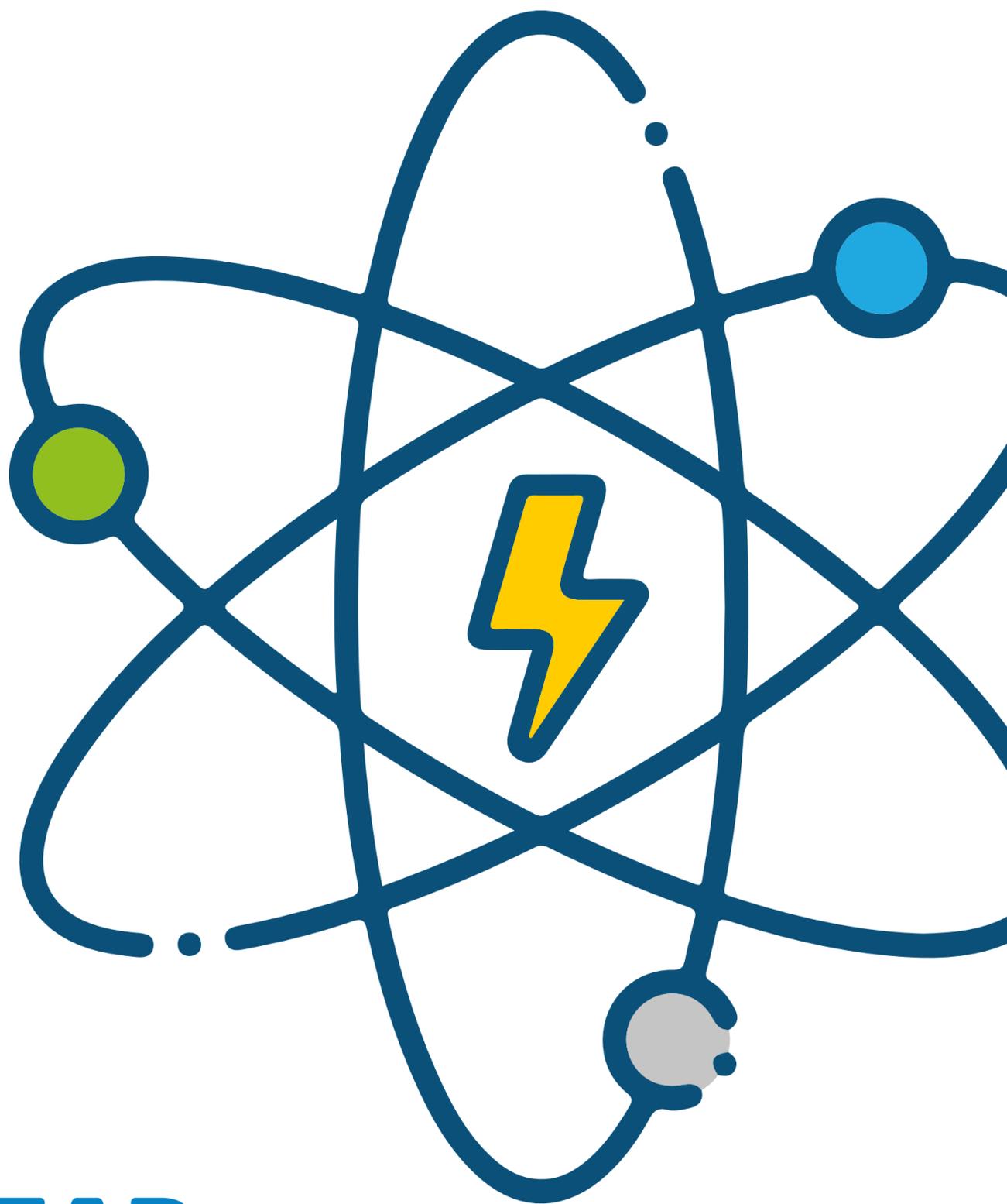




**ENERGIA EM EVIDÊNCIA:
DESVENDANDO A
GERAÇÃO NUCLEAR
COM A ELETRONUCLEAR**



A Eletronuclear apresenta o
Guia de Comunicação Eletronuclear,
uma publicação informativa sobre os
principais aspectos da geração de
eletricidade por fonte nuclear no
Brasil e no mundo.



Introdução

ENERGIA NUCLEAR E ELETRICIDADE

A COP29 resultou em um acordo histórico que reconhece a importância de acelerar a implantação de tecnologias de baixa emissão, incluindo a energia nuclear, para alcançar uma profunda descarbonização. Pela primeira vez, a energia nuclear foi oficialmente incluída em um acordo da Conferência das Partes da UNFCCC como parte da solução para as mudanças climáticas.

Além disso, mais de 20 países de quatro continentes lançaram a **Declaração para Triplicar a Capacidade de Energia Nuclear até 2050**. O termo reconhece o papel crucial da energia nuclear na conquista das emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050 e na manutenção do objetivo de limitar o aumento da temperatura a 1,5° Celsius.

COP29 E EMISSÕES DE CO₂

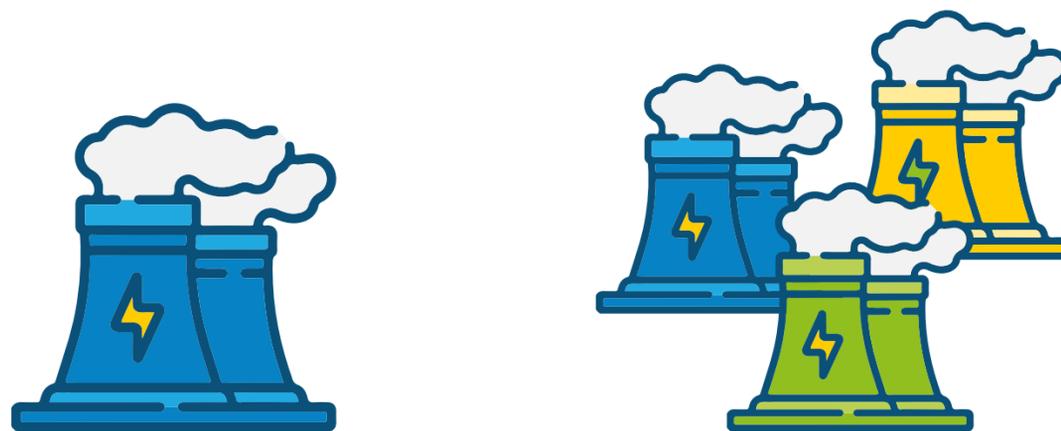


COP29
Baku
Azerbaijan

**Declaração
para Triplicar a
Capacidade de
Produção de
Energia
Nuclear**



28
países
signatários



370
gigawatts
em 2024



1.110
gigawatts
até 2050



mais
energia nuclear

=



menos
gás carbônico

=



menos
efeito estufa

**emissão de CO₂ por
fontes não-carbônicas
[g/kWh]**



fontes nucleares
produzem energia
limpa e constante

5 FATOS IMPORTANTES SOBRE ELETRICIDADE

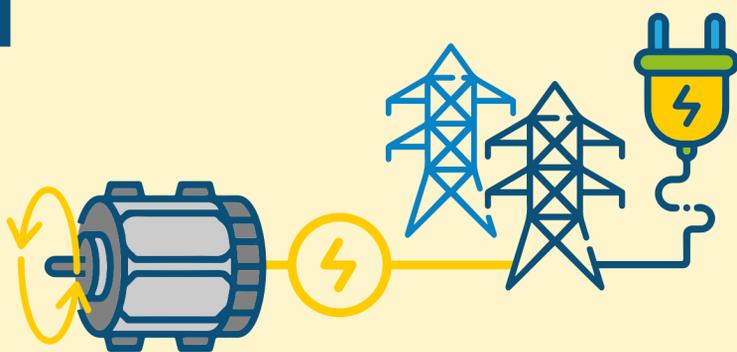
1



A eletricidade precisa ser consumida assim que é produzida.

A eletricidade é uma fonte de energia que **não pode ser armazenada em grande escala**, o que significa que precisa ser consumida imediatamente após ser produzida. Isso demanda um planejamento cuidadoso para garantir que a demanda de eletricidade seja atendida em tempo real.

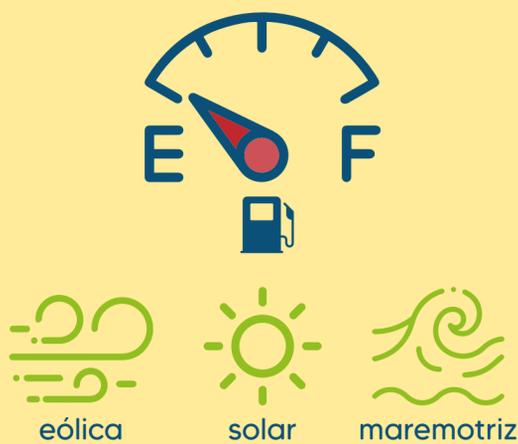
2



Produção constante é necessária para consumo constante.

Para garantir o fornecimento de eletricidade de forma contínua, é necessário ter **capacidade de produção disponível 24 horas por dia, 7 dias por semana**. Isso pode ser um desafio, uma vez que algumas fontes de energia têm limitações e não podem produzir energia o tempo todo.

3

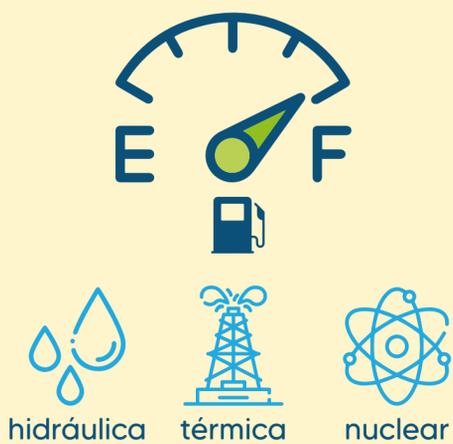


Produção constante requer reserva de combustível.

Fontes alternativas de energia são chamadas assim porque **não têm reservas de combustível para produzir energia continuamente**.

É importante entender que a capacidade instalada de uma fonte de energia não é necessariamente sinônimo de sua produção real de energia.

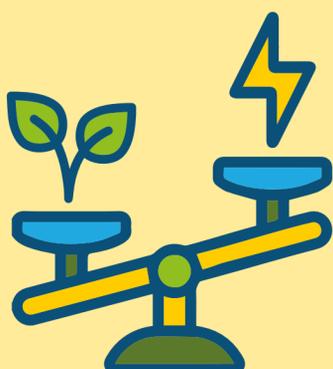
4



Fontes com reserva de combustível incluem hidráulica, térmica e nuclear.

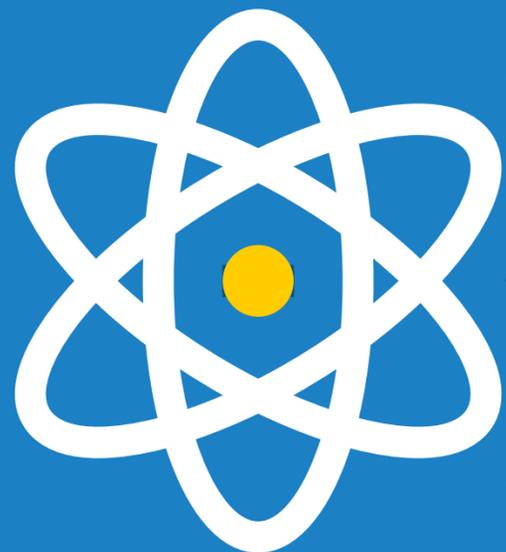
As fontes de energia que **têm capacidade de reserva de combustível** incluem usinas hidrelétricas, térmicas a carvão, gás natural e energia nuclear. É relevante destacar que a energia nuclear é a que emite menos CO₂ em comparação com outras fontes de energia.

5



Todas as fontes de energia têm impactos ambientais.

É importante reconhecer que **todas as fontes de energia têm algum tipo de impacto no meio ambiente**, seja na geração de rejeitos, emissões de gases de efeito estufa, uso de recursos naturais, entre outros. É fundamental considerar esses aspectos em discussões sobre as diferentes fontes de energia.



Capítulo 1

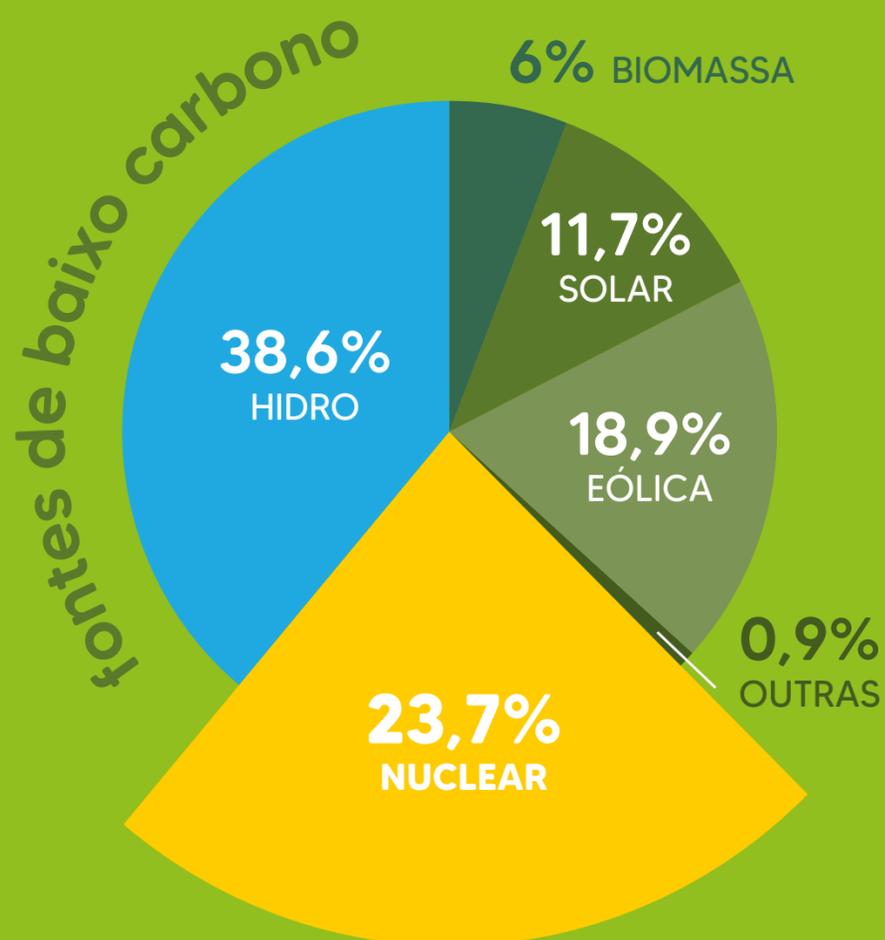
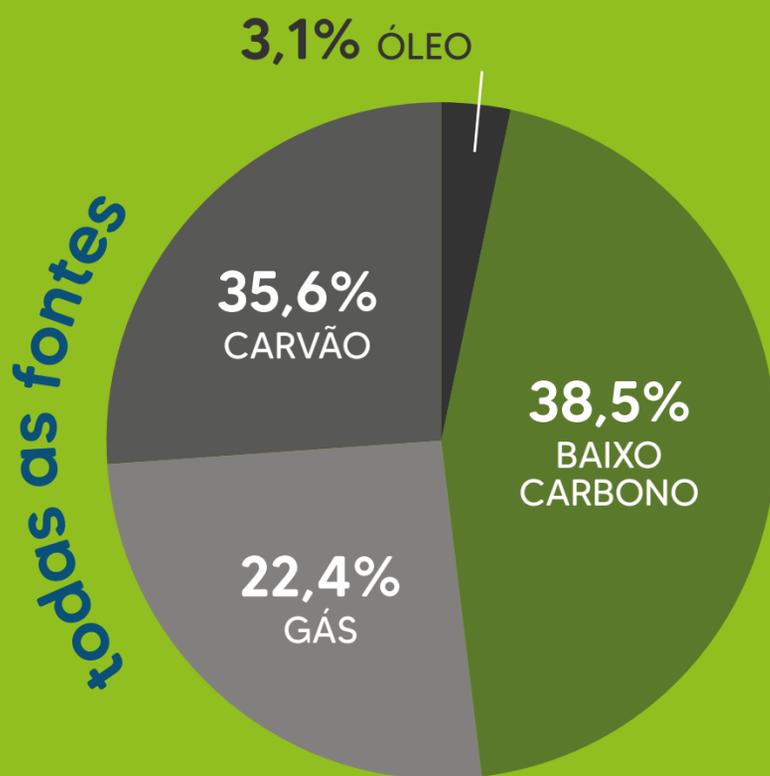
O CENÁRIO DA ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO

ENERGIA NUCLEAR: CARACTERÍSTICAS E FINALIDADES

A energia nuclear é uma fonte produzida especialmente por meio do uso do urânio. A produção dessa fonte energética se dá mediante o processo de **fissão nuclear**, que gera grandes quantidades de energia. A quebra dos átomos que acontece ao longo desse processo é justamente a origem da energia utilizada para a produção energética. Este tipo de energia possui como vantagens a baixa emissão de poluentes e a sua elevada produtividade, além de vantagens econômicas e ambientais importantes quando comparadas às fontes fósseis.

PRODUÇÃO MUNDIAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Fonte: Ember, 2023



fontes de baixo carbono são consideradas limpas

baixíssimo
efeito estufa

menos
impacto ambiental



fonte nuclear gera cerca de

1/4

energia limpa
produzida no mundo

*eólica, solar, geotérmica, maremotriz etc.

A energia nuclear é uma das formas de se obter energia elétrica em larga escala. Diante da crescente necessidade de descarbonização da matriz energética mundial, a energia nuclear surge como uma solução para garantir a sustentabilidade ambiental, melhorar a qualidade de vida da população e fomentar o desenvolvimento econômico. Na COP29, foi ratificado o objetivo de triplicar a matriz nuclear no mundo até 2050, reforçando seu papel essencial na transição energética.

Aproximadamente 40% dos reatores no mundo estão na Europa, somando 167 usinas em operação e uma capacidade de geração líquida de 147.764 MW.

GERAÇÃO DE ENERGIA ATÔMICA



CENÁRIO NUCLEAR NO MUNDO

Em todo o mundo, há 417 reatores nucleares em operação, com capacidade de gerar 375.320 megawatts/hora (MW), segundo dados do Sistema de Informação de Potência de Reatores (Pris, na sigla em inglês), da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), divulgados em 2023.



417

reatores

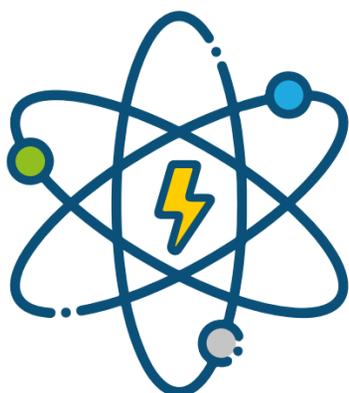
em atividade no mundo



375.320

megawatts/hora

de capacidade produtiva



9,1%

eletricidade

produzida no mundo
vem de fonte nuclear

[cerca de 1/4 do total]



+60 mil

megawatts

de capacidade
em construção



MAIORES PRODUTORES DE ENERGIA ATÔMICA

1º
Estados Unidos



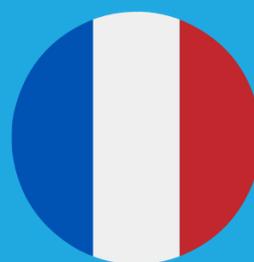
94

reatores

97 mil

megawatts

2º
França



56

reatores

61 mil

megawatts

3º
China



56

reatores

54 mil

megawatts

4º
Rússia



37

reatores

27 mil

megawatts

5º
Coreia do Sul



25

reatores

24 mil

megawatts

O reator de água leve pressurizada (PWR) é o mais utilizado no planeta, com 304 unidades; seguido do reator de água leve fervente (BWR), com 41; e do reator de água pesada pressurizada (PHWR), com 46.

TIPOS DE REATORES MAIS UTILIZADOS

304
reatores



PWR
água leve
pressurizada

41
reatores



BWR
água leve
fervente

46
reatores



PHWR
água pesada
pressurizada

*óxido de deutério (água deuterada) é usado como refrigerante e moderador de neutrons.

Na América Latina, três países produzem energia por fonte nuclear: Brasil, México e Argentina. O Brasil, com suas duas usinas, conta com a maior capacidade de geração na região (1.990 MW). Já a Argentina é o país que tem o maior número de reatores em operação da região, mas é o segundo em capacidade instalada (1.641 MW). O país está construindo sua quarta usina nuclear e o Brasil, sua terceira, Angra 3. O México também tem duas usinas nucleares, que somam 1.552 MW de capacidade instalada.

AMÉRICA LATINA



México

2
usinas

1.552
megawatts



Argentina

3
usinas

1.641
megawatts



Brasil

2
usinas

+1
construção

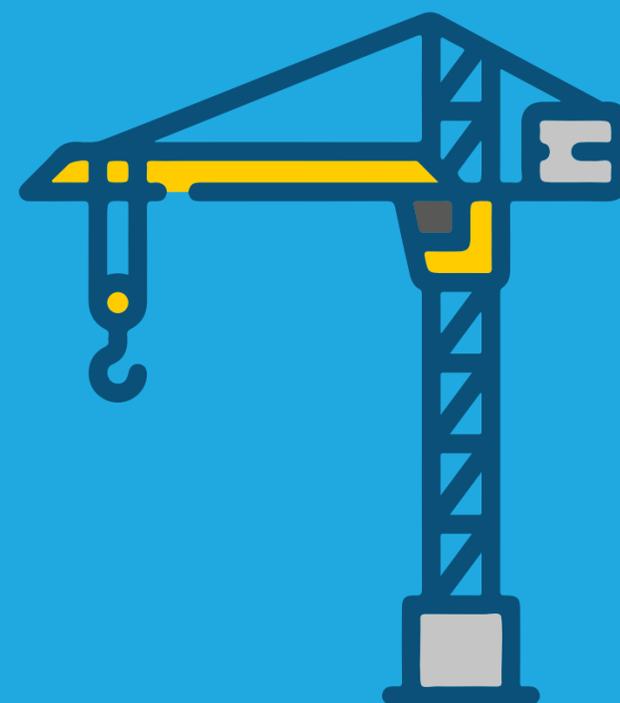
1.990
megawatts

Angra 1 e Angra 2
(PWR)

Angra 3
(PWR)

3.395
megawatts

NOVOS REATORES EM CONSTRUÇÃO



63

reatores

66.100

megawatts

15

países



China

+29

reatores



Índia

+7

reatores



Turquia

+4

reatores

Europa

+14

reatores

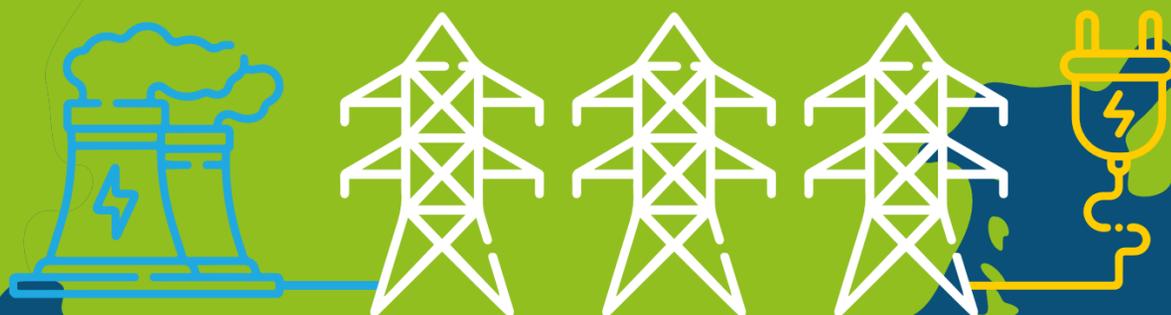
Américas

+2

reatores

NOVOS REATORES LIGADOS À REDE EM 2022

6
reatores
ligados



China

2
reatores

2.061
megawatts



Finlândia

1
reator

1.600
megawatts



Emirados
Árabes

1
reator

1.345
megawatts



Coreia
do Sul

1
reator

1.340
megawatts



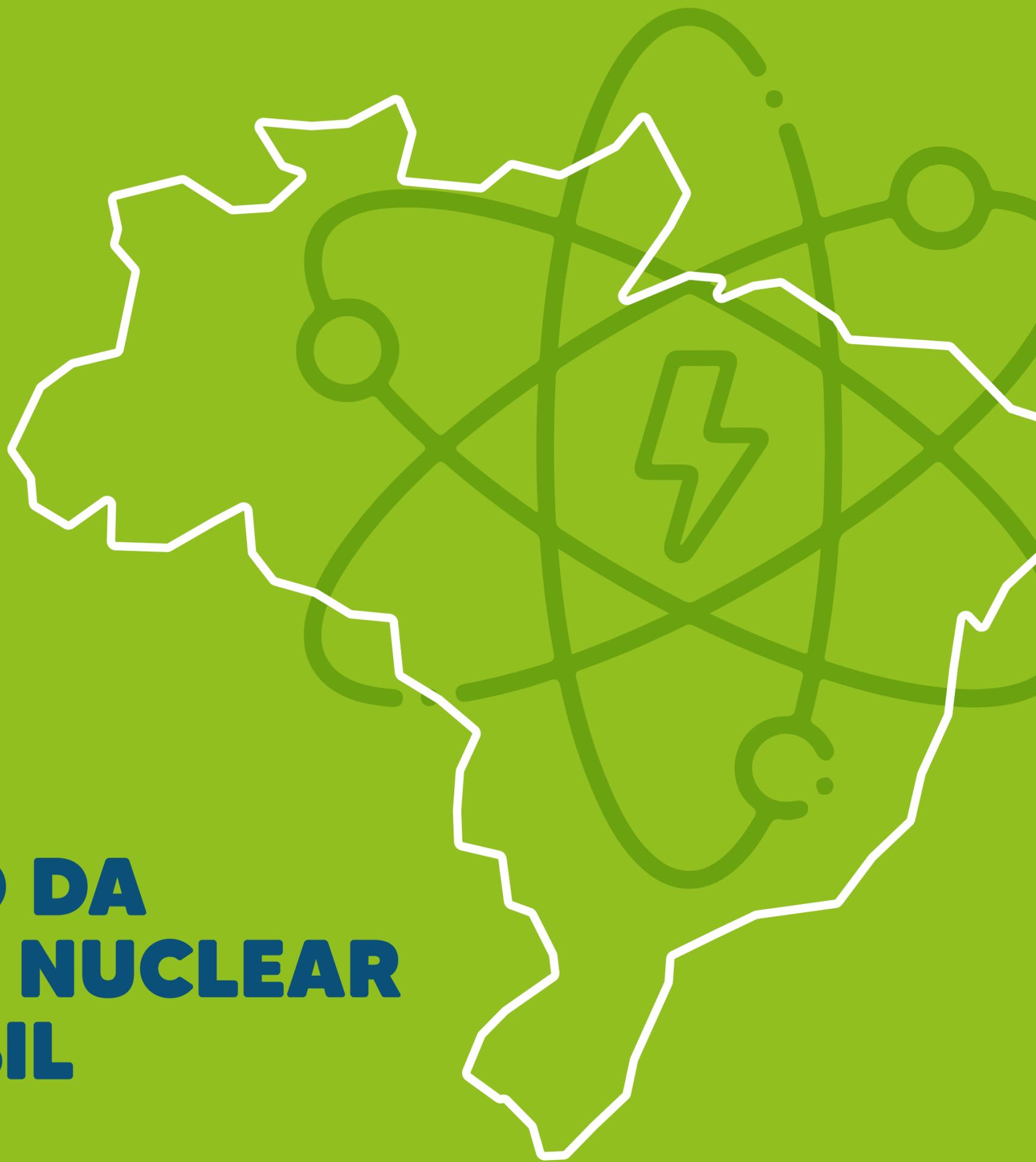
Paquistão

1
reator

1.014
megawatts

Capítulo 2

CENÁRIO DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL



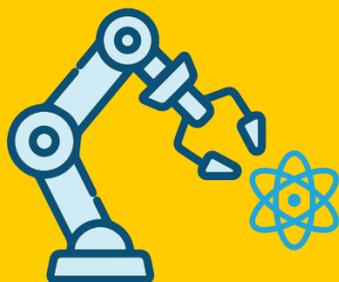
O Brasil faz parte de um seleto grupo de apenas 3 países (juntamente com Estados Unidos e Rússia) que possuem **reservas de minério, tecnologia de beneficiamento e usinas nucleares para produzir energia.** Isso é uma vantagem estratégica importante no cenário mundial.

VANTAGEM ESTRATÉGICA E SOBERANIA



**reservas
de minério**

+



**tecnologia de
beneficiamento**

+



**usinas
nucleares**

RESERVAS DE URÂNIO NO MUNDO



5 milhões
toneladas



120 anos
suprimento para
usinas atuais +
expansão até 2035



RESERVAS DE URÂNIO NO BRASIL



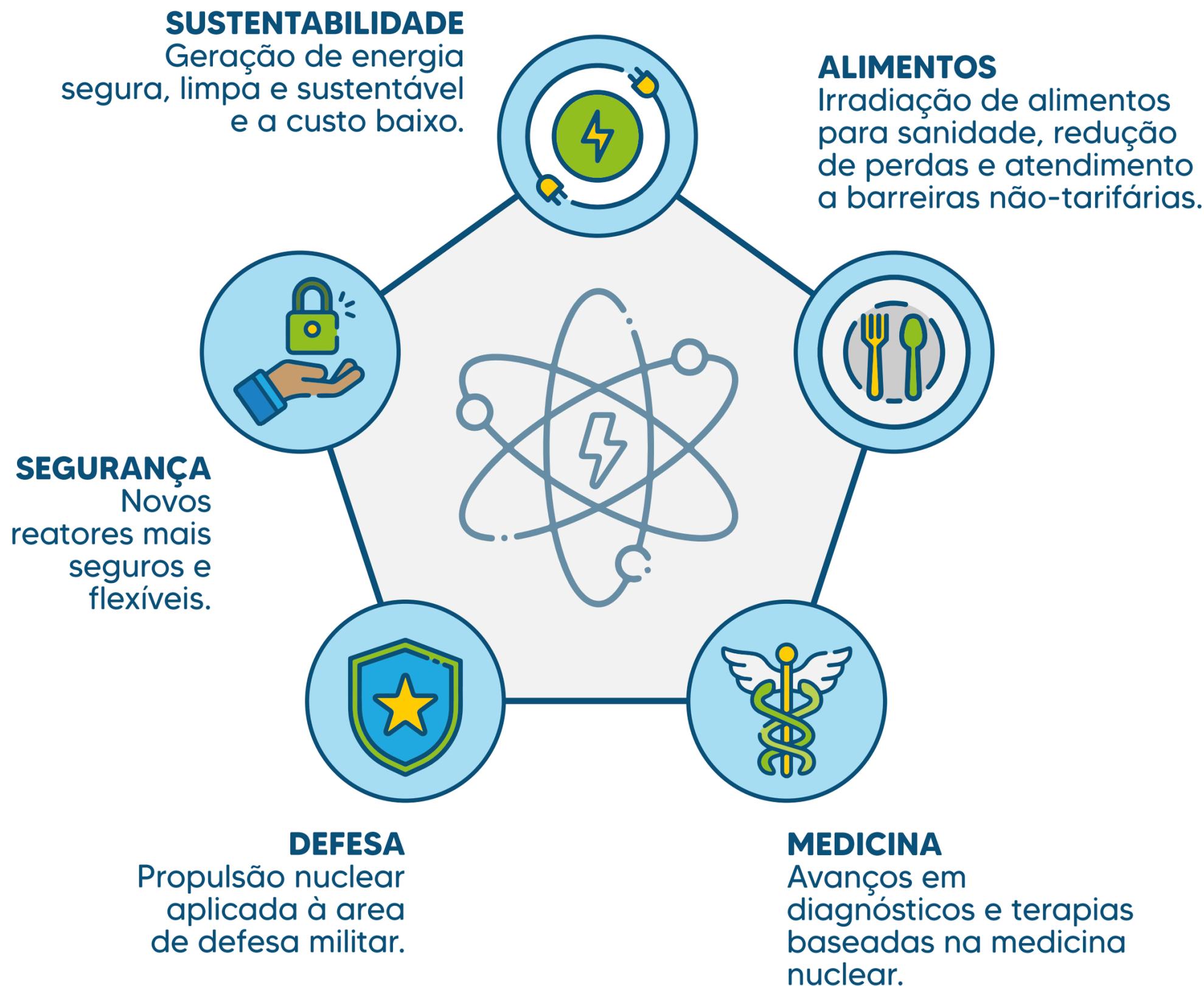
Brasil tem uma das maiores reservas mundiais de urânio contido (U_3O_8)



232.813
toneladas

No Brasil, a energia nuclear impacta positivamente diferentes setores da sociedade. Na medicina, os **radiofármacos** representam um faturamento de R\$535 milhões, com 3,8 milhões de procedimentos e 8,3 mil pessoas empregadas diretamente, segundo estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV). A aplicação se dá em **diagnósticos, exames e tratamentos** de diferentes doenças. Outro uso relevante e inovador é o da radiação ionizante para **eliminar microrganismos nocivos** à saúde e **prolongar a vida útil** dos materiais. No Brasil, esse tipo de técnica já é utilizada em algumas indústrias, como a de equipamentos médicos e de cabos de motores de veículos. Nos alimentos, além de **retardar o amadurecimento**, prolongando o prazo de validade, em alguns casos, **substitui o uso de agrotóxicos.**

IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DA TECNOLOGIA NUCLEAR



No país, existem atualmente duas usinas em operação, as usinas de **Angra 1** e **Angra 2**, localizadas na cidade de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro.

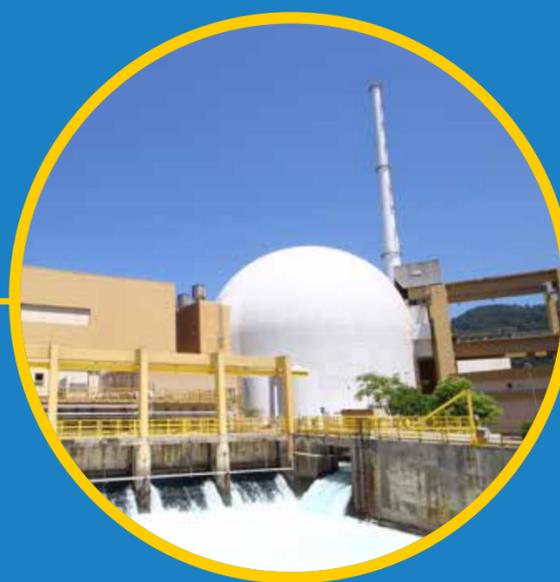
Operadas pela Eletronuclear, empresa criada em 1997 com a finalidade de operar e construir usinas termonucleares no Brasil, ela é uma empresa subsidiária da **Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar)**, sendo assim uma empresa de economia mista que responde pela geração de aproximadamente 3% da energia elétrica consumida no Brasil.

Pelo **Sistema Interligado Nacional - SIN**, essa energia chega aos principais centros consumidores do país e corresponde, por exemplo, a todo o consumo de iluminação pública do país, proporção que se ampliará consideravelmente quando **Angra 3**, terceira usina da **Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA**, estiver concluída.

A ELETRONUCLEAR

Angra dos Reis

RJ



Angra 1 + Angra 2

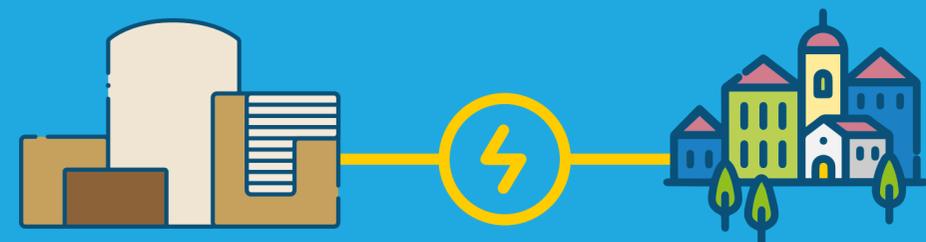


38%
eletricidade
consumida no RJ



100%
iluminação pública
no Brasil

ANGRA 1



640
megawatts

2 mi
habitantes

equivalente à
população de
Belo Horizonte

2 novos
geradores a vapor
foram instalados
em Angra 1



produção recorde

2012
5.134.910 MWh
2019
5.239.680 MWh

1985

**Angra 1 entra
em funcionamento**

A primeira usina nuclear brasileira entrou em operação comercial em 1985 e opera com um reator de água pressurizada (PWR), o mais utilizado no mundo. Com 640 megawatts de potência, Angra 1 gera energia suficiente para suprir uma cidade de 2 milhões de habitantes, como Belo Horizonte.

Nos primeiros anos de sua operação, Angra 1 enfrentou problemas com alguns equipamentos que prejudicaram o

anos 1990

**melhorias tecnológicas
elevam o padrão das
operações**

funcionamento da usina. Essas questões foram sanadas em meados da década de 1990, fazendo com que a unidade passasse a operar com padrões de desempenho compatíveis com a prática internacional.

Em 2010, a usina bateu seu recorde de produção, fato que se repetiu em 2011. Esta primeira usina nuclear foi adquirida da empresa americana Westinghouse sob a forma de "turn key", como um pacote

2009

**troca dos
geradores
a vapor**

fechado, que não previa transferência de tecnologia por parte dos fornecedores.

No entanto, a experiência acumulada pela Eletrobras Eletronuclear, hoje Eletronuclear, em todos esses anos de operação comercial, com indicadores de eficiência que superam o de muitas usinas similares, permite que a empresa tenha, hoje, a capacidade de realizar um programa contínuo de melhoria tecnológica e incorporar os mais recentes avanços da

2010

**troca da tampa
do vaso do reator**

2019

**recorde de
produção**

indústria nuclear. Um exemplo disso foi a troca dos geradores de vapor – dois dos principais equipamentos da usina – realizada em 2009.

A substituição permitiu que o programa de extensão de vida útil de Angra 1 avançasse. Agora a usina irá operar até o final de 2044.

2024

**extensão
da vida útil
da usina**

ANGRA 2



1.350
megawatts



4 mi
habitantes

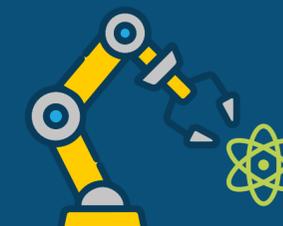
equivalente à
população de
Porto Alegre e
Brasília, somadas

Angra 2 possibilita

reservatórios de
hidrelétricas fazem
**economia
de água**



transferência tecnológica
expande
produção nacional de
combustível nuclear



1981

**início da
construção**

A segunda usina nuclear brasileira começou a operar comercialmente em 2001. Com potência de 1.350 megawatts, Angra 2 é capaz de atender ao consumo de uma cidade de 4 milhões de habitantes, como Porto Alegre e Brasília somadas.

A usina conta com um reator de água pressurizada (PWR) de tecnologia alemã da Siemens/KWU (hoje, Areva NP), fruto de acordo nuclear entre Brasil e Alemanha, assinado em 1975. Angra 2 começou a ser construída em 1981, mas teve o ritmo das obras desacelerado a partir de 1983,

1994

**retomada
das obras**

devido à crise econômica que assolava o país naquele momento, parando de vez em 1986. A unidade foi retomada no final de 1994 e concluída em 2000.

A performance da usina tem sido exemplar desde o início. No final de 2000 e no início de 2001, sua entrada em operação permitiu economizar água dos reservatórios das hidrelétricas brasileiras, amenizando as consequências do racionamento de energia, especialmente na região Sudeste, maior centro de consumo do país.

2001

**Angra 2 entra
em funcionamento**

2022

**destaque
internacional**

Contando do penúltimo trimestre de 2022 ao penúltimo trimestre de 2023, Angra 2 ocupou a 176ª posição entre as 422 unidades em operação no mundo filiadas à Associação Mundial de Operadores Nucleares (WANO), segundo análise dos indicadores de desempenho do fator de disponibilidade. Entre os 155 membros filiados a WANO - Paris Centre, do qual fazemos parte, Angra 2 ocupou a 50ª posição.

A construção de Angra 2 propiciou transferência de tecnologia para o Brasil, o que levou o país a um desenvolvimento

2024

**recorde de
produção**

**estudos para a produção
de radiofármacos**

tecnológico próprio, do qual resultou o domínio sobre praticamente todas as etapas de fabricação do combustível nuclear. Desse modo, a Eletronuclear e a indústria nuclear nacional reúnem, hoje, profissionais qualificados e sintonizados com o estado da arte do setor.

Angra 2 registrou, em julho de 2024, recorde de produção de energia, com mais de 1 milhão MWh. Em novembro a empresa assinou acordo para viabilizar a contribuição de Angra 2 no tratamento contra o câncer.

Angra 3 será a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA, localizada na Praia de Itaorna, em Angra dos Reis (RJ).

Quando entrar em operação comercial, a nova unidade com potência de

1.405 megawatts, será capaz de gerar mais de **10 milhões de megawatts/hora**

por ano, energia suficiente para abastecer as cidades de Brasília e Belo Horizonte durante o mesmo período.

Com Angra 3, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a **70% do consumo**

do estado do Rio de Janeiro.

Angra 3 é irmã gêmea de Angra 2.

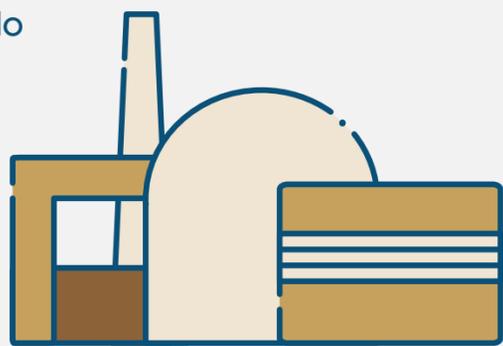
Ambas contam com tecnologia alemã Siemens/KWU (hoje, Framatome).

As etapas de construção da unidade incluem as obras civis, a montagem eletromecânica, o comissionamento de equipamentos e sistemas e os testes operacionais.

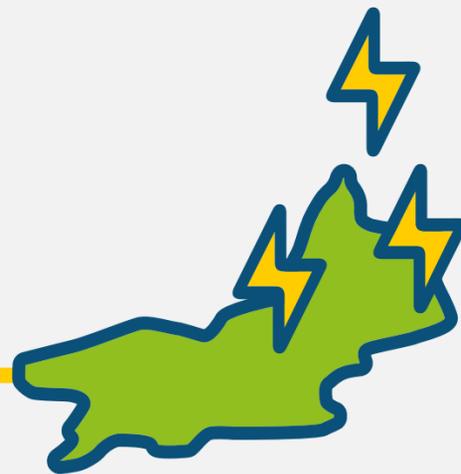
ANGRA 3



50 das 59 usinas em construção no mundo são do mesmo tipo de Angra 3



1.405
megawatts



10 milhões
megawatts/hora
gerados por ano

70%
eletricidade
consumida no RJ

CUSTOS DA CONCLUSÃO DE ANGRA 3

Em 2024, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) entregou à Eletronuclear os estudos de viabilidade técnica, econômica e jurídica do projeto de Angra 3, desenvolvido de maneira independente, imparcial e aprofundado pela instituição.

Estima-se que o custo para abandonar as obras de Angra 3 pode passar de R\$21 bilhões. O montante seria praticamente o mesmo de se concluir o empreendimento, entretanto sem gerar energia elétrica.

A expectativa é que a usina entre em operação comercial em 2031.

Fonte: BNDES

custos de desistência

- R\$ 9,2 bi financiamentos
- R\$ 2,5 bi rescisão de contratos
- R\$ 1,1 bi devolução de incentivos
- R\$ 940 mi desmobilização de obras
- R\$ 7,3 bi capital investido



X

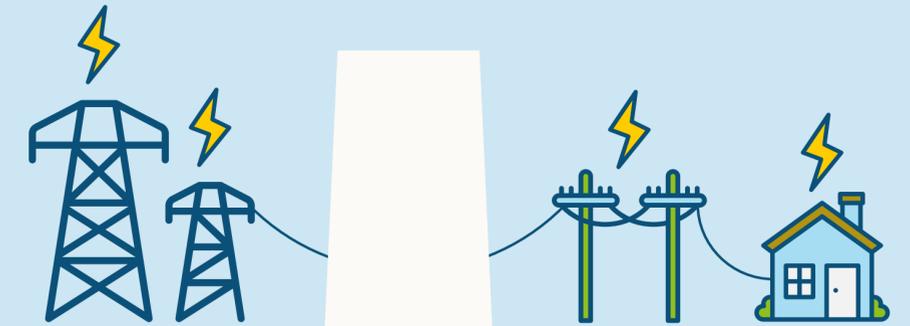
R\$ 21 bilhões



R\$ 23 bilhões



finalizar a construção



a conclusão de Angra 3 será paga com a renda gerada pela própria usina e a Eletronuclear levará mais energia limpa para o consumidor



As usinas nucleares brasileiras foram licenciadas para operar por 40 anos, seguindo o padrão mundial.

Angra 1 tem fornecido energia elétrica confiável para a rede brasileira desde que entrou em operação em 1985.

A partir do **Programa de Extensão de Vida Útil de Angra 1**, a Eletronuclear obteve a extensão da licença de operação para que opere com segurança até 2044. Com as melhorias, será possível manter 640 MW de capacidade à rede elétrica a partir de 2025, a um custo competitivo.

A Eletronuclear também está implementando um **programa de gerenciamento de envelhecimento** em Angra 2, para garantir sua operação segura e confiável no futuro.

EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL DAS USINAS NUCLEARES



Angra 1

programa de gerenciamento de envelhecimento

estudo → análise → implementação



a Eletronuclear conta com o suporte técnico da **Westinghouse** para implementar os programas de gerenciamento de envelhecimento de Angra 1 e Angra 2.



Capítulo 3

GARANTINDO A SEGURANÇA NUCLEAR: PLANOS E PRÁTICAS DE EMERGÊNCIA

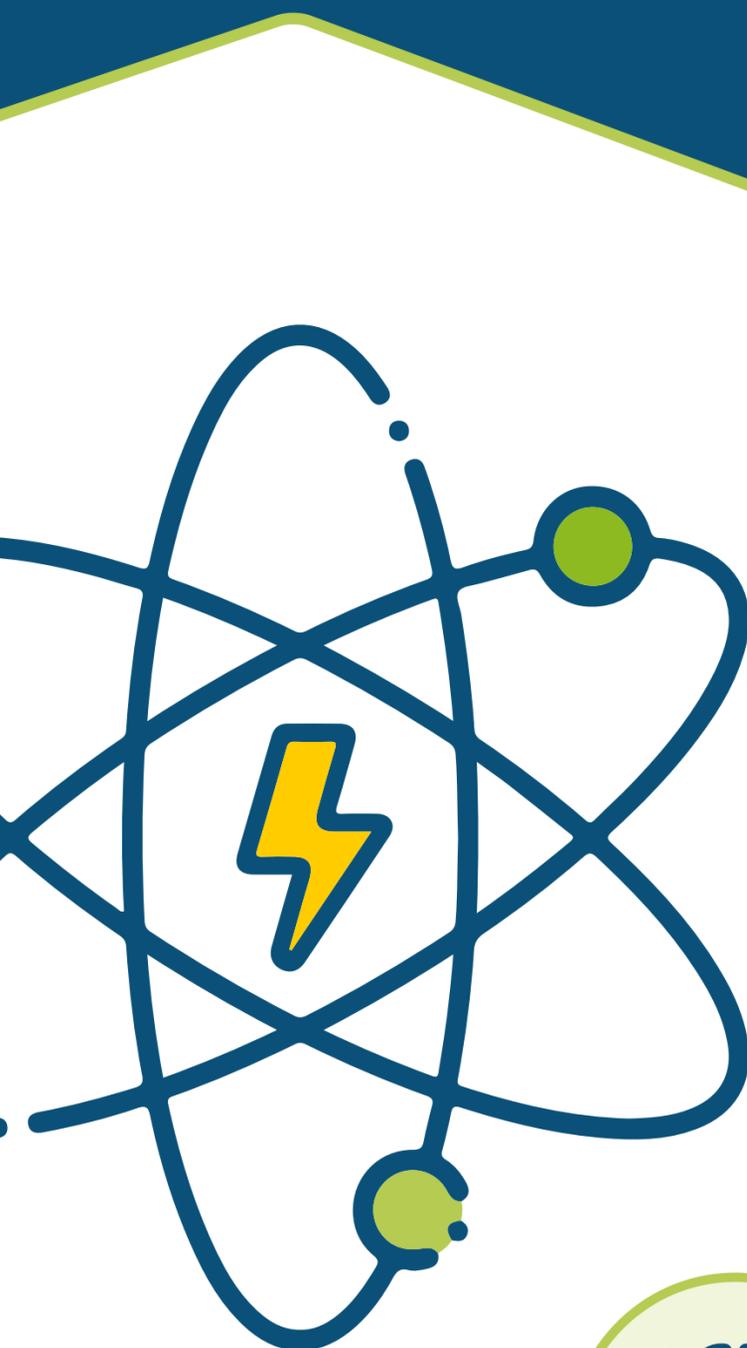
CULTURA DE SEGURANÇA

A segurança é um conceito fundamental que permeia todos os níveis da empresa e todos os funcionários estão individualmente comprometidos. O **programa de cultura de segurança** desenvolvido pela Eletronuclear contou com a consultoria da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) – braço da ONU para o setor – e tornou-se uma referência em todo o mundo. Em 30 anos de operação das usinas de Angra, nunca houve um acidente ou evento que pusesse em risco os trabalhadores das usinas, a população ou o meio ambiente da região.

SEGURANÇA NUCLEAR

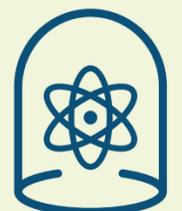
As usinas nucleares contam com **sistemas de segurança automáticos** que entram em ação para impedir acidentes. Além disso, contam ainda com duas **barreiras protetoras** que protegem fisicamente o reator: uma externa, de concreto, e outra interna, de aço. Essas paredes de contenção protegem as usinas contra fatores externos, como terremotos, maremotos, explosões, e também o aumento de pressão no interior da usina.

TIPOS DE DEFESA NUCLEAR



DE PROJETO

De projeto Elaborado antes da escolha do local da usina e analisa todos os possíveis riscos inerentes ao empreendimento, até mesmo os mais improváveis, como terremotos ou a queda de um avião sobre as instalações nucleares.



FÍSICAS

Inclui todas as proteções utilizadas para conter ou minimizar os níveis de radiação inerentes ao funcionamento do reator nuclear. Abrange a própria estrutura molecular da pastilha de combustível até as grossas paredes de aço e concreto que cercam todo o circuito primário da usina.



DE PROCESSO

Garantem a segurança do trabalho humano e sua interação com a máquina, estabelecendo rotinas de trabalho e procedimentos administrativos e operacionais.

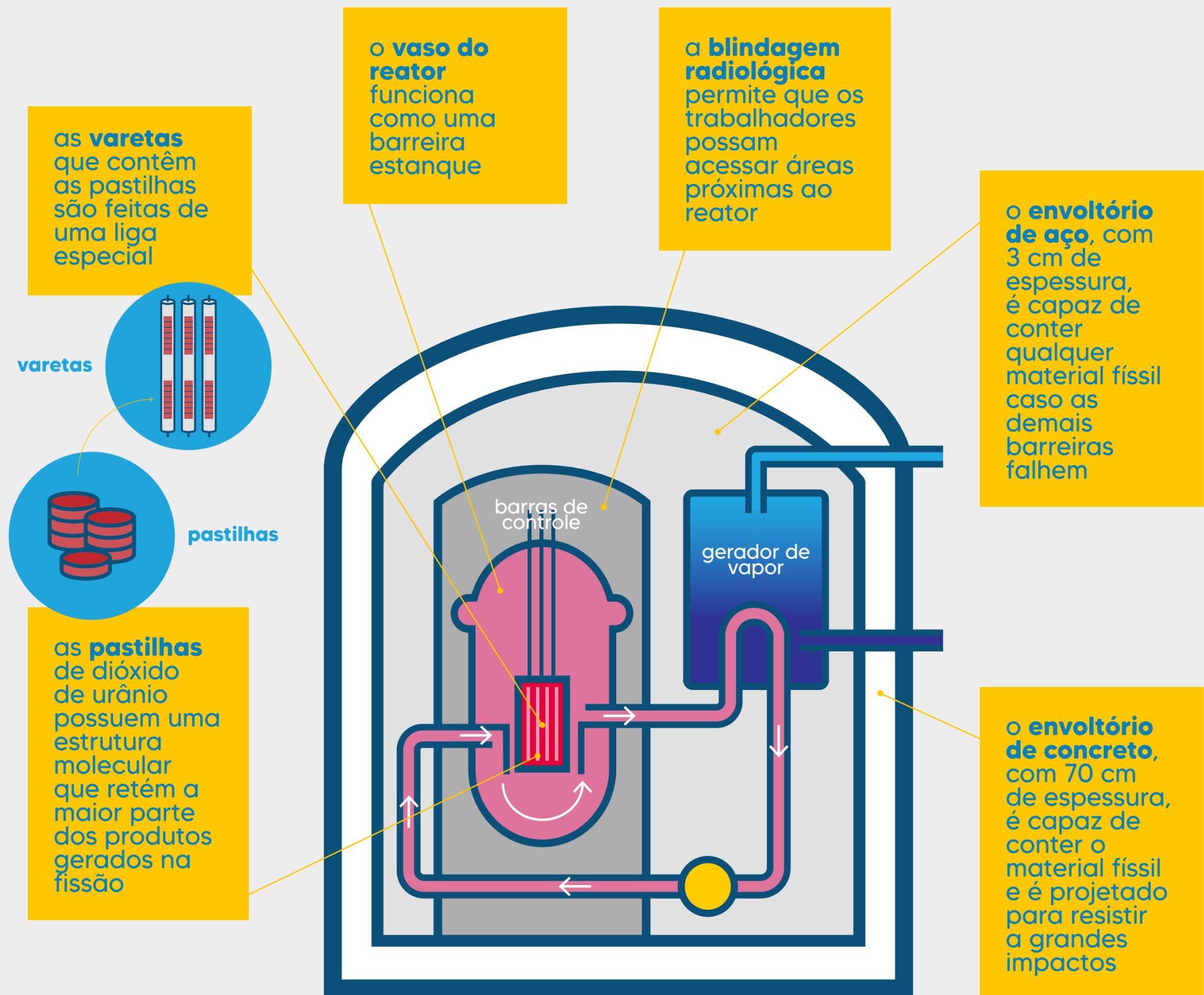


ORGANIZACIONAIS

Incluem leis específicas de âmbito nacional e internacional, a existência de um órgão regulador - no caso brasileiro, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) - e de acordos com organismos nacionais e internacionais. A Eletronuclear preconiza que a segurança nuclear é mais importante do que a produtividade ou a economia da empresa.

Se um acidente ocorrer, a defesa em profundidade deve limitar as possíveis consequências e a evolução para uma condição mais grave. Tudo começa com a **prevenção contínua de falhas** de equipamentos ou humanas, seguida de **identificação e controle**, e posteriormente o **acionamento dos sistemas de segurança e procedimentos** adequados. Caso o evento ultrapasse as condições previstas nas bases do projeto, ações complementares serão necessárias para controlar a situação, limitar o progresso e mitigar as consequências.

DEFESA EM PROFUNDIDADE

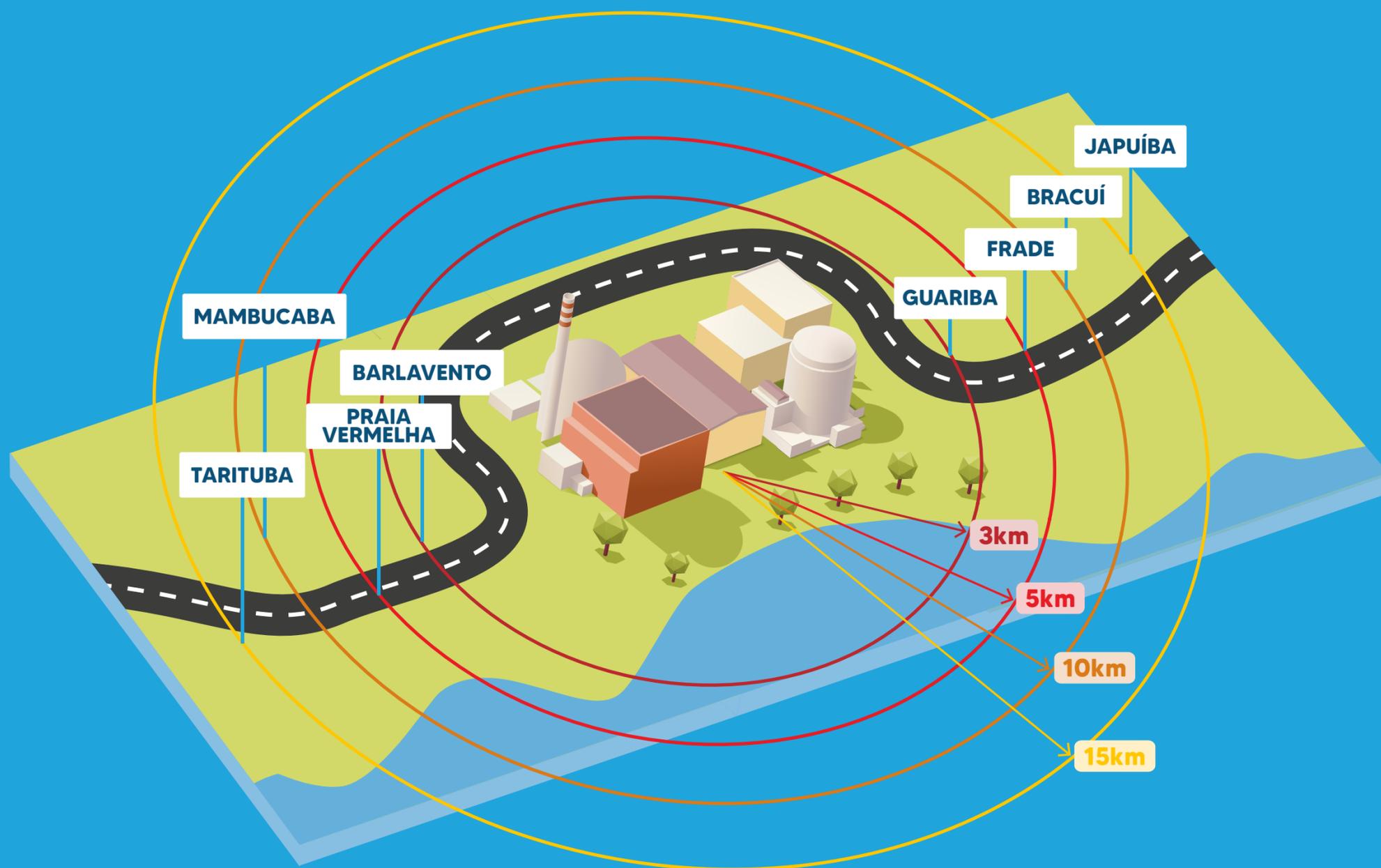


PLANOS DE EMERGÊNCIA

PEE/RJ

Plano de Emergência Externo

Desenvolvido por especialistas de diversas organizações nos âmbitos federal, estadual e municipal, o PEE/RJ é uma medida de segurança de tem caráter preventivo, com ações implementadas antes que ocorra qualquer comprometimento à saúde e à segurança da população.



Outras instituições também possuem planos de emergência próprios que fazem parte do **PEE/RJ**.

PEL
Plano de
Emergência
Local
Eletronuclear

PSE
Plano para
Situações de
Emergência
CNEN

PEM
Plano de Emergência
Municipal
Prefeitura Municipal
de Angra dos Reis

PEC
Planos de Emergência
Complementares
Forças Armadas,
INEA, IBAMA e outros

○ **Exercício Geral Integrado de Resposta à Emergência e Segurança Física Nuclear** que ocorre a cada 2 anos (nos anos ímpares), reúne representantes das Forças Armadas, Eletronuclear, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), das defesas civis do Estado do Rio de Janeiro e dos municípios de Angra dos Reis e Paraty, e outros órgãos. A ação tem como objetivo avaliar a eficácia da estrutura de resposta, validar planos, identificar aspectos a melhorar e consolidar os procedimentos previstos no **Plano de Emergência Externo do Estado do Rio de Janeiro** (PEE/RJ) para a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), voltados para a proteção da população, do meio ambiente, das usinas nucleares e dos seus trabalhadores.

EXERCÍCIOS E SIMULAÇÕES



**avaliar
eficácia**



**identificar
melhorias**



**validar
planos**



**consolidar
procedimentos**



alguns
números
do último
Exercício
Geral
Integrado,
realizado
em agosto
de 2023

60+
**instituições
participantes**

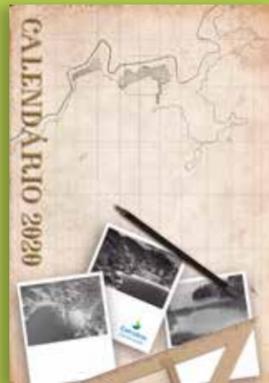
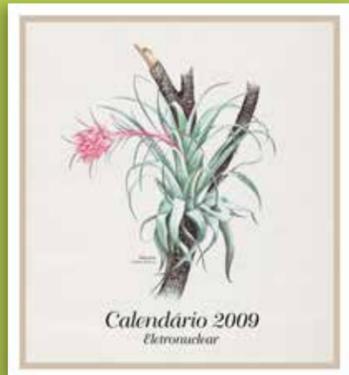
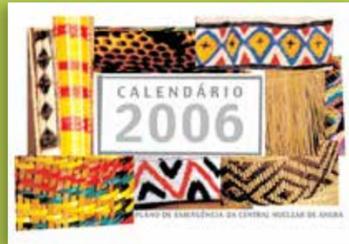
1.300+
militares
da Marinha,
Exército e Força Aérea

560
atendimentos
nos hospitais
de campanha

Todos os anos a Eletronuclear entrega em Angra dos Reis, na Costa Verde fluminense, calendários que buscam disseminar informações corretas sobre os Planos de Emergência Local e Estadual àqueles que moram nas proximidades das usinas nucleares. O material contém, além das indicações de datas e festividades de cada ano, instruções de segurança durante uma emergência nuclear. Entre elas estão **procedimentos de evacuação, indicações de abrigos, acionamento de sirenes e telefones úteis.**

DIVULGAÇÃO

os calendários da Eletronuclear com as instruções do PEL são distribuídos gratuitamente para os moradores da região desde 1999



cada área de atuação do Plano de Emergência tem uma série de instruções específicas para a população

Capítulo 4

DESMISTIFICANDO REJEITOS RADIOATIVOS



Os rejeitos radioativos são classificados de acordo com o nível de radioatividade que apresentam. Essa classificação é importante para determinar as medidas de segurança e os métodos de armazenamento adequados. Além disso, esses rejeitos são diferenciados como rejeitos de longa ou de baixa duração, o que depende da meia-vida dos átomos radioativos presentes neles.

A meia-vida é o período necessário para que a atividade radioativa de um conjunto de átomos radioativos seja reduzida pela metade. Este critério é crucial para estabelecer o tempo de armazenamento seguro dos rejeitos e possíveis estratégias de descarte.

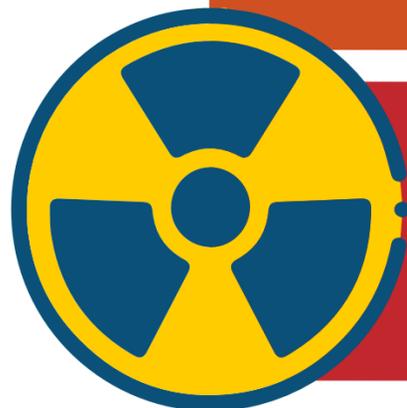
CLASSIFICAÇÃO DE REJEITOS RÁDIOATIVOS

POR NÍVEL DE RADIOATIVIDADE



contador Geiger-Müller, usado para detectar radiação

trifólio: símbolo internacional de risco de radiação



baixo

low level waste (LLW)

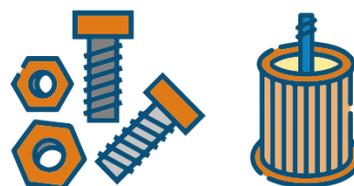
materiais ligeiramente contaminados: papéis, plásticos, vestimentas e ferramentas



médio

intermediate level waste (ILW)

materiais que sofreram contaminação direta: filtros, resinas, concentrado do evaporador e outras peças do reator



alto

high level waste (HLW)

material com atividade de vida longa e geração de calor significativa: combustível irradiado das usinas



pastilhas de urânio enriquecido



armazenado em piscinas de resfriamento (mínimo 10 anos)

O nível de radiação nos depósitos da Eletronuclear é mantido **dentro dos limites estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais**, o que garante a proteção dos trabalhadores, da população e do meio ambiente.

Além disso, são feitas medições constantes na área em torno dos depósitos iniciais e os resultados são avaliados periodicamente pela própria **Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)** e por **organismos internacionais**.

A probabilidade de ocorrência de acidente é remota devido ao projeto de acondicionamento desse material e, até hoje, não existem registros de acidentes em depósitos de rejeitos radioativos no mundo.

MONITORAMENTO DE DEPÓSITOS



**baixíssimo
risco**

para pessoas e
meio ambiente



**radiação abaixo
dos padrões**

nacionais e
internacionais



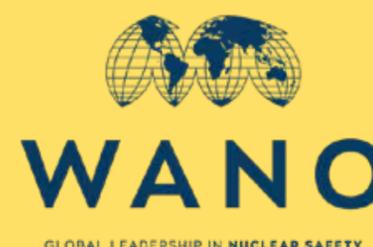
**monitoramento
constante**

área em torno
dos depósitos



**avaliação
periódica**

por autoridades locais
e órgãos internacionais



algumas das
organizações
fiscalizadoras

A radiação ionizante é um fenômeno natural, com diversas fontes como raios cósmicos, rochas, solo e até mesmo alguns alimentos como bananas e castanhas-do-pará. Para entender melhor os níveis de radiação usamos a medida chamada "Sievert" (Sv). A dose média anual de radiação de fundo natural, para uma pessoa em grandes cidades brasileiras, é de cerca de 2,4 mSv (milisievert). Uma radiografia de tórax, por exemplo, expõe uma pessoa a cerca de 0,1 mSv, o que é uma fração muito pequena da exposição média anual. Entender a radiação e seus níveis é crucial para desmistificar medos e preocupações.

RISCO RADIOLÓGICO



medidos em **mSv**
(milisieverts),
unidade
internacional

alguns valores aproximados de exposição à radiação ionizante



limite de exposição
para trabalhadores
50 mSv/ano



1 exame de
tomografia
5,8 mSv



limite de exposição
indivíduos públicos
1 mSv/ano



radiação cósmica
natural média
0,4 mSv/ano



morar em casa
de alvenaria
0,07 mSv/ano



voo comercial
de 6 horas
0,04 mSv



operação de
Angra 1 em 2022
0,005 mSv



1 exame de
raio-x dentário
0,005 mSv



comer 1 banana
0,0001 mSv



morar a 80km de
uma central nuclear
0,00009 mSv/ano

O processo de geração de energia elétrica a partir da fissão nuclear produz diferentes tipos de rejeitos radioativos, e cada um é tratado e armazenado de maneira específica para evitar a contaminação.

Esses rejeitos são solidificados e armazenados em recipientes qualificados pela Cnen, que exige, por normas, um alto grau de segurança. Além disso, as embalagens contendo rejeitos são estocadas em depósito confinado, impedindo sua dispersão para o meio ambiente.

GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS

POR NÍVEL DE RADIOATIVIDADE

baixo

médio

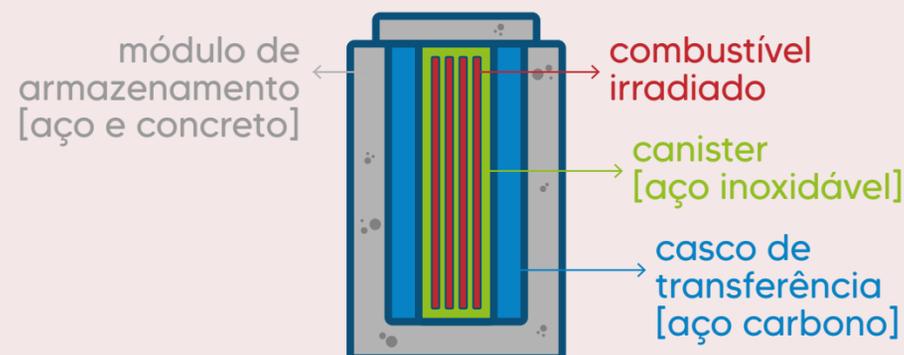
alto

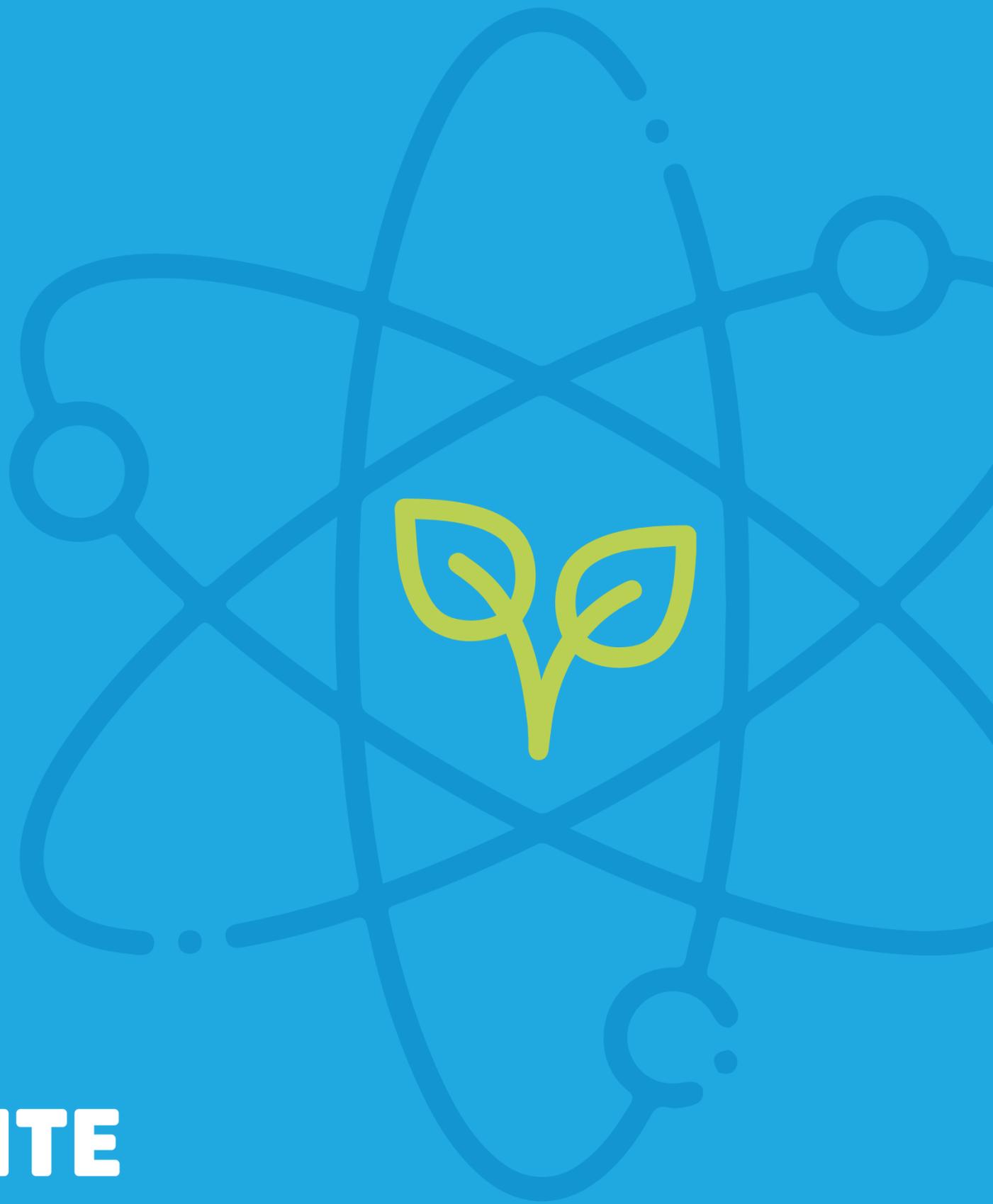


tambores são armazenados e monitorados no **Centro de Gerenciamento de Rejeitos** dentro da central nuclear



realocados para a **Unidade de Armazenamento a Seco (UAS)**





Capítulo 5

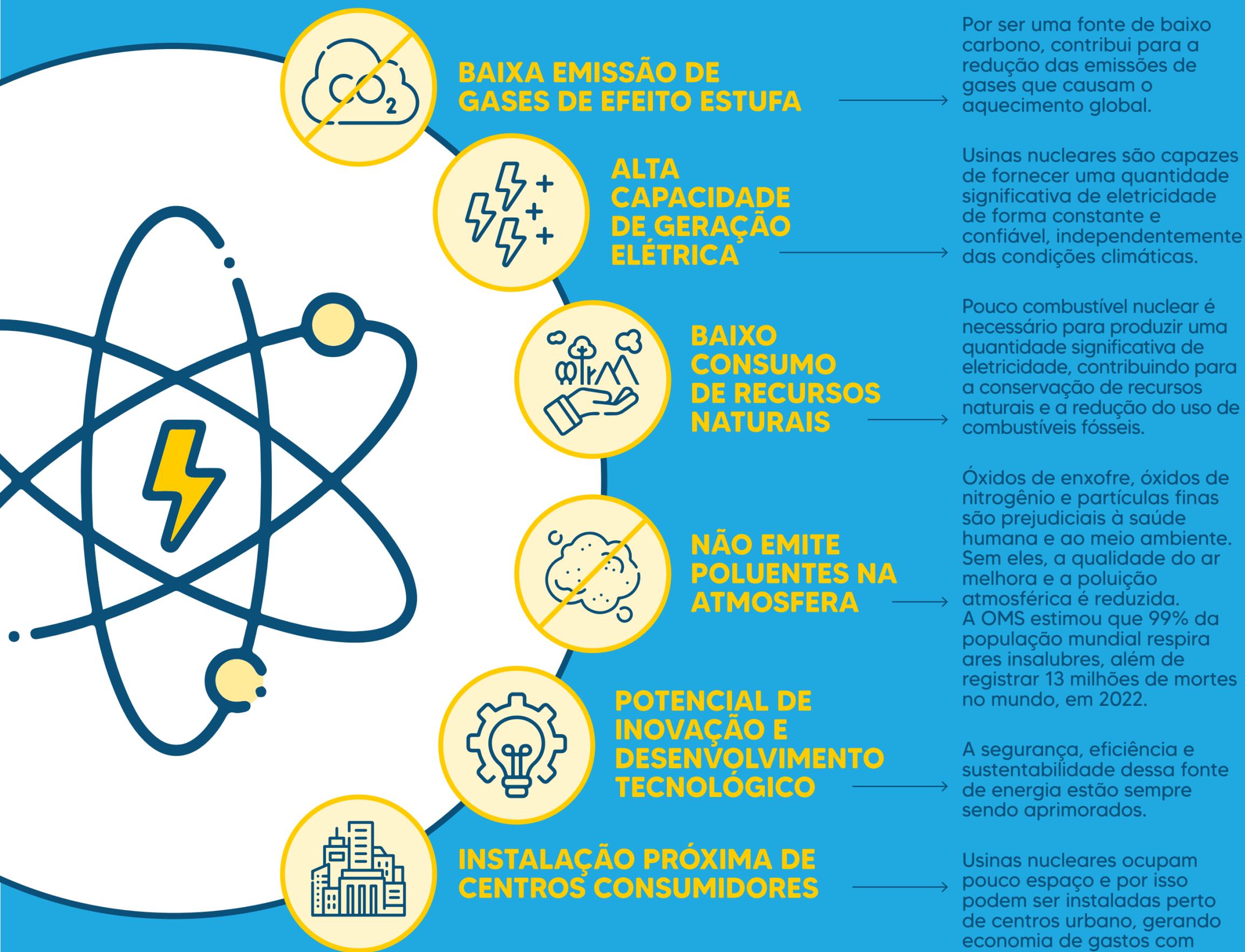
NUCLEARMENTE SUSTENTÁVEL

A energia nuclear foi destaque na COP28 quando mais de 20 países de quatro continentes lançaram a Declaração para Triplicar a Capacidade de Energia Nuclear até 2050. Quais são, então, as vantagens da energia nuclear em relação às demais renováveis?

- **Baixas emissões de gases de efeito estufa, aliada à alta capacidade de geração de energia elétrica.**
- **Baixo consumo de recursos naturais.**
- **Redução da poluição do ar e potencial de inovação tecnológica.**

Essas vantagens podem contribuir para a transição para um sistema de energia mais limpo e sustentável, ajudando a enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

VANTAGENS DA ENERGIA NUCLEAR



Comparada com outras fontes de energia não-carbônicas, como solar, hídrica e eólica, a nuclear possui a menor área de ocupação de todas elas. Ou seja, é capaz de produzir energia em larga escala, ocupando pouco espaço. Essa vantagem permite a instalação de centrais próximas aos centros consumidores, o que diminui também os custos com a rede de transmissão.

ÁREA DE OCUPAÇÃO*



nuclear

ocupa

0,08 km²

Dentro do estádio do Maracanã, cabem 2 usinas do tamanho de Angra 3, e ainda sobra espaço para jogar uma bolinha.

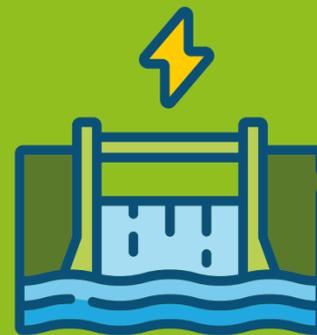


solar

ocupa

40 km²

Isso equivale a cobrir toda a Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro - da Glória a São Conrado - com painéis solares, incluindo as praias. Ninguém mais ia pegar um solzinho.



hidrelétrica

ocupa

125 km²

Seria como alagar toda a cidade de Niterói, RJ. Um verdadeiro piscinão...



eólica

ocupa

400 km²

Essa opção seria como cobrir toda a Baía de Guanabara com aerogeradores. E isso inclui todos os incômodos de ruído e vibração que os vizinhos dessas instalações conhecem.

comparativo de tamanho das áreas ocupadas



nuclear

solar

hídrica

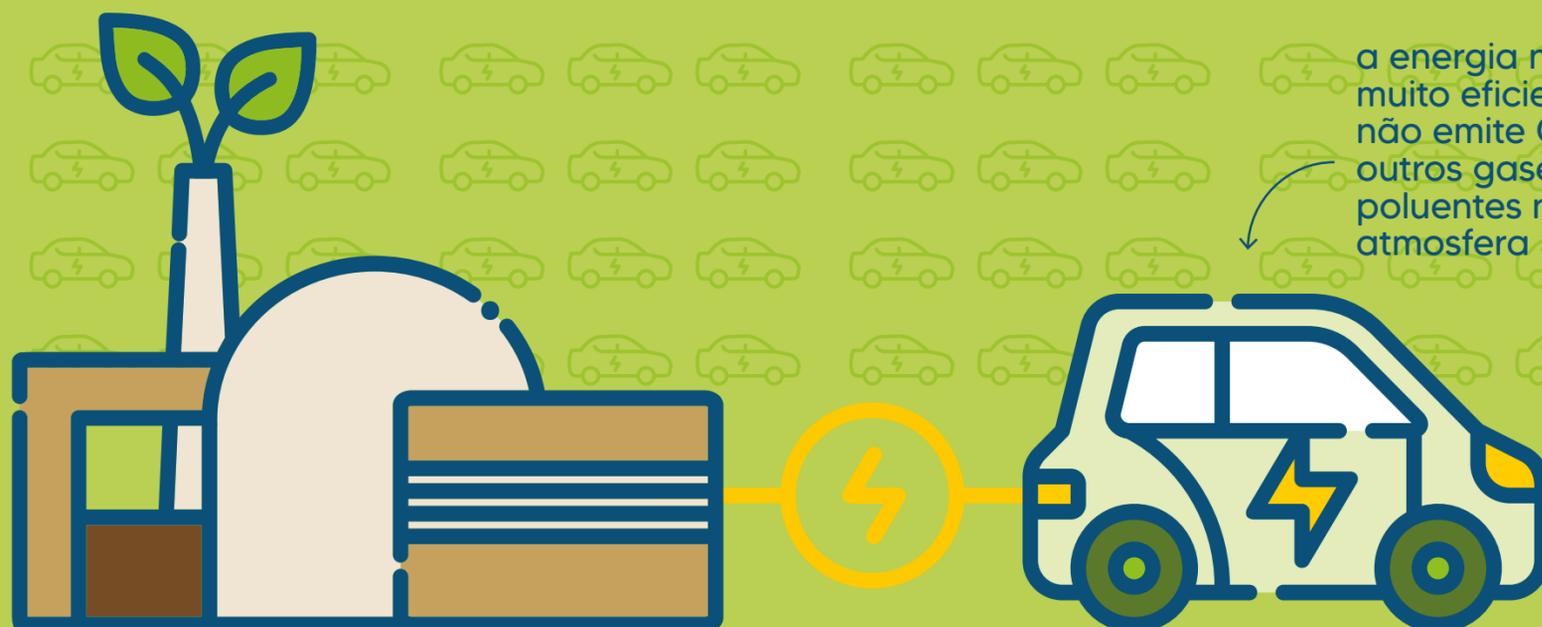
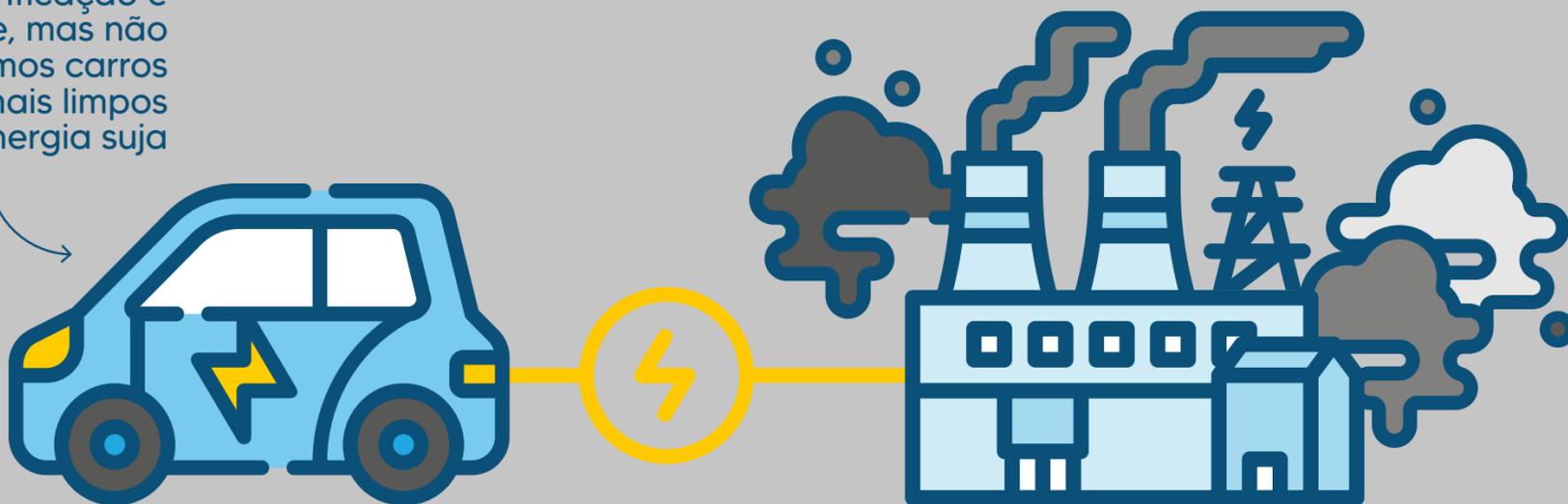
eólica

*área necessária para a produção de 1.400 MW, equivalente à capacidade de Angra 2.

A transição energética é um processo essencial para enfrentar as mudanças climáticas e alcançar metas de sustentabilidade global. Nesse contexto, a energia nuclear surge como uma ferramenta poderosa, contribuindo significativamente para a redução das emissões de CO₂. A “eletrificação” de setores cruciais, como transporte e indústria, é um passo vital nesta jornada. No entanto, para que esta estratégia seja realmente eficaz na redução das emissões de carbono, é crucial que a **eletricidade utilizada seja gerada por meio de fontes limpas e sustentáveis.**

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

a eletrificação é importante, mas não adianta termos carros elétricos mais limpos movidos a energia suja



a energia nuclear é muito eficiente e não emite CO₂ ou outros gases poluentes na atmosfera



mais
energia nuclear

=



menos
gás carbônico

=



menos
efeito estufa

A energia nuclear está na vanguarda da descarbonização, impulsionando uma transição energética mais limpa. As usinas nucleares são peças-chave nesse processo, emitindo significativamente menos CO₂ em comparação com usinas a gás, por exemplo. Com uma produção anual de energia de 9,8 bilhões de kWh, a diferença nas emissões entre as duas fontes chega a 4,6 milhões de CO₂ a mais para as usinas a gás. Os números reforçam o papel da energia nuclear como uma solução de baixo carbono para as necessidades energéticas do Brasil e contribuindo para um futuro sustentável.

DESCARBONIZAÇÃO

usina a gás

emite

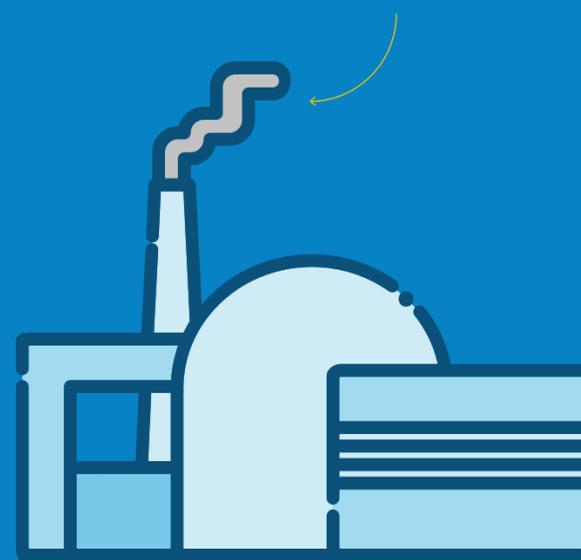
490 g CO₂/kWh



usina nuclear

emite

12 g CO₂/kWh



produção anual
9.8 bilhões kWh

equivalente ao
consumo de toda a
indústria automotiva e
de alimentação
do Brasil

total
**4.8 milhões
toneladas**

CO₂/ano
[4.802.000 ton]

total
**117 mil
toneladas**

CO₂/ano
[117.000 ton]

diferença de
4.6 milhões toneladas

CO₂/ano
[4.685.000 ton]

A preservação ambiental é um dos pilares da energia nuclear, e o impacto de nossas usinas nucleares nesse aspecto é significativo. A diferença de 4,6 milhões de toneladas de CO₂ que deixa de ser emitida anualmente, graças à energia nuclear, evidencia a contribuição do setor para a saúde do nosso planeta. Para neutralizar essa mesma quantidade de CO₂, seria necessário plantar 234 milhões de árvores ou 415 mil hectares de floresta, o equivalente a uma área do tamanho do estado do Rio de Janeiro. Esse dado reforça como a energia nuclear pode ser uma aliada poderosa na luta contra as mudanças climáticas.

PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

A NATUREZA É CAPAZ DE DAR CONTA DESSA DIFERENÇA DE 4.6 MILHÕES DE TONELADAS DE CO₂?

essa quantidade de CO₂ está contida em 585 bilhões de litros de refrigerante (quase 100 vezes o volume da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ)



50 árvores sequestram 1 ton CO₂/ano



Seria necessário plantar

234 milhões de árvores

=

415 mil hectares de floresta

[565 árvores/hec]

Levaria 10 anos, plantando uma floresta do tamanho do estado do Rio de Janeiro, para compensar essa diferença de emissão de CO₂.

A Eletronuclear, como signatária do **Pacto Global**, tem demonstrado um compromisso sólido com os princípios de responsabilidade social e desenvolvimento sustentável. Como empresa estatal brasileira responsável pela geração de energia nuclear, a Eletronuclear reconhece a importância de alinhar suas operações aos **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)** da Organização das Nações Unidas (ONU).

Os ODS são uma agenda global, com **17 objetivos e 169 metas**, que visa abordar os principais desafios sociais, econômicos e ambientais enfrentados pelo mundo, buscando um futuro mais sustentável e inclusivo.



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



7 ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL



A geração de energia nuclear é uma fonte de energia de baixo carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas. A Eletronuclear, como empresa responsável pela geração de energia nuclear no Brasil, contribui para a promoção de uma matriz energética mais limpa e acessível.

9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA



A indústria nuclear é uma área que apresenta potencial de inovação e desenvolvimento tecnológico, com constantes avanços em segurança, eficiência e sustentabilidade. A Eletronuclear, como empresa atuante nesse setor, contribui para o desenvolvimento da indústria nuclear no país e para o fomento da inovação tecnológica nessa área.

13 AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA



A geração de energia nuclear é uma fonte de energia de baixo carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A Eletronuclear, como empresa responsável pela geração de energia nuclear no Brasil, contribui para a redução das emissões de gases causadores do aquecimento global, apoiando a ação contra a mudança global do clima.

15 VIDA TERRESTRE

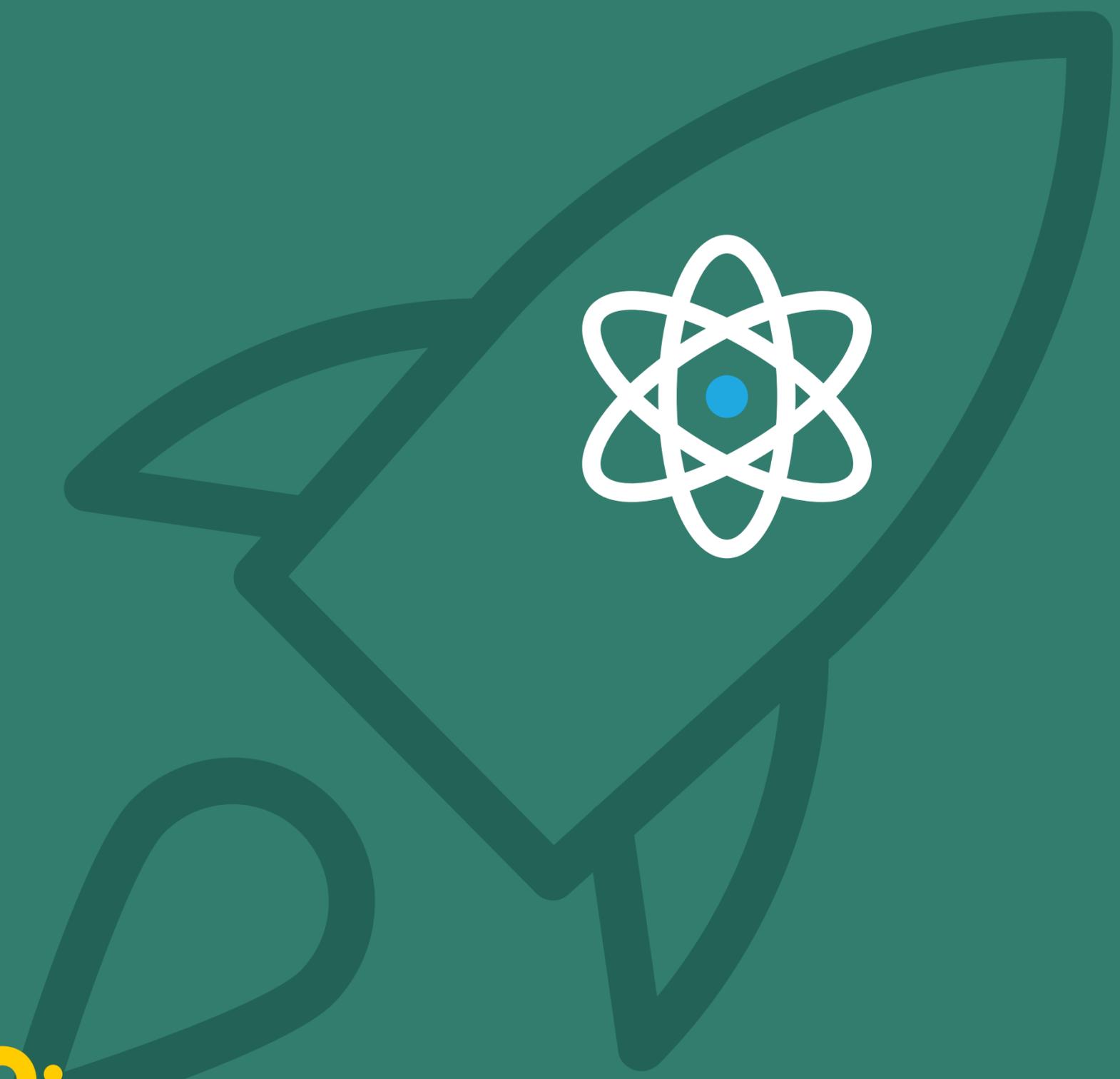


A geração de energia nuclear não emite poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e redução da poluição atmosférica. A Eletronuclear, como empresa comprometida com a geração de energia nuclear de forma responsável, contribui para a proteção da vida terrestre e para a conservação dos ecossistemas.

17 PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO



Como signatária do Pacto Global, a Eletronuclear se compromete a trabalhar em parceria com outras organizações e setores da sociedade para promover a implementação dos ODS e alcançar um futuro mais sustentável. Através de parcerias e colaborações, a Eletronuclear busca fortalecer seus esforços e impactar positivamente na promoção do desenvolvimento sustentável.



Capítulo 6

INOVAÇÃO: O FUTURO É NUCLEAR

A produção de energia nuclear é fundamental para a consolidação da indústria no país. Sem ela, diversos projetos importantes em áreas como

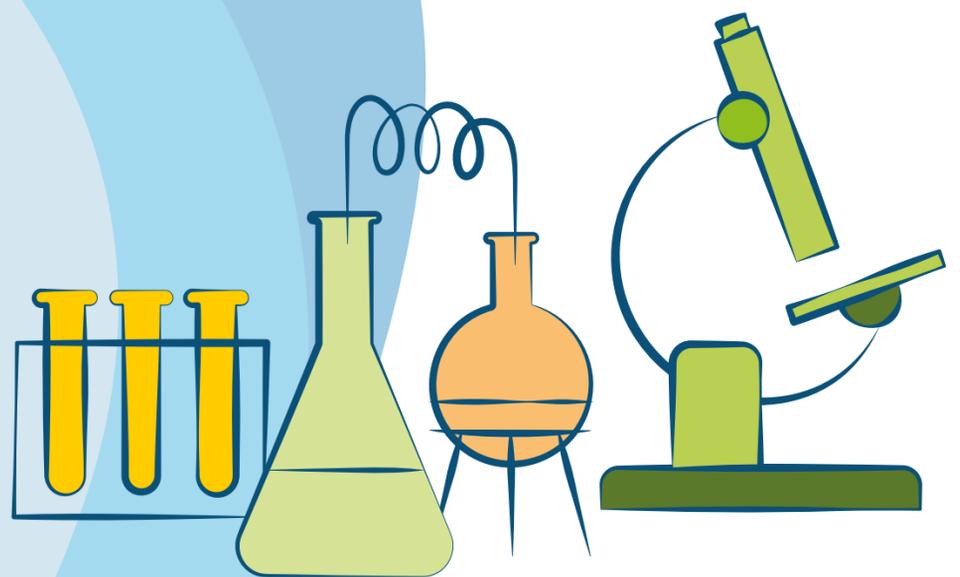
agricultura, medicina nuclear e defesa

serão impactados com o enfraquecimento da cadeia produtiva do setor. Além disso, o Brasil perde capital intelectual e corre o risco de ficar de fora dos possíveis desenvolvimentos tecnológicos no futuro.

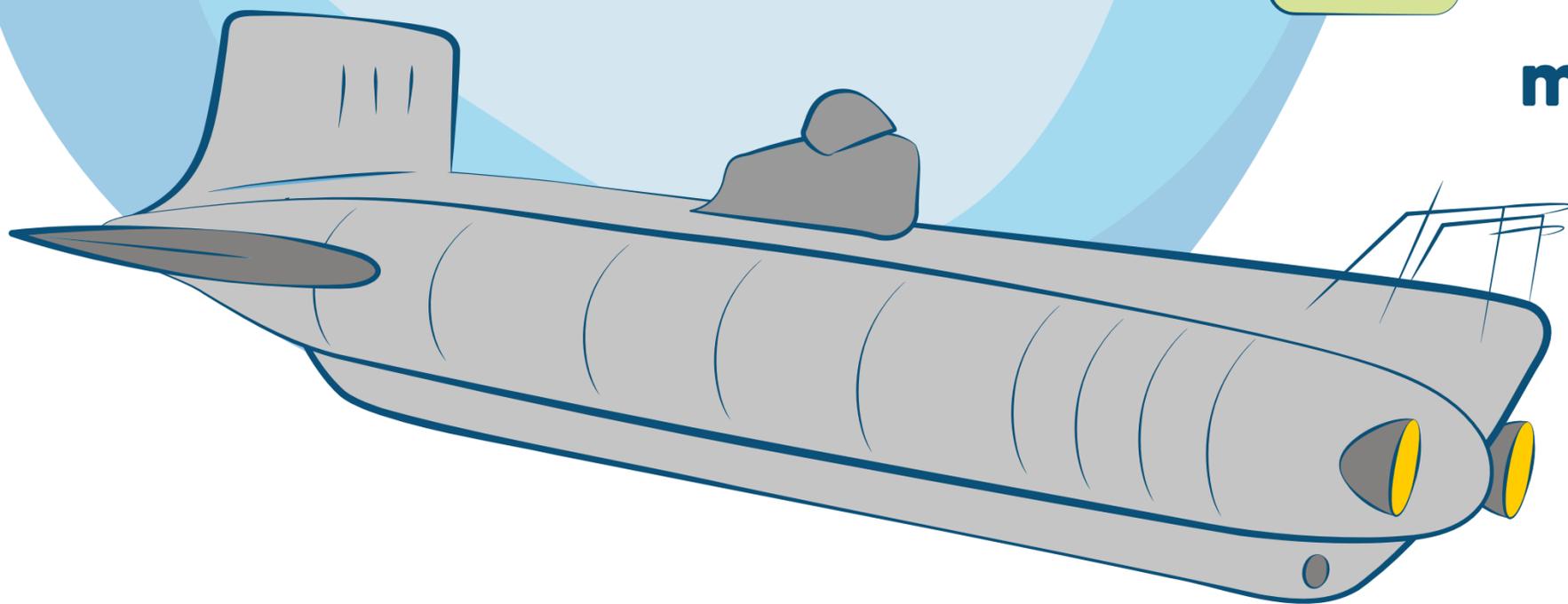
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA



agricultura



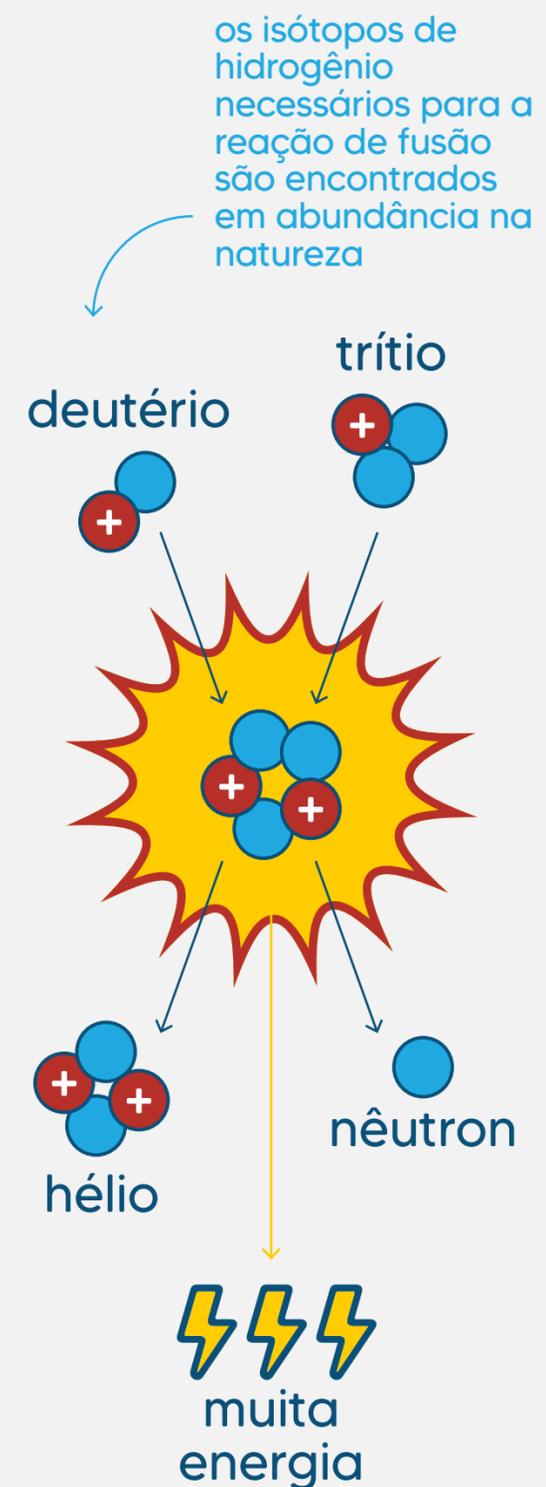
medicina



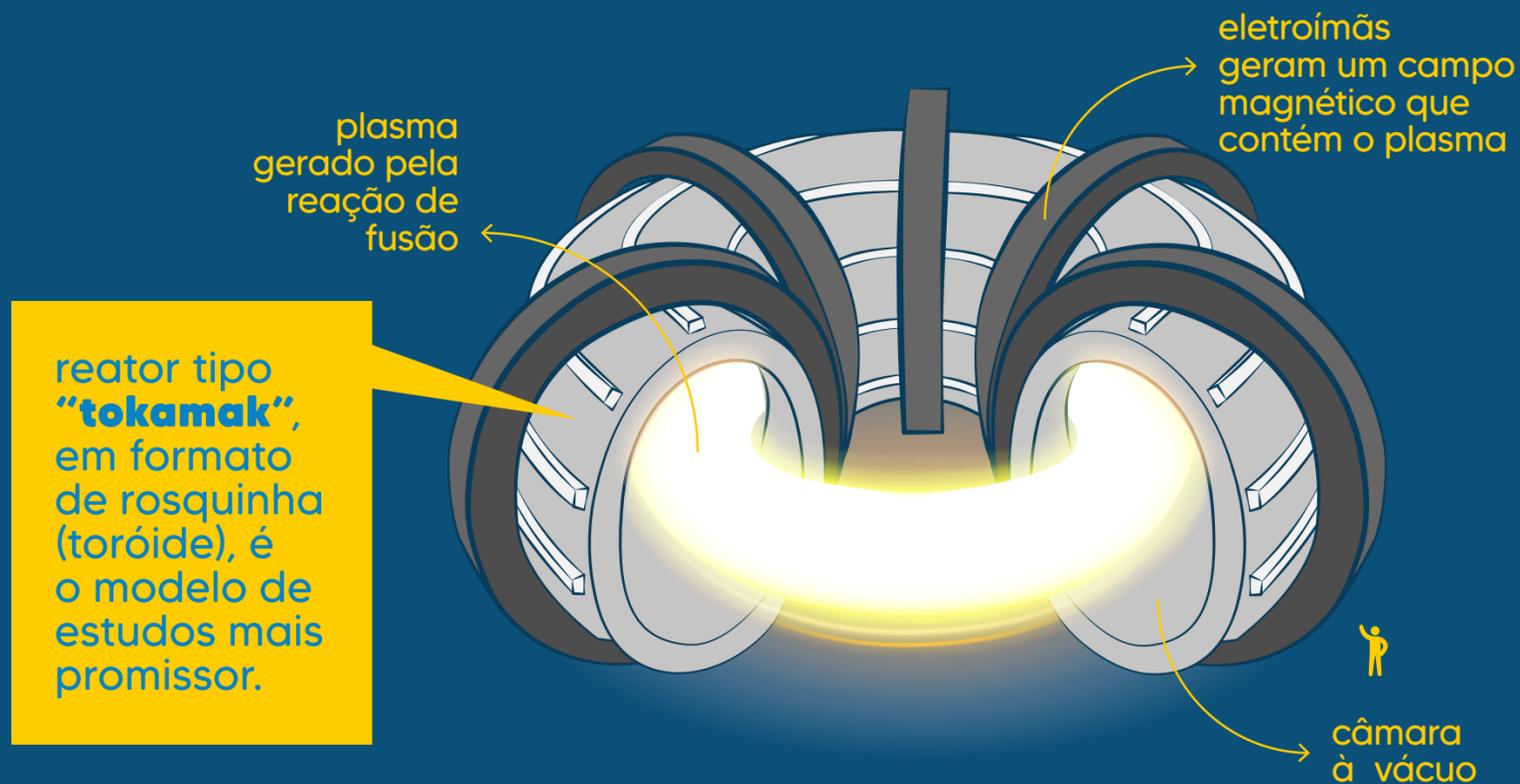
defesa

Em um processo diferente da fissão nuclear (técnica utilizada pelas usinas nucleares em todo mundo) a **fusão nuclear** é uma tecnologia em desenvolvimento que possibilita uma grande geração de energia através da compressão de núcleos de elementos químicos utilizando temperaturas extremas, de aproximadamente 150 milhões de graus Celsius.

A maior dificuldade encontrada é a produção de máquinas que consigam suportar as temperaturas elevadas da fusão nuclear por um tempo considerável. No entanto, as pesquisas na área estão em constante avanço e existe uma grande expectativa do setor para revolucionar a técnica de geração de energia nuclear.



FUSÃO NUCLEAR



recordes de testes
fev/2024

reator
JET
Reino Unido



durante
5,2
segundos

USOU
0,2 mg
combustível

gerou
13,3
megawatts

capaz de abastecer
41 mil
residências



110 g
combustível
de fusão

1145 ton
combustível
fóssil

Fusão nuclear é 10 milhões de vezes mais eficiente*.

Seria necessário um "**Cristo Redentor**" de combustível fóssil para produzir a mesma quantidade de energia que uma "**maçã**" de combustível de fusão.

* Além de não produzir gases de efeito estufa.

Os **pequenos reatores modulares** (small modular reactors – SMRs) são uma nova geração de reatores nucleares de pequeno porte projetados para gerar menos energia elétrica. São produzidos em fábrica e transportados, reduzindo custos e tempo de montagem, além de facilitar sua instalação em locais onde as usinas nucleares convencionais não podem ser construídas.

PEQUENOS REATORES, GRANDES POSSIBILIDADES

pressurizador

bombas refrigeradoras

gerador de vapor

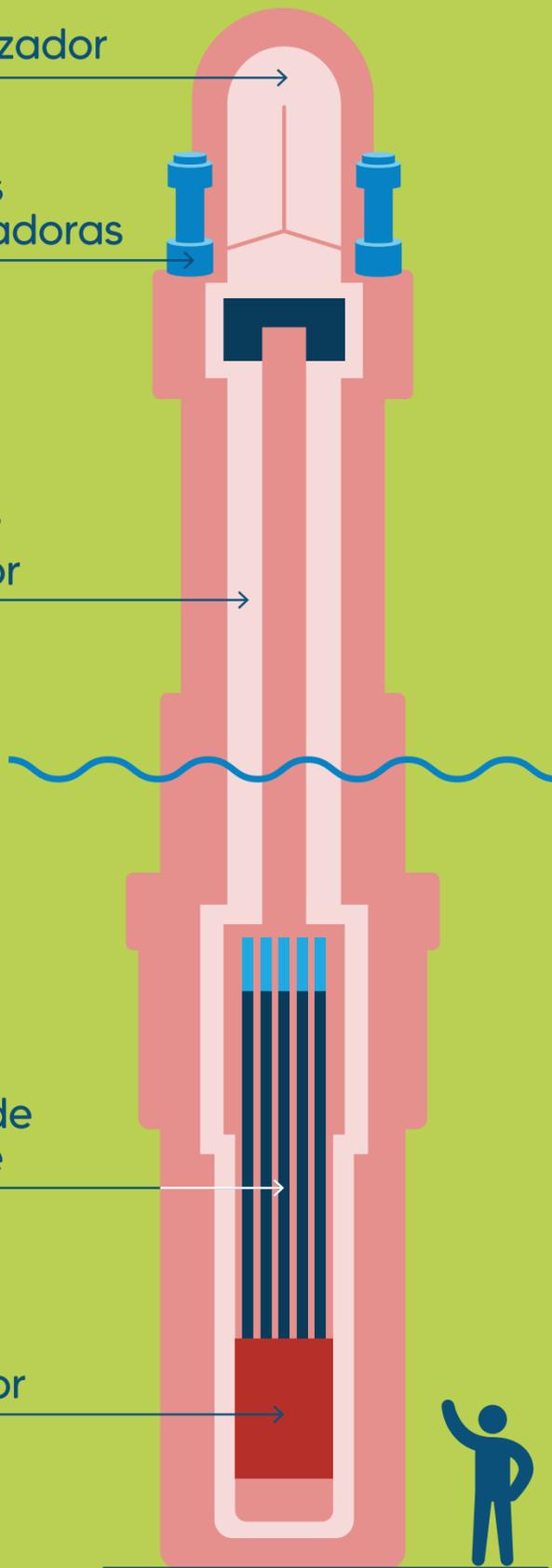
hastes de controle

núcleo do reator

gera até
300
megawatts

SMR
até
300 MW

reatores
convencionais
600+ MW



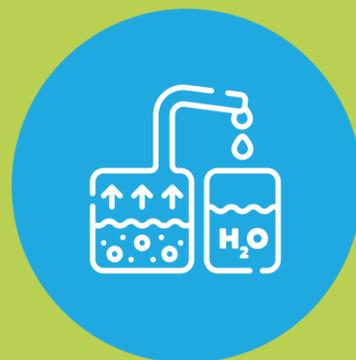
refinarias
de petróleo



indústria
química



aquecimento
urbano



dessalinização



data
centers

Reatores modulares podem ser usados como fonte de energia auxiliar e de calor para complexos industriais, como refinarias de petróleo, indústrias químicas, usinas de dessalinização, produção de hidrogênio e aquecimento urbano.

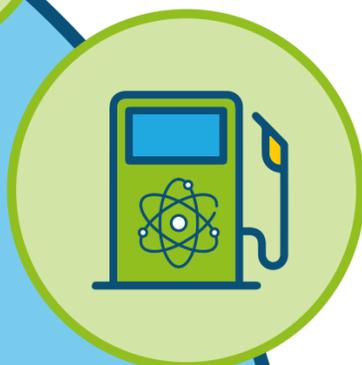
Além disso, podem ampliar a produção das fontes de energia renováveis, como a energia eólica e solar, e até mesmo substituir usinas nucleares antigas, desatualizadas ou em processo de descomissionamento.

Com o advento da Inteligência Artificial, os data centers, que antes consumiam cerca de 30MW, hoje chegam a 1GW, com previsão de consumir mais de 2% da eletricidade mundial até 2030.

VANTAGENS DOS REATORES SMR



menor custo
de construção



menos combustível
necessário para operar



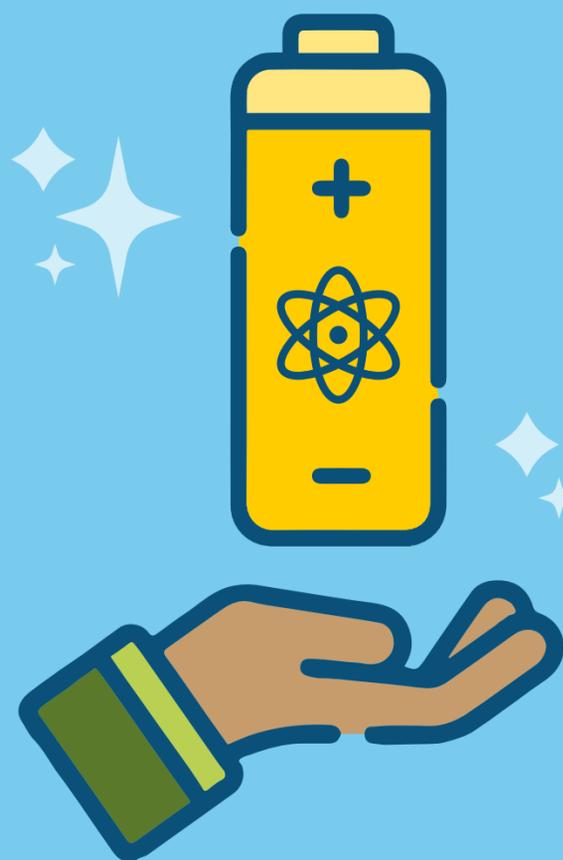
menos resíduos
nucleares produzidos



menor impacto
ambiental



maior segurança



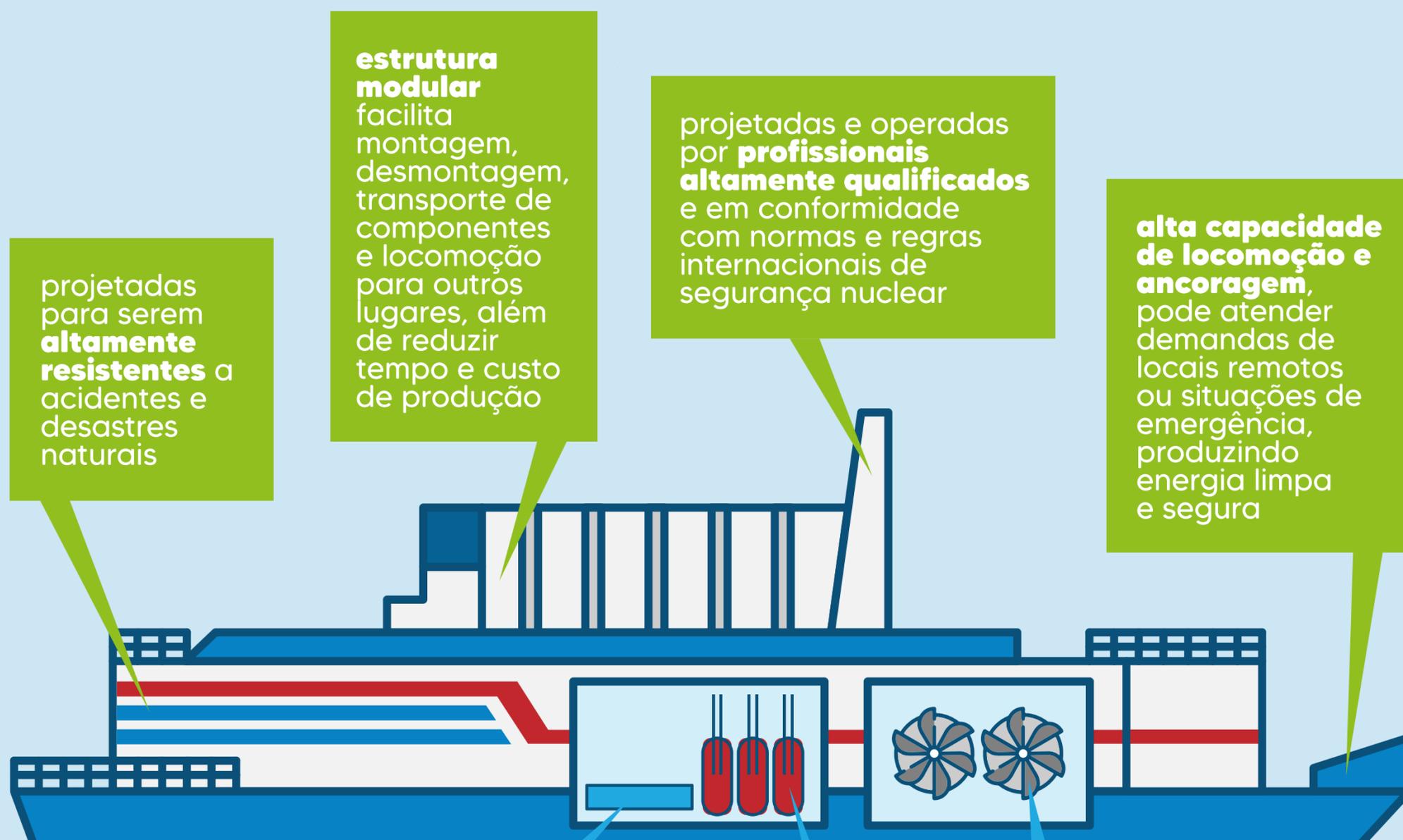
A busca por fontes de energia inovadoras e sustentáveis tem sido uma prioridade na atualidade.

Nesse contexto, as **usinas flutuantes** têm ganhado destaque como uma opção versátil e segura para geração de eletricidade.

Montadas em cascos flutuantes, essas instalações podem ser ancoradas em diferentes locais, de acordo com a demanda de energia e o mercado.

Usinas flutuantes são capazes de produzir eletricidade a partir de diversas fontes de energia e sua utilização no setor nuclear é uma fonte de energia limpa e segura em áreas remotas ou em casos de emergência.

USINAS FLUTUANTES: ELETRICIDADE VERSÁTIL E SEGURA



Modelo esquemático da “Akademik Lomonosov”, a única central nuclear flutuante em operação do mundo, construída pela Rússia, e que hoje atende a cidade de Pevek, na Sibéria.

Uma das inovações tecnológicas com pesquisas em andamento é a construção de naves espaciais movidas a energia nuclear, que poderiam diminuir o tempo total da missão entre a Terra e Marte, por exemplo.

Uma viagem mais rápida beneficiaria a tripulação com a diminuição dos riscos do deslocamento, como uma menor exposição à radiação, menos tempo em gravidade reduzida e, por consequência, redução de problemas de saúde relacionados a esses fatores.

A NASA apresentou dois conceitos movidos a propulsão nuclear: o NTP (Propulsão Térmica Nuclear) e o NEP (Propulsão Elétrica Nuclear). Apesar de encontrar problemas individuais, a agência acredita na combinação dos dois sistemas para fornecer a propulsão adequada para as missões espaciais.

VIAGENS ESPACIAIS



Quanto tempo levaria uma missão tripulada até Marte?

foguetes convencionais



18
meses

tempo de ida e volta

16
meses

tempo em Marte

2
anos
10 meses

tempo total de missão

O foguete Starship da SpaceX é o mais potente atualmente em fase de testes e com objetivos de chegar tripulado até Marte.

foguetes nucleares



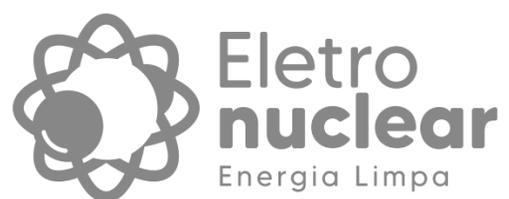
90
dias

16
meses

1
ano
7 meses

A Nasa e a Agência de Defesa dos EUA iniciarão os testes do programa Draco de foguetes com propulsão nuclear em 2027.





Para saber mais acesse
www.eletronuclear.gov.br

    **[/eletronuclear](#)**