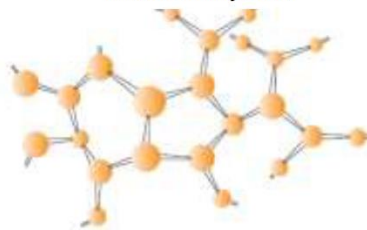
Cadeia Linear



Cadeia Ramificada



Cadeia Entrelaçada

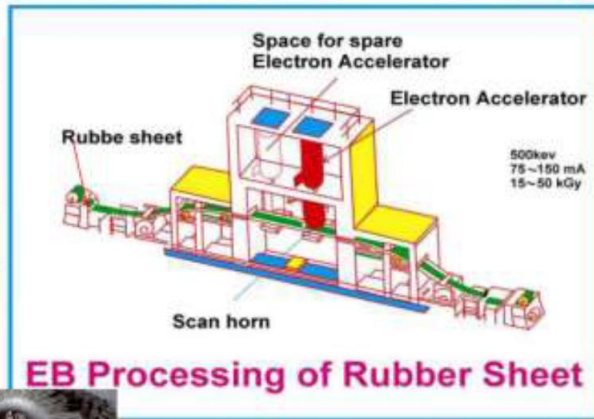


Cadeia em Rede

IRRADIATION OF TIRES COMPONENTES



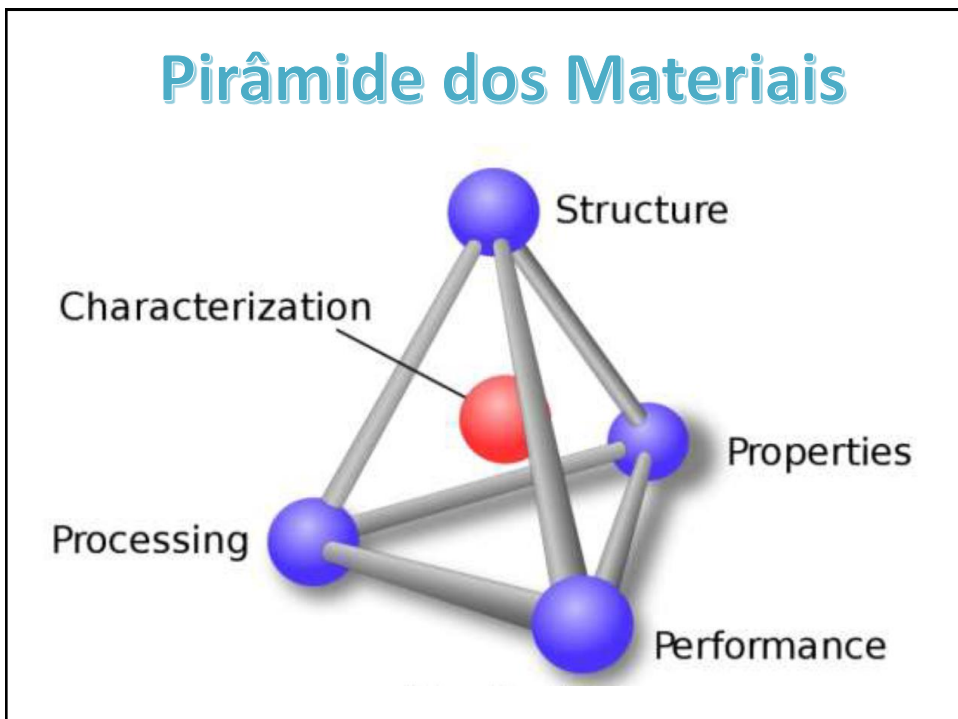
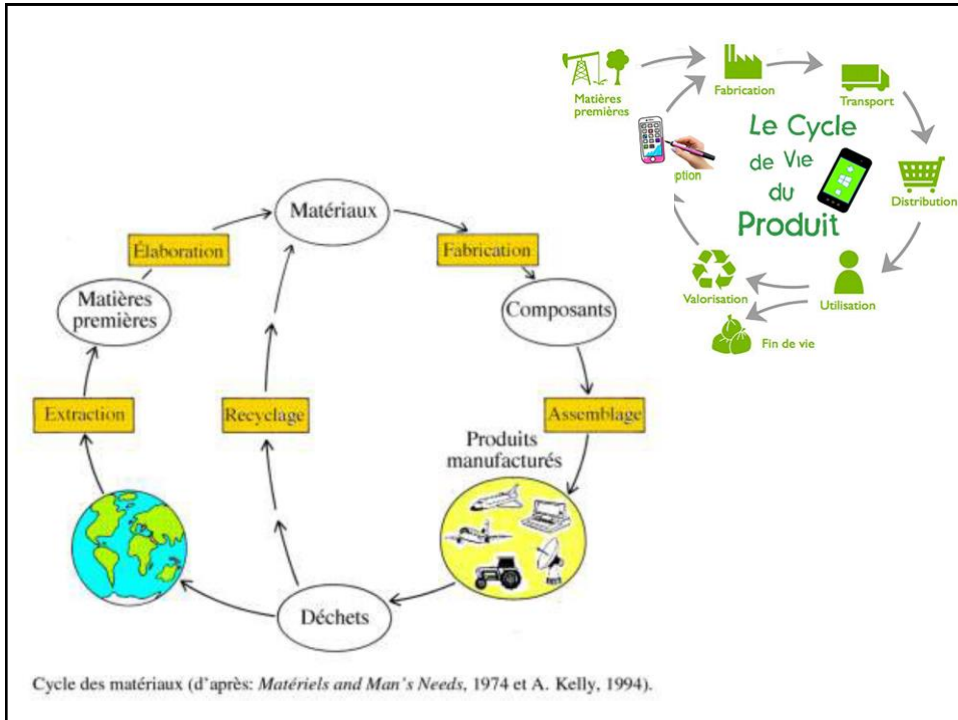
Japan: Automobiles tires = 95%



EB Processing of Rubber Sheet

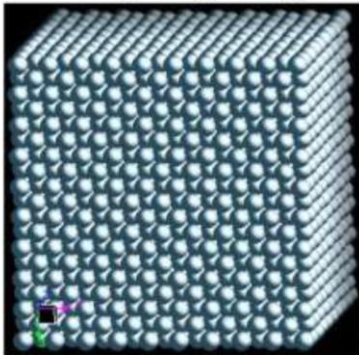


BRAZIL: Bridgestone Fireston



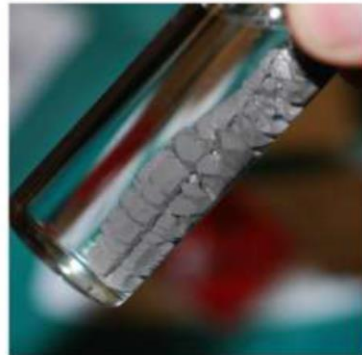
Estado Cristalino

- Periodic, long-range ordered structures

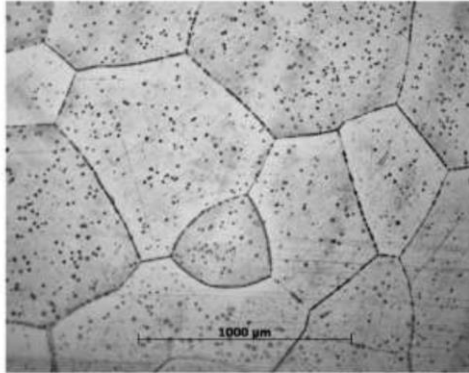


© John Wiley & Sons. All rights reserved. This content is excluded from our Creative Commons license. For more information, see <http://ocw.mit.edu/help/faq-fair-use/>.

Face centered cubic calcium
crystal structure

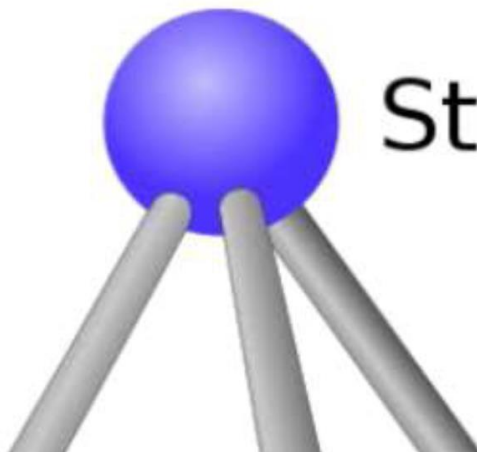


Single crystals of calcium metal
under kerosene



Fe-12Cr-2Si ferritic alloy grains, 50x, etched with Kalling's reagent

- Most metals are granular in nature
- **Grains** are single crystals
- **Grain boundaries** separate them



Structure