

Nuclear

posologia para combater a desinformação

Bruno Soares Gonçalves





ipfn

INSTITUTO DE PLASMAS
E FUSÃO NUCLEAR

Nuclear

posologia para combater a desinformação

Bruno Soares Gonçalves

Este livro foi desenvolvido para divulgação e educação e é distribuído gratuitamente. Pode ser usado por qualquer interessado no geral desde que dados os devidos créditos.

Não existem limitações à sua impressão e/ou distribuição desde que gratuita.

Assegurem-se sempre que têm a última versão disponível (a versão está indicada na coluna ao lado) uma vez que poderão ser efectuadas modificações, e correcções regularmente assim como poderá ser adicionado ou removido conteúdo conforme considerado pertinente para o fim a que se destina.

O QR code contém o endereço para aceder à página com a última versão disponível.

O autor compromete-se em tentar manter a informação actualizada e, referenciando as fontes da informação que poderão ser consultadas para obter dados mais recentes.

O autor tenta providenciar informação precisa e fidedigna mas, ainda que científica, poderá ser considerada controversa por alguns leitores.

Cabe ao leitor a responsabilidade de procurar toda informação adicional e/ou complementar que lhe permita construir a sua própria visão acerca do papel da energia nuclear na era das alterações climáticas e que permita distinguir entre informação falsa de informação assente em estudos científicos.



Está a ler a versão:
1.05, 16 setembro 2023

Nota legal

A visão aqui expressa é da exclusiva responsabilidade do autor e não reflecte necessariamente a visão do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), Instituto Superior Técnico (IST) ou qualquer das entidades financiadoras da Unidade de Investigação (IPFN). Estas entidades, em situação alguma, poderão ser consideradas responsáveis por qualquer uso que seja feito da informação que este livro contém.

Nota acerca das imagens

Tentei ter cuidado e incluir os créditos adequados nas imagens. No entanto, *mea culpa*, ao longo dos anos fui usando imagens conforme adequado, para efeito de ilustração, nas apresentações ao público, sem ter registado em vários casos a origem (online, apresentações de colegas, etc.)

Não tenho intenção de infringir os direitos de autor sobre as imagens pelo que, se é o autor e sente que o devido crédito deve ser incluído ou que a imagem não deve ser usada, não hesite em contactar-me a imagem e as acções correctivas serão tomadas imediatamente.

Nuclear posologia para combater a desinformação

Para uma análise muito mais detalhada de alguns dos aspectos aqui discutidos consultar o livro online

“Fusão Nuclear na era das alterações climáticas”

https://www.ipfn.tecnico.ulisboa.pt/fusao_nuclear_alteracoes_climaticas/download.html

'If there were an invisible cat in that chair, the chair would look empty; but the chair does look empty; therefore there is an invisible cat in it.'

A belief in invisible cats cannot perhaps be logically disproved, but it tells us a good deal about those who hold it.

- The Four Loves, C. S. Lewis

Introdução

A radiofobia [1] faz com que muitos acreditem que exposições à radiação comparáveis ao ambiente natural são mortais e perigosas traduzindo-se num medo clínico de radiações ionizantes. A concretização da transição energética depende da capacidade de analisar de forma abrangente os riscos demonstráveis da energia nuclear divorciados das narrativas de medo radiofóbico. Se medos infundados interferirem na tomada de decisões, pode haver a tendência a descartar soluções bem fundamentadas. Os argumentos contra a energia nuclear, enraizados na radiofobia, são passíveis de serem tecnicamente refutados [2]. Infelizmente, no mundo actual, o mito coexiste com pessoas com maior oposição ao consenso científico, confiantes no seu conhecimento, mas que tendem a ter os níveis mais baixos de conhecimento científico objetivo [3] e com utilizadores do manual de como negar a ciência, vender mentiras e servir o mundo corporativo.

No seu livro “Estratégia boa/estratégia má”, Richard Rumelt escreve que uma boa estratégia é uma ação coerente apoiada por um argumento, uma mistura eficaz de pensamento e ação com uma estrutura subjacente básica e que o cerne duma estratégia contém três elementos:

1. Um diagnóstico que define ou explica a natureza do desafio. Um bom diagnóstico simplifica a complexidade muitas vezes avassaladora da realidade ao identificar certos aspectos da situação como críticos.
2. Uma política orientadora para lidar com o desafio. Esta é uma abordagem global escolhida para enfrentar ou superar os obstáculos identificados no diagnóstico.
3. Um conjunto de ações coerentes que visam a concretização da política orientadora. Essas são etapas coordenadas entre si para trabalhar juntas na realização da política orientadora.

No entanto, frequentemente o diagnóstico aborda os problemas de forma superficial e a política orientadora fica-se por uma visão mágica da resolução do problema. O Richard Rumelt alerta para esta tendência

“(...) a doutrina de que alguém pode impor suas visões e desejos ao mundo apenas pela força do pensamento mantém um apelo poderoso para muitas pessoas. A sua aceitação desloca o pensamento crítico e a boa estratégia.” - Richard Rumelt, Estratégia boa/estratégia má

O pensamento mágico está tão presente em muitos aspectos que nos rodeiam que é fácil cair no erro que as renováveis são a única solução. Infelizmente é fácil encontrar

múltiplos exemplos no que diz respeito à transição energética. O foco na mudança das percepções dos indivíduos sobre seu próprio conhecimento tem sido reconhecido como um passo útil no sentido de mudar opiniões. A radiofobia, desconhecimento e crença que as renováveis são a solução, são factores para que o nuclear não seja considerado uma solução para a transição energética em países como Portugal e Espanha.

“Science denial is not a mistake. It's a lie intentionally created by somebody for a purpose, somebody who's profiting from it. (...) Sometimes the profit is economic (...) but sometimes it's ideological or political.” - Lee McIntyre, How to talk to science deniers

Conforme escreve o Lee McIntyre no seu livro [71], a negação da ciência prospera sob as condições de (1) pouca informação, (2) propensão a teorias da conspiração e (3) falta de confiança (o Público publicou uma entrevista interessante a este autor da qual recomendo a leitura [72]) . No entanto, mesmo os mais resistentes podem ser “resistentes a factos, mas não imunes a factos” [73].

Apresenta-se abaixo a posologia/resposta adequada para este problema que deverá ser aplicada mediante a identificação dos sintomas de radiofobia ou intolerância nuclear presentes nos posts das redes sociais ou artigos.

Sintomas: Os sintomas deste mal traduzem-se num conjunto de comentários recorrentes que aparecem sempre que se fala de energia nuclear e das suas potencialidades. Abaixo serão identificados vários destes comentários

e a resposta adequada.

Quem deve tomar: todos os indivíduos que sofrem de intolerância nuclear não fundamentada e radiofobia. Tem também eficácia comprovada contra crises de pensamento mágico em relação à transição energética.

Quem deve administrar: qualquer pessoa que detecte desinformação acerca do nuclear poderá utilizar a informação constante deste artigo (total ou parcialmente) para impedir a propagação da desinformação. Recomenda-se, como resposta a um post ou comentário, copiar a solução para o sintoma específico e o link para este artigo

Advertências: deverá ser evitado se tiver alergia identificada a conhecimento fundamentado. A consulta destas informações não exclui a leitura de fontes científicas fidedignas para aprofundar o

conhecimento acerca do assunto.

Posologia: recomenda-se a leitura destes esclarecimentos pelo menos uma vez por semana para evitar recaídas. Os esclarecimentos serão mantidos atualizados à medida que mais sintomas forem sendo identificados. Em caso de recaída recomenda-se como tratamento adicional a consulta de relatórios e artigos científicos.

Porque deve ser aplicado: A exposição permanente a ideias não fundamentadas e desinformação causa preconceito e ideias pré-concebidas. Em alguns casos verifica-se propagação pandémica de desinformação

Contra-indicações: Após a medicação contra a radiofobia os leitores poderão apresentar uma visão mais abrangente e tendência a questionar muita da informação que lhes é apresentada sem fundamentação científica. Em casos mais agudos poderão

tornar-se pró-nuclear e defensores da sua utilização para a transição energética

Testes clínicos: este tratamento foi elaborado com o apoio do Pedro Alves e Joel Pereira que gentilmente também se ofereceram como cobaias. Em ambiente controlado todos os resquícios de radiofobia e intolerância nuclear foram erradicados.

A sociedade civil ao serviço da identificação de novos sintomas: qualquer sintoma não constante da lista (e/ou respectiva posologia) poderá ser comunicado ao autor através dos contactos partilhados nas últimas páginas deste documento. A solução será apresentada com a respectiva fundamentação assim que possível. Qualquer erro ou omissão também será prontamente corrigido. A posologia será mais eficaz com a contribuição da sociedade civil.

Como conservar: Não coloque estas

informações no lixo doméstico. As informações abaixo constantes ajudarão a proteger o ambiente e apoiarão a transição energética e a descarbonização.

Sintomas de radiofobia ou intolerância nuclear e tratamento

A sintomatologia identificada até ao momento pode ser dividida em quatro grandes tópicos quer se cruzam em várias variantes conhecidas:

- Utilidade do Nuclear
- Custos do nuclear e dependência geopolítica
- Fiabilidade das centrais nucleares
- Segurança e risco radiológico
- Impacto ambiental
- Risco sísmico

Sintomatologia anti-nuclear

1

Acerca da utilidade do nuclear

O nuclear não é preciso para nada

As Nações Unidas têm alertado que o mundo não está “*nem perto*” de atingir as suas metas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, com o planeta a caminho de ver as temperaturas subirem para 2.5 graus Celsius acima das médias pré-industriais no final do século XXI. A United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) tem concluído em relatórios recentes que “*Os objetivos climáticos mundiais não serão alcançados se as tecnologias nucleares forem excluídas.*” [4] porque a energia nuclear produz menos emissões de CO₂ (5-6 g CO₂/kWh gerado) que qualquer outra fonte de produção de electricidade, no seu ciclo completo de vida. Tanto a energia nuclear como as renováveis não emitem gases de efeito de estufa no seu processo de produção de electricidade, mas cada uma das formas

de produzir electricidade tem uma pegada carbónica distinta ao longo do seu ciclo de vida completo. A energia nuclear é, entre a tecnologias limpas, a que faz menos uso de terreno e a que requer uma menor quantidade de minerais e materiais críticos. O assunto é mais premente porque a guerra na Ucrânia trouxe à ribalta a discussão sobre descarbonização e segurança energética expondo a necessidade de acelerar a electrificação da sociedade. O nuclear é o melhor parceiro de uma economia baseada em H₂ e indústria. É a única tecnologia limpa que não é intermitente, que produz calor de elevada qualidade que permite garantir estabilidade para ambos os setores.

Globalmente, a produção de energia nuclear evitou 63 Gt CO₂ de 1971 a 2018 de acordo com a IEA. Sem a energia nuclear, as emissões resultantes da geração de electricidade teriam sido 20% maiores, e as

emissões totais relacionadas à energia, 6% maiores, durante esse período. Infelizmente, a opinião pública sobre a energia nuclear tende a ser muito negativa mas totalmente errada. A energia nuclear é uma das fontes de energia mais seguras e limpas, por unidade de energia, resultando em centenas de mortes a menos do que as causadas pelo carvão, petróleo ou gás, e é comparável às fontes renováveis, como solar ou eólica.

Portugal não precisa de energia nuclear

O PNEC2030 Português e PNIEC2030 Espanhol, ambos estão alinhados e em linhas gerais praticamente toda a nova potência instalada, em ambos os países, será de fontes renováveis. Por volta de 2034, verificamos que, vai existir, na Península Ibérica, um decréscimo muito acentuado de potência firme (Centrais de Carvão, Gás

Natural e Nucleares). Se se mantiver o ritmo de crescimento de renováveis entre 2030 e 2034, poderemos ter sérios problemas, nomeadamente a nível de termos energia necessária disponível, a toda a hora, e também poderá ser difícil mantermos os parâmetros de rede necessários, especialmente em alguns nós de rede. Esse fenómeno já acontece atualmente em Espanha, principalmente em nós onde a potência instalada renovável é muito elevada.

A introdução do nuclear reduz significativamente os períodos de défice mantendo segurança na capacidade de armazenamento e resultando em pouco desperdício energético. Há ainda a questão importante se substituindo a potência firme por solar, conseguiríamos manter os parâmetros de rede dentro dos valores que são necessários. Quanto mais solar tivermos mais difícil vai ser o controlo da frequência, com todos os desafios técnicos e aumento de

custos para a rede que isso acarreta. As centrais nucleares mitigam este problema, contribuindo para a estabilidade da frequência e redução dos custos de rede. Pode ainda dar um contributo significativo à produção de hidrogénio verde (cor de rosa é o novo verde) e dessalinização de água. A introdução do nuclear, introduz capacidade de resposta aos picos de procura e o aumento das reservas energéticas, com alguma capacidade de backup sem ser necessário excessiva confiança no armazenamento hídrico. Cria ainda o cenário ideal para manter uma produção continua e significativa de hidrogénio. A análise desta necessidade está apresentada nos artigos do LinkedIn “*A Energia Nuclear poderá desempenhar um papel de 2035 em diante para garantir a segurança de abastecimento do sistema eléctrico nacional?*” [75] e “*Qual o impacto do aumento de veículos eléctricos a segurança de abastecimento do sistema eléctrico nacional em 2035-2040?*” [76]

A energia nuclear demora tempo a construir não sendo portanto uma solução para

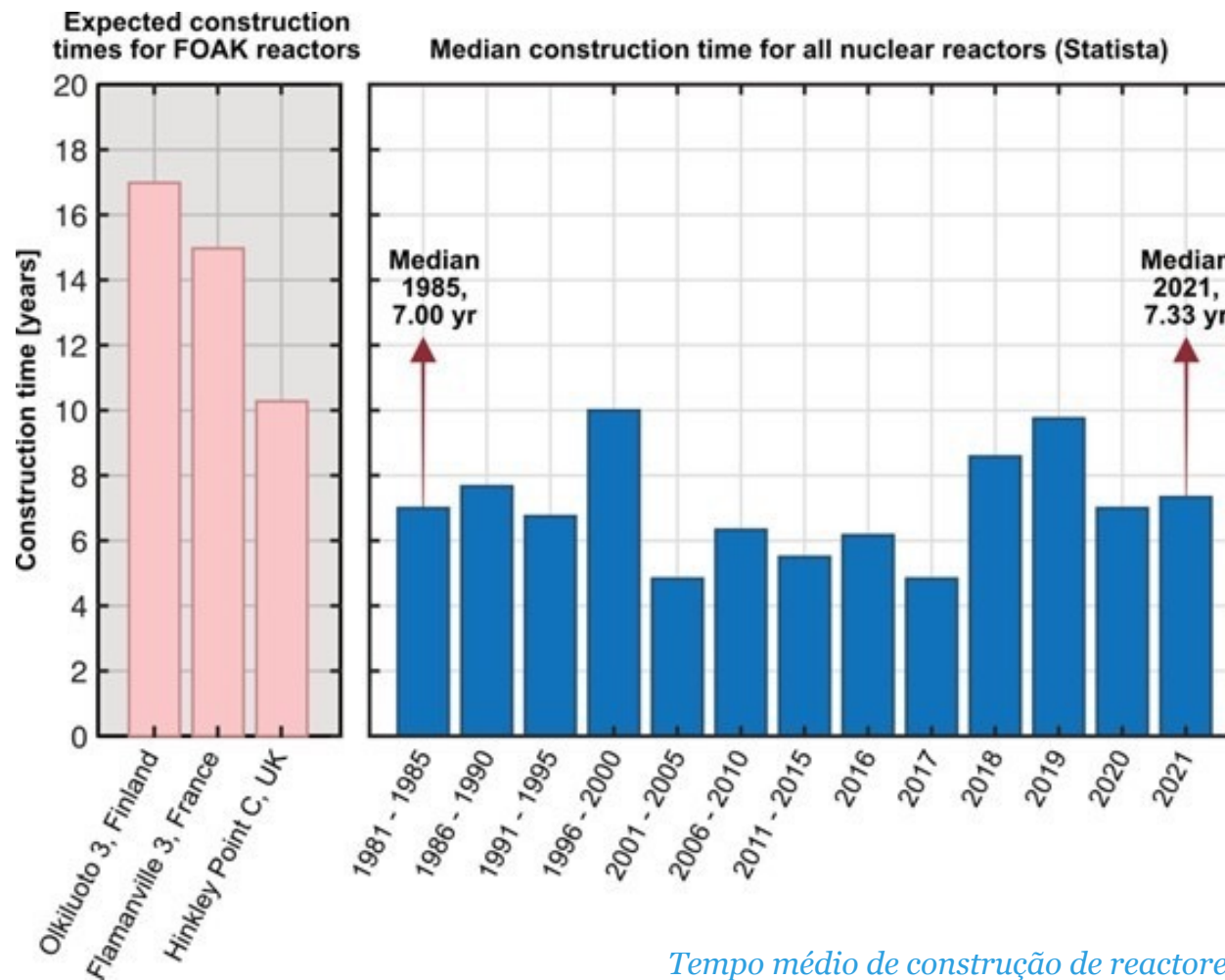
Portugal (variantes conhecidas: As centrais nucleares demoram mais de 10 anos a serem construídas, quando um reator for montado a necessidade do mesmo já não existe)

Uma das maiores críticas que é feita ao sector nuclear é que demoram mais de 10 anos a serem construídas. Será que é uma critica justa? Este número está longe da realidade, mesmo considerando a situação actual dos sectores nucleares, Europeu e Americano, face ao desinvestimento verificado na última década.

A imagem seguinte, retirada do site Statista.com*, contém dados provenientes de um relatório de 2022 da World Nuclear Association [47]. O que se verifica é que, na

Europa, todos os reatores nucleares, em que a construção se iniciou após Chernobyl, todos demoraram mais de 10 anos a ser construídos. Nos EUA, após o incidente de Three Mile Island, aconteceu o mesmo. São essas situações que puxam os tempos de construção médios para cima.

Na Europa, apenas com a exceção, 2 reatores VVER V-320 construídos na República Checa, modelo russo, todos são FOAK, isto é, First Of A Kind. Isso explica em parte os atrasos, mas não podemos esquecer as questões relacionadas com disputas contratuais, processos em tribunal e a falta de uma cadeia de fornecedores e técnicos qualificados para efetuarem estas obras. Tudo somado resulta em atrasos significativos.



* <https://www.statista.com/statistics/712841/median-construction-time-for-reactors-since-1981/>

Tempo médio de construção de reatores nucleares no período 1981 a 2021 e comparação com reatores FOAK (First Of A Kind) em construção na Europa

Da análise dos dados e tendo em consideração os dados das páginas 30 a 48 do relatório [47], podemos retirar algumas conclusões interessantes:

1) É crítica a standardização, como em qualquer indústria, mas também terem vários projetos nos mesmos locais e serem sequenciais. Verifica-se que, nos modelos mais fabricados, CP0, CP1 e CP2 em França, CPR-1000 e CNP-1000 na China, M (x-loop) e BWR-5 no Japão, OPR-1000 na Korea e VVER V-320 em países próximos da Rússia, todos tiveram tempos de construção muito semelhantes. Caso curioso, são os EUA, que durante anos com os modelos BWR-3/4 e WH 3LP/4LP foram exemplo de como construir rapidamente e depois do incidente de Three Mile Island tornaram-se o exemplo de como não fazer um projeto destes. Mas isso é tema para outra conversa.

2) Os modelos com capacidade entre 900 e

1000 MW são aqueles que apresentam uma média mais regular/baixa do tempo de construção. Com a exceção do Japão, que foram os únicos que conseguiram construir reatores com mais de 1000 MW, com tempo muito inferiores/regulares aos de todos os outros países, sendo que nesses outros países encontramos uma variabilidade muito grande, principalmente nos EUA. Isto é uma constante ao longo do tempo o que me leva a inferir que ou se tem mão-de-obra e indústria como o Japão para garantir que tudo é feito com rigor ou é arriscado construir centrais nucleares com potência superior.

3) Não é verdade, como os detractores do nuclear indicam, que é a única indústria que em vez de melhorar os tempos de construção, ao longo do tempo, piora os mesmos. Verifica-se exatamente o contrário onde a indústria nuclear está activa e robusta, isto é, China, onde se comprova que todos os CPR-1000 e CNP-1000 são

construídos numa média de 5 anos.

Comprova-se sim, que caso existam encomendas firmes e com isso financiamento para investir em R&D, a indústria por si só vai encontrar soluções para reduzir os tempos de construção. O melhor exemplo disso são os reatores Hualong One e o seu sucessor Hualong Two conforme noticiado em [48].

Quando os detractores do nuclear argumentam “*quando um reactor for montado a necessidade do mesmo já não existe*”, só se torna verdade se houver boicotes, processos ou não haja recursos humanos competentes e suficientes e uma cadeia de fornecedores fortes. Haja vontade de se fazer um novo plano “Messmer” para a Europa, não em termos de quantidades, mas de preparação de recursos humanos qualificados e suficientes e em paralelo com uma política e medidas estruturais que permitam as empresas investirem para a

criação de uma indústria forte. O tempo dos estudos, lançamento de concurso, adjudicação, processos burocráticos, acesso ao dinheiro e tempo de construção faz com apenas seja possível contar com uma central nuclear (convencional ou SMR) depois de 2034. A análise desta oportunidade foi feita no artigo do LinkedIn “*Energia nuclear em Portugal - Oportunidade e competência*” [77].

Uma central nuclear demora tempo a construir, mas não sendo a necessidade imediata há agora a oportunidade para considerar seriamente sem andar posteriormente a correr atrás do prejuízo. A duração da construção é um fator-chave de custo em programas nucleares altamente complexos. Os pagamentos de juros, outra grande proporção do custo da infraestrutura, também dependem muito dos prazos de entrega. Historicamente, os tempos construção das centrais nucleares têm sido muito longos e cheios de incertezas. O

calendário e o custo de construção são reduzidos pelo menor tamanho da infraestrutura e um aumento no nível de padronização, modularização e outros métodos avançados de construção (como construção aberta e paralela) [5]. A modularização, por exemplo, transfere o trabalho do local para fora do caminho crítico e para um ambiente de fábrica controlado.

Uma vez que a opção de um SMR parece ser a mais adequada para Portugal do ponto de vista do tempo de construção ainda estamos bem dentro da janela de oportunidade. No entanto, para que consigamos aproveitar essa janela de oportunidade teremos de a muito curto prazo, caso seja essa a opção do Governo Português, de começar a tratar do tema com a IAEA.

O nuclear não faz falta porque as energias renováveis e armazenamento serão capazes de providenciar toda a electricidade necessária

A aposta nas energias renováveis (eólica, solar) é essencial. Mas será também necessário considerar outras formas de energia que não produzem gases causadores do efeito de estufa e que sejam capazes de providenciar a electricidade de base necessária para fazer face às intermitências das energias renováveis. A fissão nuclear, tantas vezes demonizada, é actualmente umas das soluções viáveis, contribuindo com segurança para a descarbonização.

Os defensores da energia eólica e da energia solar muitas vezes citam as estimativas de LCOE da Lazard (uma empresa de

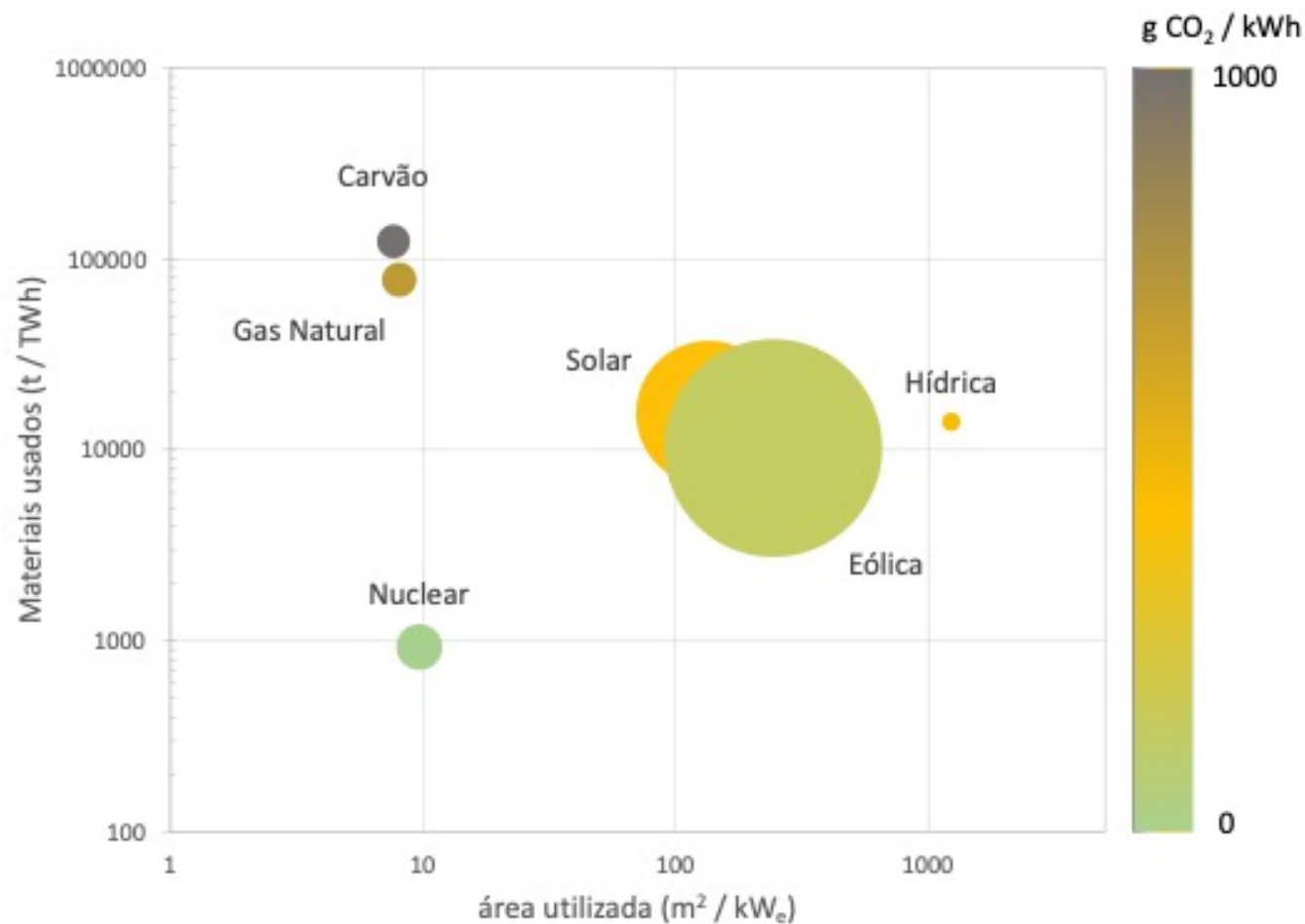
consultoria) ou da IEA erroneamente para alegar que a energia eólica e solar são agora mais baratas do que outras fontes de energia. No entanto, o LCOE é inadequado para comparar formas intermitentes de geração de energia com despacháveis e totalmente desadequado para tomar decisões ao nível de um país. A Lazard e a IEA mostram o custo de operação de uma única instalação eólica ou solar na sua produção máxima razoável e não incluem o custo de operar de forma confiável um sistema eléctrico inteiro com elevadas penetrações de energia eólica e solar, que custa exponencialmente mais (sugiro ver o cálculo de LCOE para o exemplo de um estado americano [6]). Por exemplo, Lazard e IEA não contabilizam as despesas incorridas para construir novas linhas de transmissão, o custo de fornecer electricidade de “backup” com gás natural ou armazenamento em baterias para quando o vento não sopra ou o sol brilha. Mas, ainda mais importante, as

estimativas de LCOE da Lazard e da IEA não levam em conta o enorme excesso de potência instalada e redução de potência que deve ocorrer para garantir que as redes com alta dependência de energia eólica, solar e armazenamento de baterias correspondam à procura de electricidade a cada hora de cada dia. Na rede eléctrica o fornecimento de electricidade deve estar em perfeito equilíbrio com a procura em cada segundo de todos os dias. Se a procura aumentar o fornecimento de energia deve aumentar para corresponder à procura. Caso não seja possível aumentar a oferta para corresponder à procura, os operadores da rede poderão ser forçados a cortar a energia dos consumidores para evitar que a rede caia causando apagões.

Gerar mais electricidade é relativamente fácil com centrais de energia despacháveis, ou seja centrais que podem ser activadas ou desactivadas sob comando, tais como as centrais a carvão, gás natural e nuclear. Mas

o ajuste a flutuações de segundo a segundo na procura de electricidade é muito mais difícil com energia eólica e solar, cuja produção de electricidade depende de flutuações de segundo a segundo nas condições climáticas. Como resultado, é muito mais difícil fornecer energia confiável à medida que aumenta a dependência da energia eólica e solar para corresponder às necessidades de energia. É possível mitigar parte da falta de confiabilidade inerente da energia eólica e solar aumentando enormemente a quantidade de capacidade eólica e solar na rede (sobre-dimensionando as instalações) para permitir que a procura de electricidade seja correspondida mesmo em dias nublados ou com pouco vento, e reduzindo, ou desligando, grande parte dessa capacidade quando a produção eólica e solar é maior. Outras estratégias de mitigação incluem a construção de mais linhas de transmissão e instalações de armazenamento em baterias ou em

Área ocupada e materiais utilizados por fonte de energia. O tamanho da bolhas representa a quantidade de minerais críticos usados por cada uma das fonte de energia e a escala de cores a quantidade de CO₂ produzido expressa em g CO₂ / kWh. Este gráfico condensa a informação apresentada anteriormente excepto para os materiais utilizados onde foram usados os valores apresentados pela Glex [9] e as referências aí apresentadas, excluindo a quantidade de cobre e silício. A energia nuclear é superior a outras fontes de baixo carbono em requisitos materiais e espaciais.



albufeiras de barragens usando a electricidade excedente para bombear a água de volta.

Cada uma dessas estratégias de mitigação, no entanto, é um factor importante de custo para todo o sistema eléctrico. E quanto mais energias renováveis houver no sistema, mais estes custos serão proeminentes [7]. Os custos associados a manter um balanço entre a procura e a oferta de electricidade, o sobredimensionamento da potência instalada e a necessidade de reduzir a produção quando há excesso aumentam drasticamente porque a quantidade de energia eólico, solar e de armazenamento em baterias deve ser sobredimensionada para levar em conta a intermitência da energia eólica e solar. A OCDE sumariou este efeito no seu relatório em 2018 “The full costs of electricity provision” [33]: *“Quando as renováveis aumentam o custo do sistema total, ... , elas impõem tais externalidades técnicas ou*

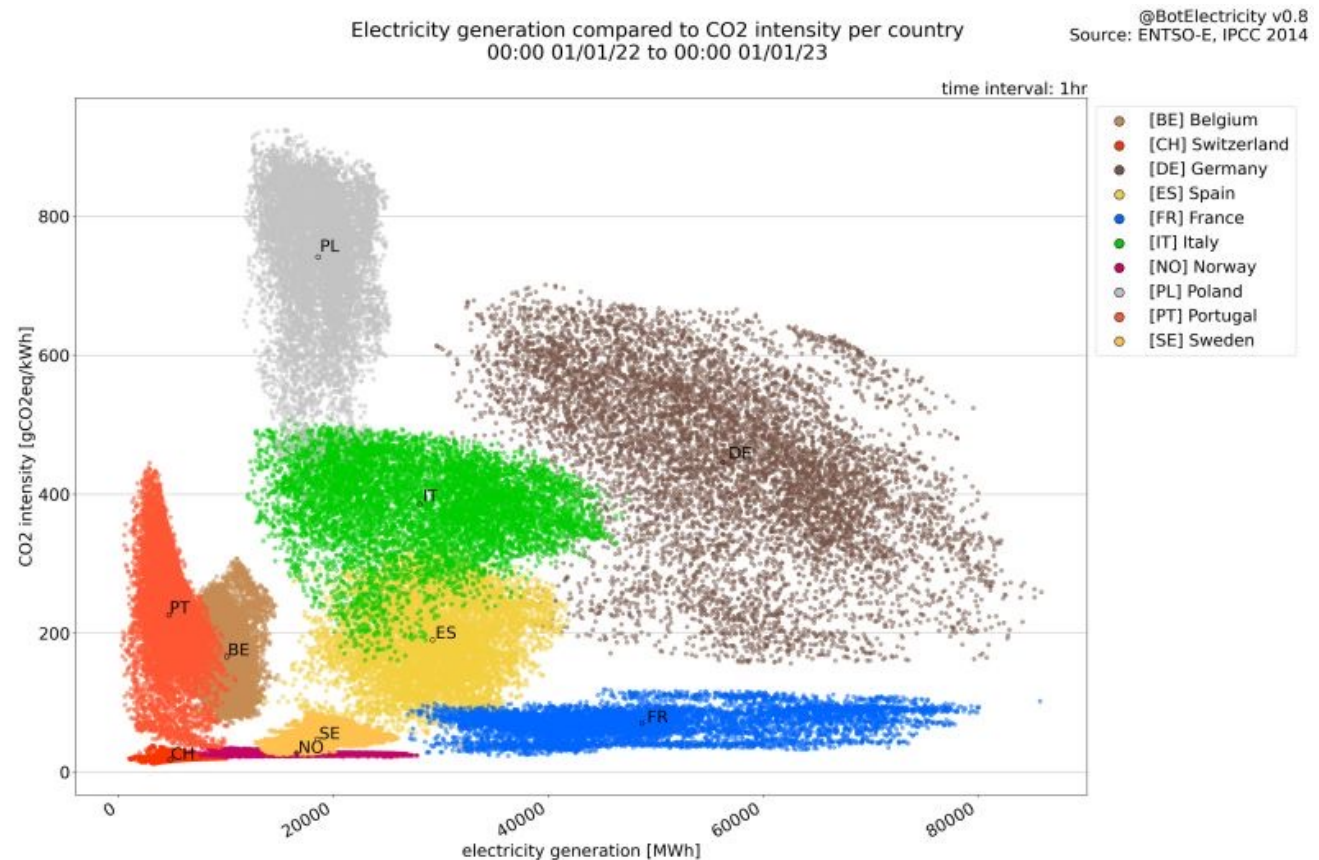
custos sociais por meio do aumento dos custos de balanceamento, redes de transporte e distribuição mais caras e a necessidade de sistemas residuais mais caros para fornecer segurança de oferta 24 horas por dia” .

A energia nuclear é também superior às outras fontes de baixo carbono em requisitos materiais, comuns e críticos, área ocupada e baixa produção de CO₂ /kWh (o relatório da Glex “Global Energy footprint “ tem dados interessantes a este respeito [8]. Informação adicional poderá ser encontrada nos artigos [9]-[18]). Em contrapartida a energia eólica e solar exibem desafios de sustentabilidade da estão relacionados à baixa densidade energética dos fluxos de energia que colectam e à sua natureza variável. A baixa densidade de energia resulta em altos requisitos de material e área de terra e na necessidade de extrair grandes volumes de matérias-primas potencialmente escassas,

como telúrio e índio para energia solar fotovoltaica e terras raras para turbinas eólicas. A produção variável dessas fontes significa que, para fornecer um serviço confiável, o sistema como um todo precisa de alguma combinação de i) grandes sistemas de armazenamento de energia, ii) capacidade de geração e transmissão “superdimensionada” ou iii) aceitação de nível reduzido de serviço. Os dois primeiros aumentam ainda mais os requisitos de material e área de terra para fornecer o serviço de energia [80].

O nuclear não faz falta porque países com maior penetração de renováveis têm uma intensidade de carbono baixa

O gráfico abaixo mostra precisamente o contrário. Este gráfico representa a geração horária de eletricidade versus Intensidade de carbono para o ano de 2022. É possível observar que países com alta penetração de energia renovável como é o caso da Alemanha não têm uma intensidade de carbono baixa, tendo esta uma elevada variabilidade o que significa que a confiabilidade é baixa, exercendo uma carga pesada sobre a rede, mas também falham em reduzir as emissões em comparação com a francesa com baixa penetração de energia renovável, cujo perfil é mais consistente, o que significa que a rede é mais confiável e com intensidade de carbono mais baixa.



Distribuição da produção de electricidade e emissões de CO₂ ao longo do ano de 2022 para vários países Europeus

O nuclear é inflexível e incapaz de adaptar a produção ao consumo

Desde os anos 80, a produção das centrais nucleares é sempre flexível, de modo a que a produção de eletricidade possa ser constantemente ajustada ao consumo, que varia muito em função da hora do dia e da noite. Nos últimos anos, com o desenvolvimento das energias renováveis intermitentes, por exemplo, em França, a EDF* reforçou ainda mais a flexibilidade de funcionamento dos seus reactores. Esta flexibilidade é ainda mais importante nos períodos de menor consumo, ou quando há muito sol ou vento.

Nos últimos dez anos, o desenvolvimento das energias renováveis variáveis (que não podem ser controladas, mas que têm

prioridade na rede eléctrica) aumentou a necessidade de flexibilidade da energia nuclear. A energia solar fotovoltaica, a energia eólica, a biomassa, a energia geotérmica e a energia marinha são energias renováveis em plena expansão, bem como a energia hidroelétrica. Estas energias complementam a "base" da energia nuclear. Como a eletricidade não pode ser armazenada, a energia nuclear adapta a sua produção quando as energias renováveis estão disponíveis.

A experiência das centrais nucleares francesas exploradas pela EDF (Electricité de France), mostra que o funcionamento flexível dos reactores nucleares é possível e tem sido aplicado em França pelos 58 reactores da EDF há mais de 30 anos, sem quaisquer impactos perceptíveis ou incontroláveis: sem

efeitos na segurança ou no ambiente e sem custos de manutenção adicionais perceptíveis, com um fator de carga adicional de capacidade não planeada estimado em apenas 0,5%** . Os reactores nucleares da EDF têm a capacidade de variar a sua produção entre 20% e 100% em 30 minutos, duas vezes por dia, quando funcionam em modo de seguimento de carga. O funcionamento flexível exige uma conceção sólida da central (margens de segurança, equipamento auxiliar) e competências adequadas por parte dos operadores, tendo sido introduzidas alterações na conceção inicial da Westinghouse para permitir o funcionamento flexível (por exemplo, utilização de barras de controlo "cinzentas" para variar a potência térmica do núcleo do reator mais rapidamente do que com as barras de controlo "pretas" convencionais). As capacidades nominais das actuais centrais eléctricas são suficientes, seguras e adequadas para equilibrar a produção em

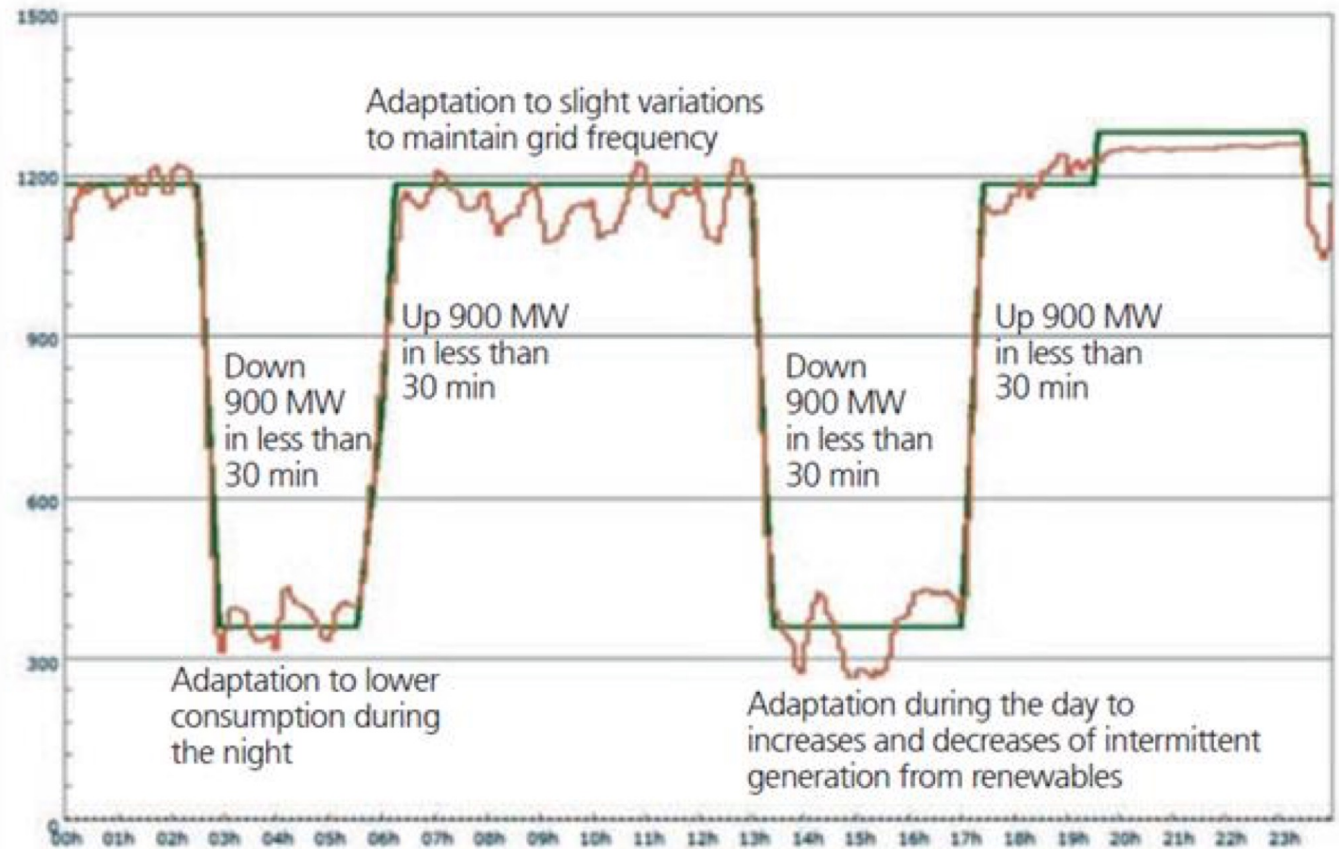
* <https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-de-civaux/les-actualites-de-la-centrale-nucleaire-de-civaux/la-flexibilite-de-la-production-nucleaire-un-atout-au-benefice-dune-electricite-bas-carbone>

** Patrick Morilhat, Stéphane Feutry, Christelle Le Maitre, Jean Melaine Favennec. Nuclear Power Plant flexibility at EDF. 2019. hal-01977209, <https://hal-edf.archives-ouvertes.fr/hal-01977209/document>

relação à procura e permitir a introdução de energias renováveis de forma intermitente, sem quaisquer emissões adicionais de CO₂. Trata-se de uma demonstração clara da plena complementaridade entre a energia nuclear e as energias renováveis.

30 min. é o tempo necessário para os reactores nucleares variarem a sua potência até 80%, para cima ou para baixo, até duas vezes por dia.

Energia produzida por um reator de central (capacidade de 1300 MW) durante um período de 24 horas em setembro de 2015, em resposta a variações na procura de eletricidade e na oferta de energias renováveis intermitentes locais (créditos: Patrick Morilhat et al. Nuclear Power Plant flexibility at EDF. 2019. hal-01977209)



Acerca do custo do nuclear e dependência geopolítica

O LCOE das renováveis é mais baixo

O “custo nivelado da eletricidade” (LCOE) é uma métrica de custo unitário, que aloca o custo de capital à produção de eletricidade ao longo da vida útil da central. Abrange ainda os custos fixos e variáveis de operação e manutenção, incluindo o custo do combustível. Exceptuando o caso da energia nuclear a gestão dos resíduos e o desmantelamento não são incluídos para as restantes energias (esta diferença assenta na premissa que no nuclear estes custos são elevados e assume-se que nas restantes tecnologias é irrelevante. O que é um erro! Basta ver a discussão acerca do impacto que poderá o desmantelamento das centrais solares e eólicas no seu fim de vida e se a sua reciclagem será ou não rentável [70]). No entanto, o LCOE não inclui custos de rede ou outros custos externos. O LCOE depende

muito se o desenvolvedor do projeto seria responsável pela conexão à rede e os custos a serem alocados aos custos de investimento do projeto, como no Reino Unido, ou se o Operador do Sistema de Transmissão seria responsável e os custos podem ser excluídos dos custos do projeto. O LCOE é a métrica mais comum para comparar a competitividade das tecnologias de geração de energia, mas não leva em consideração o valor que cada tecnologia pode fornecer ao sistema elétrico geral ao garantir flexibilidade, segurança de fornecimento e confiabilidade. Os limites de confiar apenas na metodologia LCOE tornaram-se óbvios com o advento de energias renováveis variáveis, como eólica e solar fotovoltaica. A variabilidade da energia eólica e solar fotovoltaica força os analistas, planeadores, reguladores e formuladores de políticas a adotar uma perspectiva de sistema. Não importa quanta capacidade solar fotovoltaica esteja instalada, alguma capacidade despachável será necessária

para atender à procura de eletricidade sobretudo à noite. Essa capacidade despachável, no entanto, funcionará com fatores de carga mais baixos e, portanto, custos médios por unidade de saída mais altos do que de outra forma, aumentando os custos do sistema como um todo. Para traçar o perfil dos custos, de longe o maior componente dos custos do sistema elétrico, também devem ser adicionados custos de balanceamento, decorrentes da incerteza e não da variabilidade da geração de eletricidade, custos da rede na forma de despesas adicionais para transporte e distribuição, que podem ser significativos para energias renováveis descentralizadas e custos de conexão, para conectar uma central ao ponto mais próximo da rede de transmissão.

TSC (Total System Cost) [34] ou FCOE (Full Costs of Electricity) [35] são métricas mais apropriadas para decisores políticos que

precisam de perceber o efeito que, alterações ao mix energético produzem sobre aqueles que pagam pelo sistema de energia, seja diretamente, pelo consumidor na sua fatura ou indiretamente, pelo contribuinte através de subsídios. O uso de metodologias TSC ou FCOE explica por que a energia eólica e solar não são mais baratas que os combustíveis convencionais e de facto, tornam-se mais caros quanto maior for sua penetração no sistema energético. A IEA confirma que “...o valor do sistema de renováveis variáveis, como eólica e solar, diminui à medida que sua participação no fornecimento de energia aumenta” [36]. A substituição de uma tecnologia por outra diferente e os efeitos que essa nova tecnologia tem nas que já lá estavam não tem sido tida em consideração, invalidando qualquer análise justa e séria, e favorecendo sempre as tecnologias com baixo LCOE, mas que poderá não ser a solução que melhor defende o consumidor e contribuinte.

O nuclear é caro

Estudos recentes para a Suíça [19 e Países Baixos [20-21] mostram que a combinação de geração de energias renováveis e carga de base nuclear tem custos de sistema consistentemente mais baixos do que cenários baseados exclusivamente em renováveis. Enquanto investimentos em novas fontes de produção de electricidade não forem comparados à luz dos TSC (Total System Cost) [34] ou FCOE (Full System Costs [35]) não deixará de haver vozes a clamar os elevados custos do nuclear.

A construção duma central nuclear é sempre mais cara que o previsto (variantes conhecidas: veja-se o exemplo de Olkiluoto3 e Flamanville)

O contra-exemplo é a construção pela Coreia do Sul de 4 reactores nos Emirados Árabes Unidos com uma variação reduzida no custo face à estimativa inicial e dentro do prazo previsto.

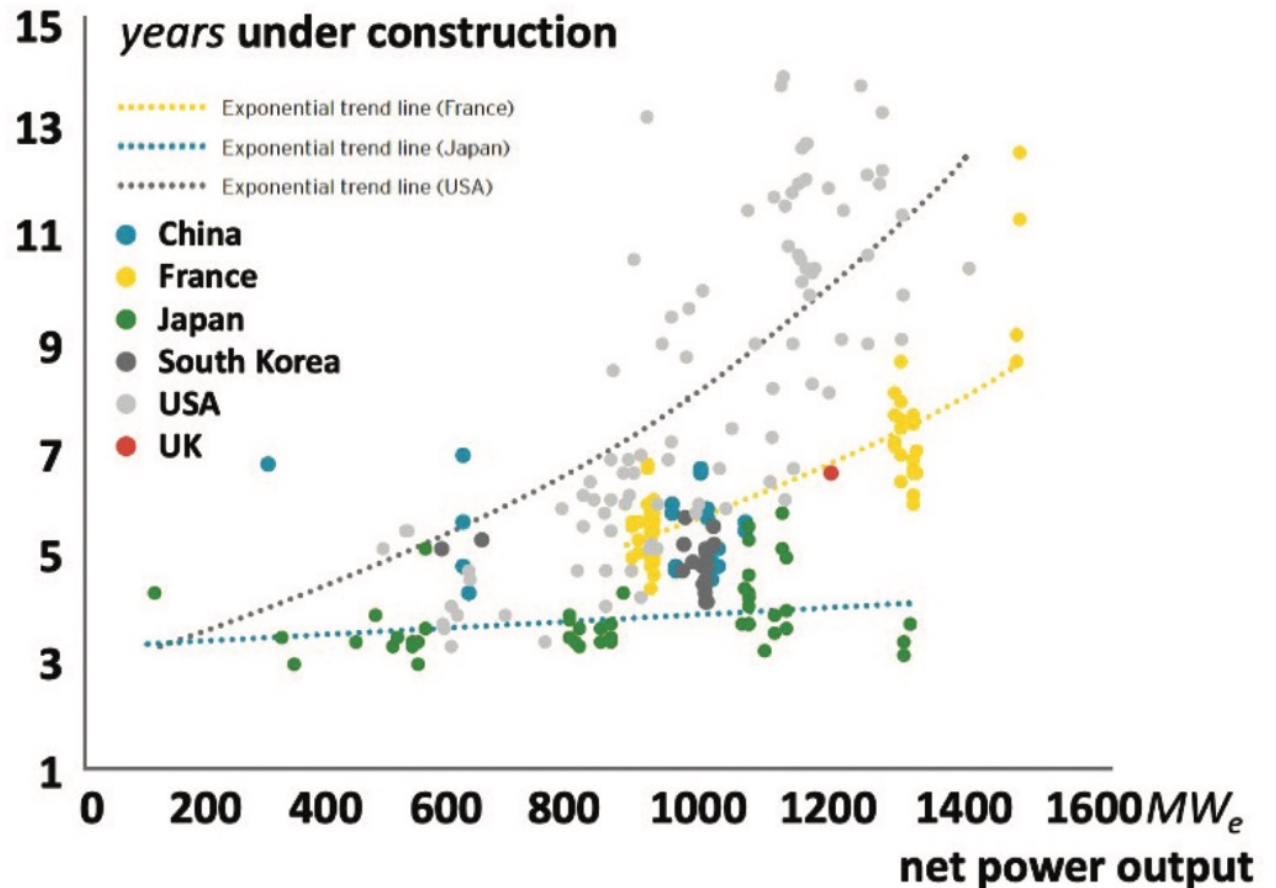
É preciso formar e/ou treinar recursos humanos. Estes recursos humanos deverão adquirir conhecimento no projecto, construção e operação de centrais nucleares e deverão apoiar a construção que deverá fazer uso de práticas comprovadas de gestão de projetos e construção.

“Foco no uso de práticas comprovadas de gestão de projetos e construção para aumentar a probabilidade de sucesso na

execução e entrega de novas centrais nucleares” — Iniciativa de Energia do MIT, 2018 [22].

Desde a concepção até o desenvolvimento, desde o financiamento até a entrega do projeto até o comissionamento e durante a operação até o encerramento, grandes projetos de engenharia devem seguir a disciplina da estrutura do ciclo de vida do projeto. Projetos nucleares de custo elevado podem consumir três ou mais vezes o capital de projetos similares de baixo custo. O estudo do Reino Unido em 2019-20 sobre energia nuclear descobriu que um “*número relativamente pequeno de factores compreensíveis impulsiona o custo das centrais nucleares*” [23].

Uma comparação interessante de vários factores que influenciam os custos de construção de centrais nucleares foi efectuada em várias das referências citadas.



Tempo de construção dos reactores nucleares em função da potência e do local de construção [23]

Diferenças entres aspectos relacionados com a construção de centrais nucleares com baixos custos e as centrais com custo elevado

Centrais com baixo custo*

- Projeto completo antes do início da construção
- Projeto NOAK em vez de FOAK
- Alto grau de reutilização do projeto para construção duma frota
- Recrutar gestores com Experiência em gestão de obras e nomeação de um único gestor principal do contrato com experiência comprovada na gestão de vários subcontratados independentes
- Inclusão de fabricantes e construtores na equipe de projeto para garantir que os componentes possam ser fabricados e as estruturas possam ser construídas de acordo com os padrões relevantes
- Estabelecimento de uma estrutura de contratação na qual todos os empreiteiros (e subempreiteiros) tenham interesse no sucesso do projeto
- Adoção de processos administrativos contratuais que permitam ajustes rápidos e não contenciosos a mudanças imprevistas nos requisitos ou no desempenho do subcontratado
- Mão de obra de baixo custo e alta produtividade
- Contratar um consórcio EPC experiente
- Aquisições efectuadas por uma cadeia de fornecimento experiente
- Planeamento detalhado da construção antes do início construção
- Localizar várias unidades num único local
- foco na redução de custos e melhor desempenho
- Operação num ambiente regulamentar flexível que pode acomodar pequenas mudanças imprevistas no projeto e construção em tempo oportuno.

Centrais com custo elevado*

- Projeto FOAK
- Falta de projeto completo antes da construção iniciado
- Principais intervenções regulatórias durante a construção
- Atrasos e retrabalho significativo necessário devido à cadeia de fornecimento insuficiente ou ausente
- Longo cronograma de construção
- Taxas de trabalho relativamente mais altas e produtividade
- Supervisão insuficiente pelo proprietário
- Contencioso entre os participantes do projeto

*Nota: Os dados acima referem-se apenas ao custo de construção e financiamento duma NPP

Como esperado, o First-Of-A-Kind (FOAK) e o Nth-Of-A-Kind (NOAK) são os principais impulsionadores, incluindo o nível associado de desenvolvimento do projeto e similares. Redutores importantes de custos são a estabilidade regulamentar, a experiência na cadeia de suprimentos, bem como a forte supervisão do proprietário/operador. Como esperado, alto ou baixo custo de mão de obra (uma grande vantagem para a China), bem como litígios (por exemplo, vários litígios entre muitos participantes em Olkiluoto 3) são geradores de custos muito significativos.

O nuclear tem custos escondidos

Quando não há argumentos há custos escondidos. Regra geral esta afirmação refere-se aos custos de desmantelamento e armazenagem de resíduos, mas estes custos estão contemplados no custo da construção e na factura pagam pelos consumidores. Mas falando de custos escondidos talvez devamos discutir também os custos escondidos das energias renováveis. A variabilidade da energia eólica e solar fotovoltaica força os analistas, planeadores, reguladores e formuladores de políticas a adoptar uma perspectiva de sistema. Não importa quanta capacidade solar fotovoltaica esteja instalada, alguma capacidade despachável será necessária para atender à procura de electricidade, sobretudo à noite. Essa capacidade despachável, no entanto, funcionará com fatores de carga mais baixos e, portanto, custos médios por unidade de saída mais altos do que de outra forma,

aumentando os custos do sistema como um todo. Para traçar o perfil dos custos, de longe o maior componente dos custos do sistema elétrico, também devem ser adicionados custos de balanceamento, decorrentes da incerteza e não da variabilidade da geração de electricidade, custos da rede na forma de despesas adicionais para transporte e distribuição, que podem ser significativos para energias renováveis descentralizadas e custos de conexão, para conectar uma central ao ponto mais próximo da rede de transmissão. TSC (Total System Cost) é a métrica mais apropriada para decisores políticos que precisam de perceber o efeito que, alterações ao mix energético produzem sobre aqueles que pagam pelo sistema de energia, seja directamente, pelo consumidor na sua fatura ou indirectamente, pelo contribuinte através de subsídios.

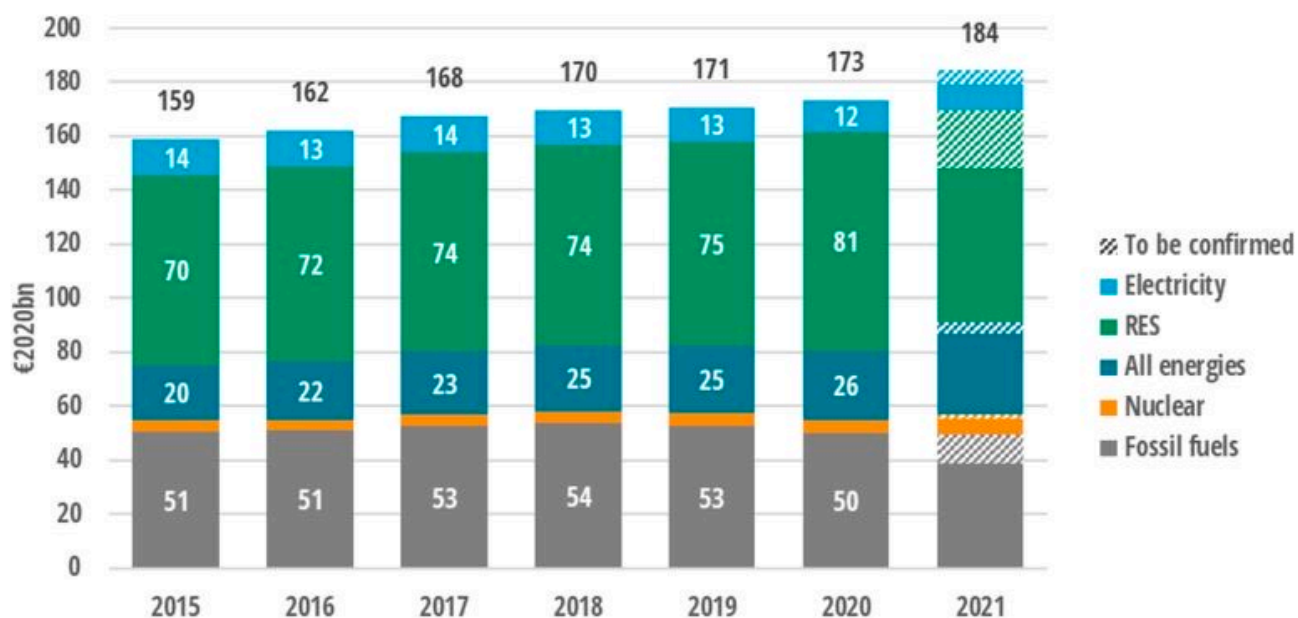
A energia nuclear é, e sempre foi, substancialmente mais subsidiado - directa e indirectamente - do que outras fontes de energia?

Spoiler: Não é verdade. Na EU 27 as energias renováveis receberam 22 vezes mais subsídios por energia produzida do que a energia nuclear no período 2008-2021

A Comissão tem publicado regularmente o relatório "Study on energy subsidies and other government interventions in the European Union"* , que aborda esta questão e apresenta uma visão completamente diferente do assunto. O montante global dos subsídios à energia na UE27, 159 mil milhões de euros em 2015, tem vindo a

* <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/34a55767-55a1-11ed-92ed-01aa75ed71a1>

Figure 4: Subsidies by main energy carriers in the EU27 (2015-2021; €2021bn)

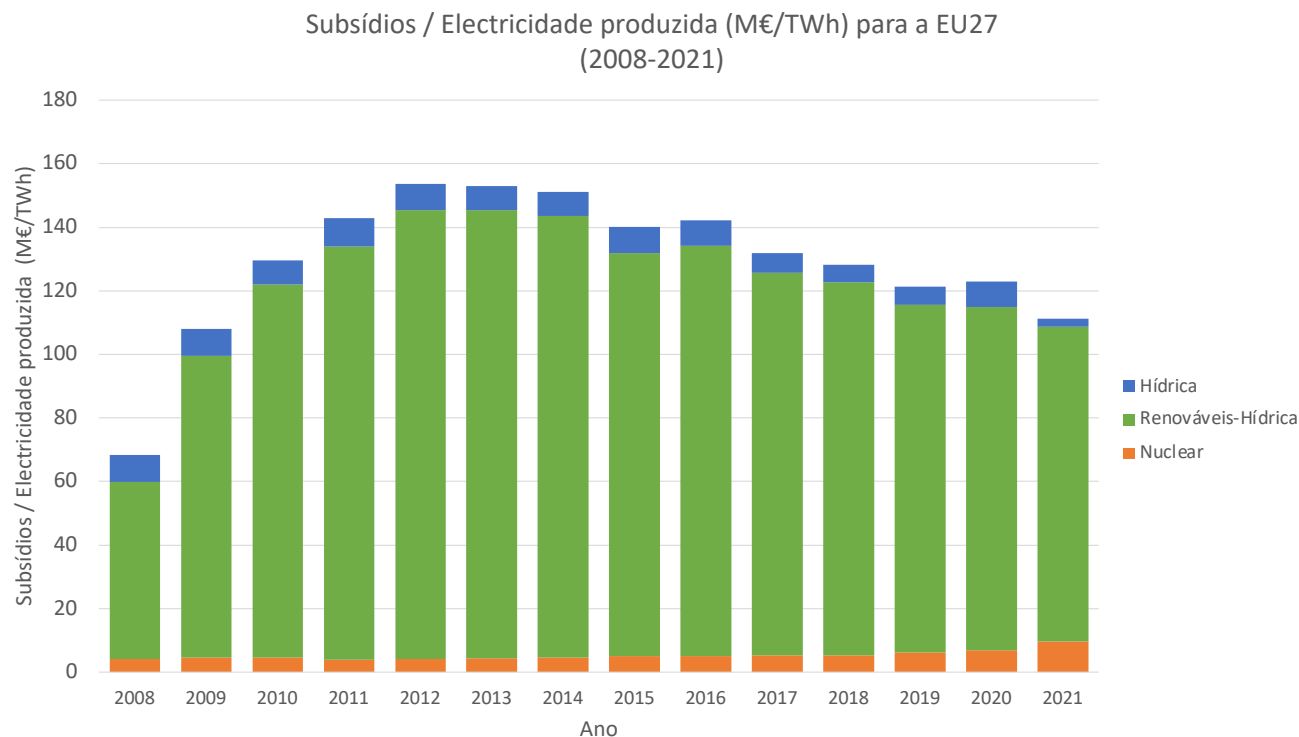


Authors' elaboration based on data from Enerdata, Trinomics and country experts

O gráfico mostra a distribuição dos subsídios pelas diferentes fontes de energia desde 2008 (este gráfico corresponde à figura 4 da edição de 2022 do relatório*).

crescer de forma constante (1,8% CAGR) desde então, atingindo 173 mil milhões de euros em 2020. Em junho de 2022, estima-se que cerca de 76 mil milhões de euros em subsídios foram pagos na UE27 em 2021 e 2022 para fazer face ao aumento dos preços da energia. Prevê-se que este valor aumente apenas parcialmente o montante global dos subsídios em 2022, uma vez que é provável que se sobreponha às medidas existentes aplicadas antes desse ano. O gráfico anterior mostra a distribuição dos subsídios pelas diferentes fontes de energia desde 2008. Uma comparação mais interessante ainda resulta da normalização deste valor em função dos TWh produzidos por fonte de energia.

O gráfico seguinte foi calculado com os dados do relatório (os dados para 2008-2014 foram retirados da versão anterior deste relatório) e mostra a distribuição dos subsídios pelas diferentes fontes de energia



Distribuição dos subsídios pelas diferentes fontes de energia desde 2008, normalizados para os TWh produzidos por fonte de energia, utilizando os dados de produção de electricidade do Eurostat

desde 2008, normalizados para os TWh produzidos por fonte de energia, utilizando os dados de produção de electricidade do Eurostat*. Os dados de produção incluem as energias renováveis e os biocombustíveis e separam a energia hidroelétrica porque, de acordo com o relatório, os subsídios à energia hidroelétrica são reduzidos e esta tem uma grande contribuição para a produção (nota: os relatórios não têm dados explícitos para a energia hidroelétrica para o período 2008-2014, pelo que assumi um valor igual a 2015 - 3 mil milhões de euros para evitar sobrestimar os subsídios às energias renováveis).

Para 2020 os subsídios às renováveis (excl. hídrica) foram de 108,0 M€/TWh e 6,8 M€/TWh à nuclear (10,8c€/kWh e 0,68 c€/kWh respetivamente). O montante total

dos subsídios concedidos desde 2008 foi de 795 000 milhões de euros para as energias renováveis (excluindo a hidroelétrica) e de 57400 milhões de euros para a nuclear. Isto equivale a 5,17 milhões de euros/TWh produzidos desde 2008 para o nuclear e 117,06 milhões de euros/TWh para as energias renováveis (excluindo a hidroelétrica).

Na U27 as energias renováveis receberam 22 vezes mais subsídios por energia produzida do que a nuclear no período 2008-2021.

O relatório contém muitos mais pormenores e considerações que devem ser lidos com atenção e aborda outras questões

importantes, como os subsídios para promover a eficiência.

Apesar destes valores são frequentemente levantadas questões sobre os subsídios ao nuclear desde os anos 50 (e como era suposto serem maiores em comparação com as energias renováveis). Embora não tenha conseguido encontrar (ainda) a informação relativa à Europa, encontrei informação interessante sobre os EUA. O gráfico seguinte que abrange 1950-2016, foi retirado do documento.” Two Thirds of a Century and \$1 Trillion+ U.S. Energy Incentives, Analysis of Federal Expenditures for Energy Development, 1950-2016” **. A predominância dos incentivos ao petróleo é evidente. O gráfico mostra também que as energias renováveis foram os segundos maiores beneficiários dos incentivos federais e que o gás natural foi o terceiro maior beneficiário. Utilizando uma definição mais alargada de energias renováveis para incluir

* [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity and heat statistics#Production of electricity](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics#Production_of_electricity)

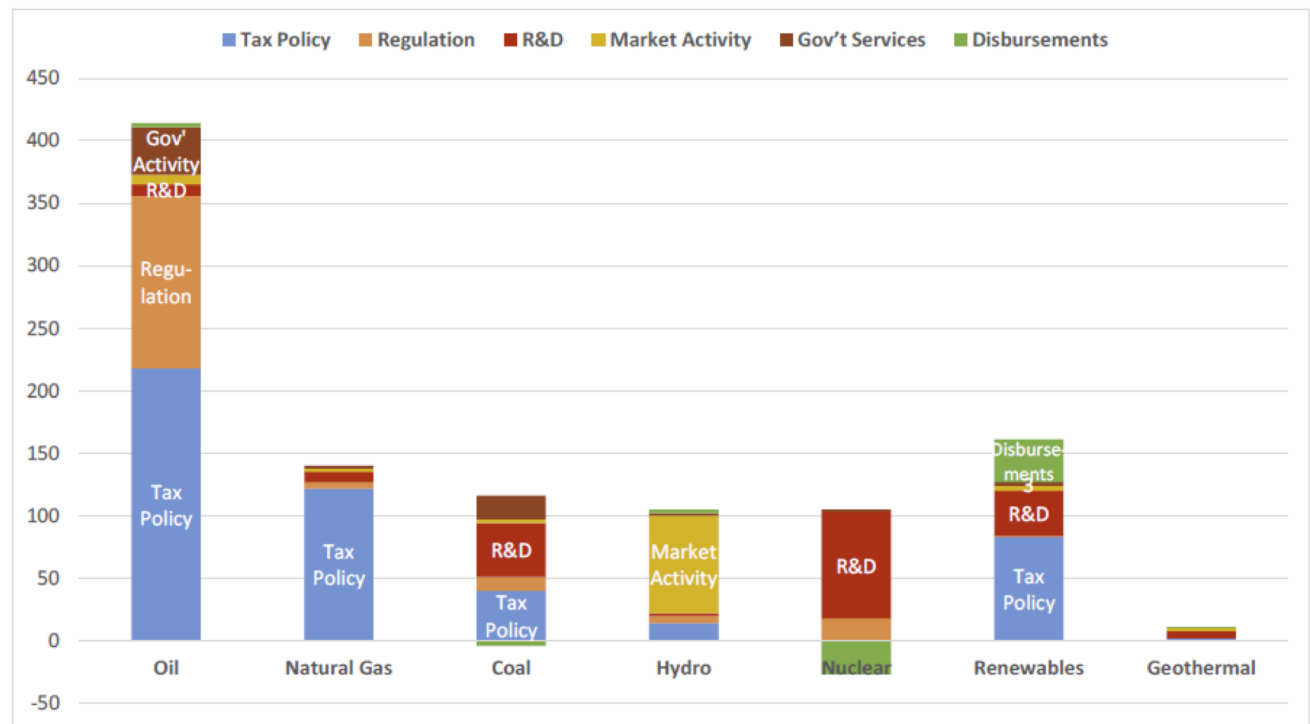
** <https://misi-net.com/publications/EnergyIncentives-0517.pdf>

também a energia hidroelétrica e a geotérmica, verifica-se que, segundo esta definição, as energias renováveis receberam 27% de todos os incentivos federais à energia.

Para 2016-2022, os quadros do documento “Federal Energy Interventions and Subsidies 2023, Appedix A” * contêm a informação de onde se pode retirar que em “Quantified energy-specific subsidies and support” 2% foi para a energia nuclear e 46% para as energias renováveis. Esta página**, de onde retirei o relatório anterior, tem mais relatórios para períodos anteriores, de modo a que a informação possa ser comparada.

Para mais informações sobre subsídios, a página da Associação Nuclear Mundial também contém boas informações***.

**Exhibit 3 – Comparison of Federal Expenditures for Energy Development, 1950–2016
(Billions of 2015 Dollars)**



Comparação dos gastos federais do EUA para desenvolvimento das diferentes formas Energia no período 1950-2016

* <https://www.eia.gov/analysis/requests/subsidy/pdf/subsidy.pdf#page=22>

** <https://www.eia.gov/analysis/requests/subsidy/>

*** <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-subsidies.aspx>

O desmantelamento de Sellafield no Reino Unido mostra que o custo do desmantelamento é exorbitante

O uso pelos detractores do nuclear deste artigo do Guardian* é um excelente exemplo de "cherry-picking" para tentar demonstrar que o nuclear não é uma opção. O que os usuários deste argumento tendem a esquecer é que o principal objectivo de Sellafield, construído nos anos 50 do século XX, foi a produção de Plutónio para armas nucleares, tendo estado na origem do arsenal nuclear britânico. A maioria das áreas fortemente poluídas são das instalações de desenvolvimento de armas nucleares, onde foram aplicadas medidas reduzidas de protecção radiológica nas décadas de 50 e 60.

* <https://www.theguardian.com/environment/2022/dec/15/dismantling-sellafield-epic-task-shutting-down-decommissioned-nuclear-site>

** <https://euratom-supply.ec.europa.eu/system/files/2022-12/Euratom%20Supply%20Agency%20-%20Annual%20report%202021%20-%20Corrected%20edition.pdf>

O custo de £121 biliões representa o custo de descomissionamento de uma infraestruturas de reprocessamento, cuja finalidade era principalmente militar não sendo portanto uma comparação relevante para um programa nuclear civil moderno.

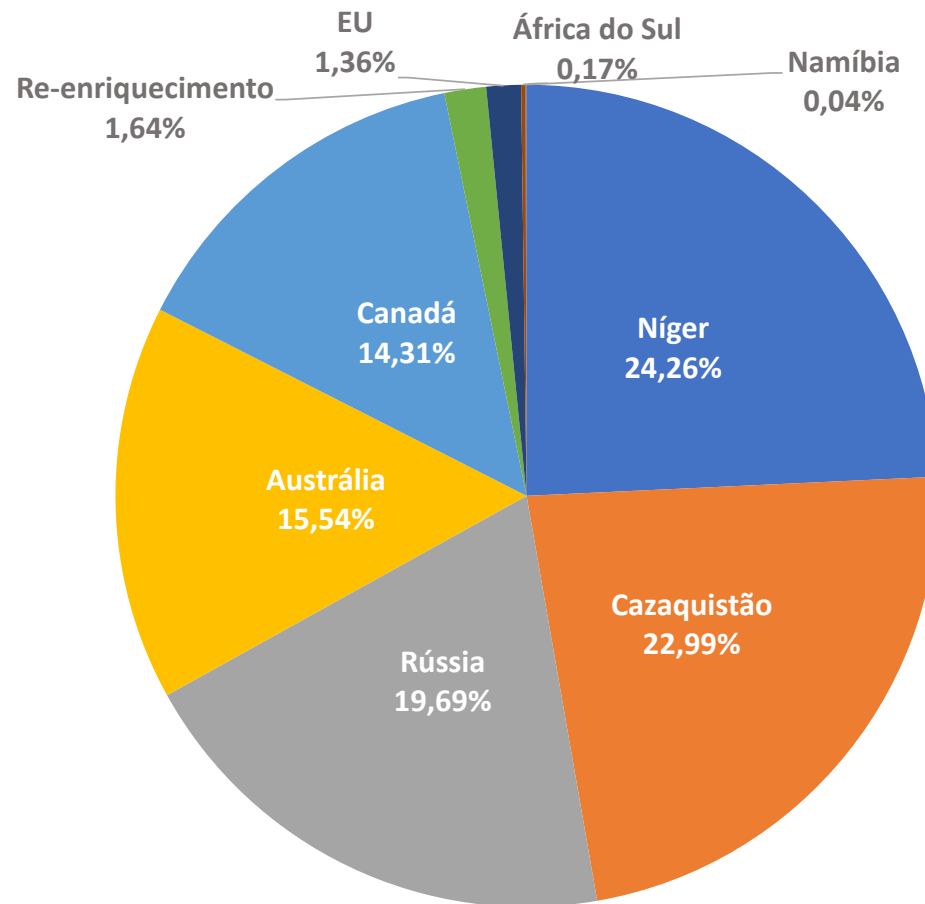
O uso da energia nuclear assenta numa forte dependência da Rússia para fornecimento de combustível (variantes conhecidas: A UE ainda não estendeu as sanções à Rússia para cobrir a energia nuclear, porque a Rosatom é globalmente dominante)

Vários artigos têm afirmado que a EU depende da Rússia para 40% de seu urânio. Não é o caso do urânio natural (20%), conversão (25%) ou enriquecimento (31%) de acordo com o relatório da EURATOM (pág. 20-25)**. Os artigos referem-se a 40% e 40% combinando o fornecimento Cazaquistão e da Rússia. No entanto, o Cazaquistão é um país independente não sendo considerado do ponto de vista geopolítico como "controlado pela Rússia",

É necessário também salientar que a capacidade de enriquecimento da UE excede sua própria procura. O comércio anterior com

a Rússia obedece mais aos princípios de eficiência económica do que a uma dependência da Rússia para fornecimento de combustível nuclear.

A Europa poderá reduzir com relativa facilidade a sua dependência da energia nuclear russa. Globalmente a Rosatom ainda é um peso pesado num mundo em descarbonização. Especialmente no mundo em desenvolvimento, que deseja aumentar o acesso à energia. No entanto, A UE e os EUA poderão apresentar um contrapeso aumentando substancialmente suas capacidades da indústria nuclear para fornecer essas cadeias de alternativas alternativas. Empresas como a URANO e URENCO já anunciaram em 2022 projectos para aumentar a sua capacidade de produção de Urânio enriquecido.



Origem do Urânio entregue nas infraestruturas nucleares Europeias em 2021

O preço da energia nuclear cria uma dependência dos fornecedores, por exemplo o Cazaquistão, Austrália e Canadá, e dos preços que estes quiserem cobrar pelo combustível.

A dependência de fornecedores pode acontecer para todos os produtos em que um país não controla uma parte da extração dos materiais ou uma parte da cadeia de fabrico! No entanto, o OPEX das centrais nucleares é menos afetado por variações no preço do combustível. A OCDE-NEA* calculou que o LCOE das centrais nucleares é apenas ligeiramente afetado por uma variação de 50% nos custos do combustível (em qualquer direção) devido ao seu elevado

rácio de custos fixos/variáveis. Comparativamente, a economia das centrais a gás natural (CCGT) e a carvão é mais sensível às variações do custo do combustível, com LCOEs a variar cerca de 7% e 4%, respetivamente, por cada variação de 10% do preço do combustível.

A preocupação de diversificação de fontes está presente em várias medidas que estão a ser tomadas, tanto que os EUA têm no IRA uma parte das ajudas para eliminar a dependência na Rosatom. O que se verificou até ao início da Guerra na Ucrânia foi a compra de combustível à Rússia porque o preço era competitivo. No entanto, existem várias empresas que fabricam o combustível nas suas diversas fases**.

No caso da França, a ORANO reporta que

tem reservas estratégicas suficientes para entre 3 a 5 anos entre reservas em França e nos locais onde exploram o material, incluindo o Cazaquistão. No entanto, o minério é propriedade da empresa, e portanto, as autoridades locais impedirem a saída do material seria quebra de contrato. Há também minas de Urânio paradas no Canadá que havendo um aumento de custo do Urânio que torne a exploração competitiva poderão reentrar em funcionamento.

Em comparação, reservas estratégicas de gás natural ou petróleo não duram um mês, seja a Strategic Petroleum Reserve dos EUA, ou os nossos armazenamentos de gás natural (Terminal de Sines e Armazenamento Subterrâneo no Carriço). Por isso no final do ano passado houve preocupação com as reduções de produção de gás na Nigéria (também por o gás natural ser a nossa única potência firme além de importações depois do fecho das centrais a carvão).

* <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

** <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>

Acerca da fiabilidade das centrais nucleares

Em 2022 várias centrais francesas foram paradas em simultâneo demonstrando que o nuclear não é fiável

Quando se trata de segurança não podem existir atalhos. Por não poderem existir atalhos é que, em maio de 2022, a EDF parou vários reatores para manutenção e/ou inspecção. A produção nuclear estimada da frota de reatores da França para 2022 reduziu-se para 280-300 TWh, bem abaixo da média de dez anos de 395 TWh. A 27 de novembro de 2022, a produção de electricidade estava 28% abaixo da média dos últimos 5 anos, em resultado de um total de 24 reatores estarem desligados, 9 dos quais em reparação ou a sofrer investigações relacionadas com problemas de corrosão que

foram detectados pela primeira vez em Civaux 1 em dezembro de 2021.

Desde maio que os detractores do nuclear apontam esta infeliz coincidência de eventos, como um problema sistémico dos reatores nucleares negando a verdade dos factos. A paragem temporária das centrais francesas foi uma situação infeliz dada a crise energética causa pela Guerra na Ucrânia e o embargo ao gás russo, e que coincidiu com muitas interrupções planeadas que tinham sido adiadas ou tinham tido o seu âmbito reduzido em 2021 devido à pandemia de Covid-19*. Em particular, o que selectivamente ignoram é que na última década, a França exportou até 70 TWh de electricidade por ano (superior ao consumo anual previsto para Portugal em 2040 no cenário Ambição da DGEG) , chegando a 87

TWh em 2021. O que este número significa é que a França tem o equivalente a 8 reatores de 1 GW só para disponibilizar electricidade aos países vizinhos. E por esse motivo, no primeiro semestre de 2021, a França foi o maior exportador de electricidade da Europa, principalmente para o Reino Unido e a Itália.

Não se pode construir uma central nuclear sem que esteja presente uma cultura de segurança. A segurança nuclear é definida pela Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA) como "A obtenção de condições operacionais adequadas, prevenção de acidentes ou mitigação das consequências de acidentes, resultando na proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente contra riscos de radiação indevida". Encerrar uma central porque foi detectado um problema, e até que se saiba a extensão e consequência deste, não é um sintoma de insegurança nuclear ou falta de fiabilidade das centrais, mas sim da

* <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>

aplicação de boas práticas. Existindo esta cultura, as centrais nucleares são sempre seguras. Segurança também significa que, ao longo do ciclo de vida, todos os procedimentos estão bem definidos e são seguidos. Significa também que todo o pessoal tem de estar consciente da sua importância. Significa que não se pode fazer sem aprender e pensar, repensar e planejar todos os passos.

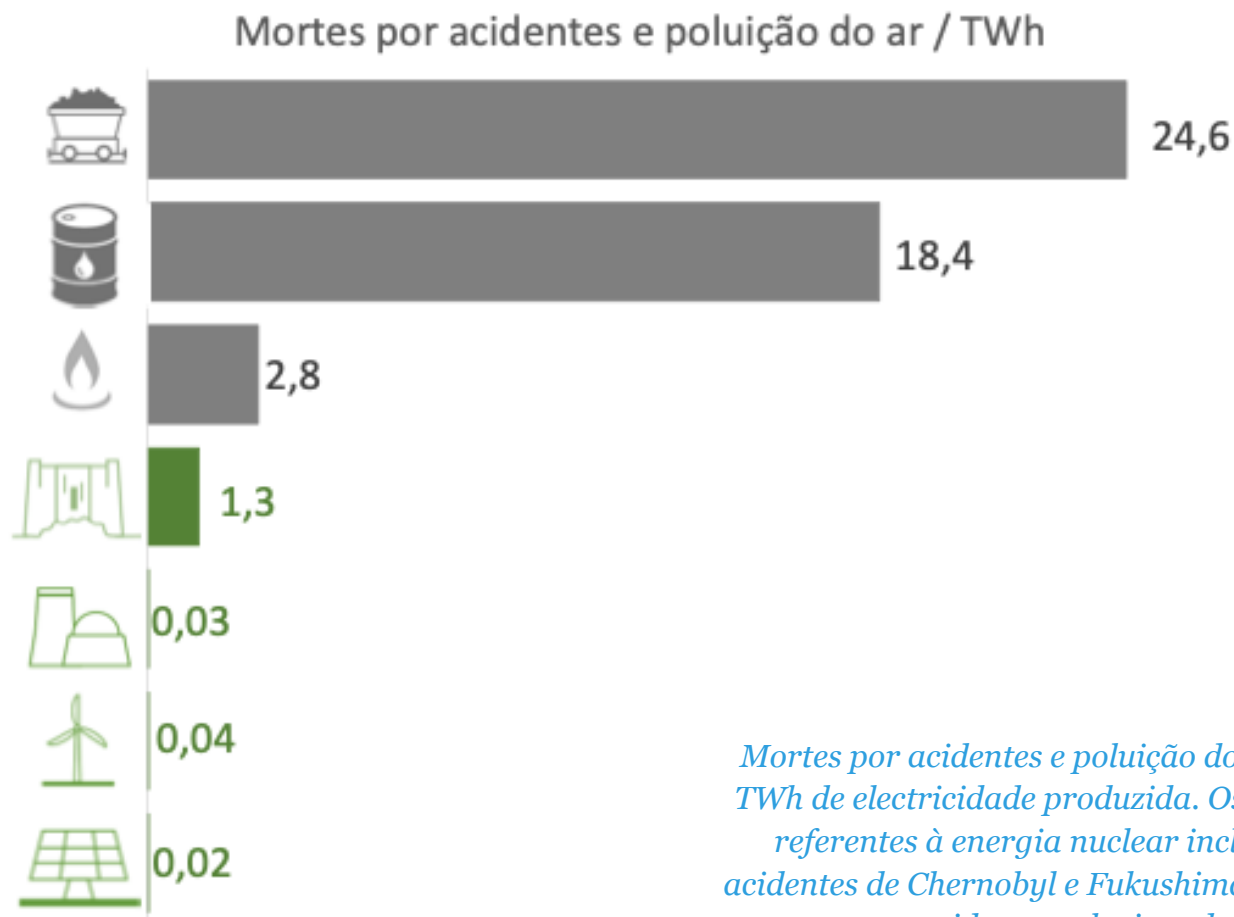
O problema não reside no facto de alguns países como a França, Finlândia e Suécia terem alguns reactores nucleares que por motivos de manutenção ou situações inesperadas têm de parar. O problema é haver uma política energética assente em fontes de energias que funcionam ao sabor dos elementos (alguém disse "Dunkelflaute"?) na esperança que o vizinho do lado cubra as suas necessidades. Porque quando o lençol energético comum encolhe alguém fica com os pés frios. As centrais

nucleares francesas neste momento davam jeito para "desenrascar" a Alemanha da sua surpreendente política energética. Mas com centrais nucleares o "desenrascanço" só poderá ter lugar se significar pensar fora da caixa para solucionar problemas e seguindo todos os trâmites de análise de risco e em coordenação com o regulador. Quando se trata de segurança nuclear não existem atalhos.

Acerca da segurança e risco radiológico

O nuclear é perigoso

O argumento de que a energia nuclear é insegura não pode derivar do número de mortes que causou, porque então nenhuma fonte de energia poderia ser considerada segura. Avaliações abrangentes do ciclo de vida mostram que a energia nuclear tem um dos menores impactos de qualquer fonte de energia [25], semelhantes às energias renováveis e muitas ordens de magnitude menores do que os combustíveis fósseis. Uma investigação do European Union Joint Research Centre “*não revelou nenhuma evidência científica de que a energia nuclear cause mais danos à saúde humana ou ao meio ambiente do que outras tecnologias de produção de eletricidade*”.



Mortes por acidentes e poluição do ar por TWh de electricidade produzida. Os dados referentes à energia nuclear incluem os acidentes de Chernobyl e Fukushima assim como acidentes relacionados com a operação das centrais, fabrico do combustível e prospeção mineira (Créditos: Hannah Ritchie e Max Roser [24])

A radiação libertada pela energia nuclear é perigosa

A percepção que temos da radiação pode ser a principal razão para o cepticismo público em relação à energia nuclear. Abaixo está uma lista de alguns exemplos. A palestra da Professora Gerry Thomas* do Imperial College London, inclui mais detalhes de interesse para combater a desinformação acerca do perigo da radiação .

* <https://www.youtube.com/watch?v=pOvHxX5wMa8>

Um incidente como o de Fukushima, provocará uma contaminação radioativa numa extensa área que demorará meio século a limpar, e os problemas oncológicos podem persistir por gerações

O desastre em Fukushima matou 574 pessoas. Em 2018, o governo japonês informou que um trabalhador morreu de cancro de pulmão como resultado da exposição ao evento (embora o facto da vítima ser fumador levantar dúvidas quanto à causa real). Ninguém morreu directamente do desastre de Fukushima. De acordo com as autoridades japonesas, 573 pessoas morreram devido ao impacto da evacuação e

stress. O estudo da UNSCEAR [26] realizado 10 anos após o acidente, concluiu que a radiação na área de Fukushima está ao nível da radiação de fundo e a incidência de cancro da tiróide, leucemia ou outras doenças não é diferente de outros locais no Japão.

O que aconteceu em Fukushima? [27]. Em 2011, o terramoto mais forte já registrado no Japão sacudiu o país por 6 minutos. Os reatores próximos ao terramoto, incluindo em Fukushima Daiichi, foram desligados conforme projectado. No entanto, devido a defesas marítimas insuficientes, os geradores de reserva da Central de Fukushima Daiichi, que deveriam bombear água de arrefecimento através do reactor, foram destruídos por ondas do tsunami de 15 metros. Como resultado, os núcleos das unidades 1-3 derreteram em grande parte nos 3 dias seguintes, e a acumulação de hidrogénio produzido pela reação do

revestimento de combustível quente com água resultou em várias explosões de hidrogénio nas unidades 1, 2 e 4, bem como como a libertação de material nuclear no ambiente circundante. Chernobyl libertou cerca de 10 vezes a radiação do que a que foi libertada após o acidente de Fukushima devido aos diferentes cenários de acidentes e mecanismos de libertações radioativas. Em Fukushima, não houve explosões dentro dos núcleos. Em vez disso, aquecimento progressivo, oxidação e fusão dos núcleos ocorreram durante um período de tempo muito mais longo. Os produtos radioactivos foram libertados do núcleo muito mais gradualmente, com parte do material radioativo confinado por estruturas de contenção que retiveram parcialmente a radioatividade. As doses de radiação a que o público em geral foi exposto durante e após o

acidente foram muito baixas. O Comité Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atómica concluiu em 2021* que “não foram observadas mortes ou doenças agudas relacionadas à radiação entre os trabalhadores e o público em geral expostos à radiação do acidente” e que “não é discernível um aumento perceptível de incidência de efeitos na saúde relacionados com a radiação entre membros expostos do público ou seus descendentes”. Um estudo separado da Organização Mundial da Saúde chegou a conclusões similares**. Não houve efeitos à saúde verificados fora do Japão. Apesar das conclusões dos relatórios do UNSCEAR e da OMS, o governo japonês reconheceu em 2018 uma ligação entre a morte de um antigo trabalhador da central com cancro do pulmão e a exposição à radiação.

O nuclear é um risco para os seres humanos (variantes conhecidas: o nuclear vai destruir toda a vida na terra; o nuclear vai destruir a humanidade)

A pergunta correcta a fazer é “Quantas vidas a energia nuclear salvou?”. A OMS estima que a poluição do ar ambiente é responsável por 4.2 milhões de mortes por ano em todo o mundo. No Pós Fukushima a Alemanha eliminou gradualmente a geração de energia nuclear e fechou 10 das suas 17 instalações nucleares e planeou fechar os reactores restantes em 2022. Essa decisão custou vidas. A maior parte do déficit de energia com desmantelamento de energia nuclear foi preenchido pelo aumento da produção de carvão. Estima-se que o furor anti-nuclear da Alemanha custou mais de 1100 mortes adicionais por ano como resultado da poluição do ar. O plano da Alemanha para tornar os seus sistemas de energia mais

* https://www.unscear.org/unscear/publications/2020_2021_2.html

** <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/health-consequences-of-fukushima-nuclear-accident>

seguros teve exactamente o resultado oposto.

Uma maneira simples de verificar qual a mais-valia dessas vidas salvas é usar o conceito custo social de carbono. O custo social de carbono é uma estimativa dos custos económicos, ou danos, da emissão de uma tonelada adicional de dióxido de carbono na atmosfera e, portanto, dos benefícios da redução das emissões. Investigadores americanos calcularam o custo social do carbono cujos principais componentes são o efeito no clima e como essas mudanças afetam a economia em resultado do aumento do nível do mar e declínio na saúde humana e na produtividade laboral. O estudo focado no caso da Alemanha concluiu que o abandono da energia nuclear resultou num custo anual de aproximadamente US\$ 12 mil milhões por ano. No mesmo estudo os custos estimados da eliminação da energia nuclear excedem

em muito as estimativas dos benefícios da desactivação do parque nuclear resultante das reduções no risco de acidentes nucleares e nos custos de descarte dos resíduos. Quantas pessoas mais teriam morrido mundialmente no período de 1971 a 2009 [27] se a energia nuclear tivesse sido substituída por combustíveis fósseis? Um estudo de 2013 estima dois milhões de vidas, estimando ainda que a energia nuclear evitou em média 76000 mortes por ano no período 2000-2009. O Governo Americano considera um valor de 51\$ por tonelada, mas estudos recentes [28] indicam que esse valor deveria ser 185\$ por tonelada. Pegando nos números da IEA, isto é, 63 Gt CO₂, temos um benefício de 51 000 000 000 \$ ou 185 000 000 00 \$ dependendo do valor que quisermos usar.

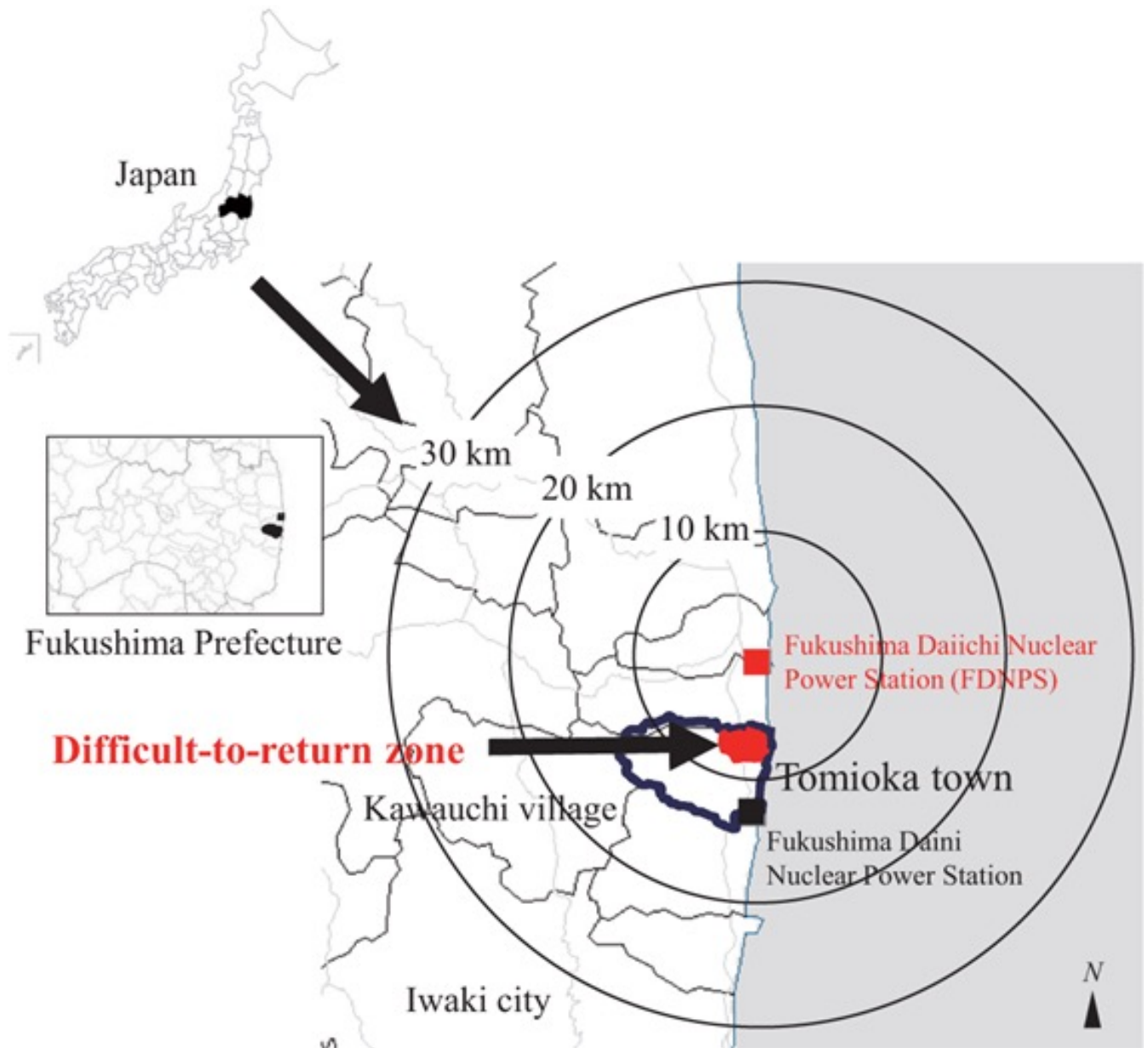
O problema do nuclear não é apenas o risco de acidente, mas também o da existência de zonas de exclusão durante décadas

O acidente de Fukushima ocorreu em 2011 passados 11 anos ainda continua a ter uma zona de exclusão, com uma área de 371 km² [49]. Passando para a realidade do nosso país estamos a falar da área do município de Tondela.[50]. Nesta área uma pessoa estaria exposto a uma dose de 50 mSv/ano [51] existindo 37000 evacuados que não podem ainda retornar às suas casas e comunidades. No entanto, o relatório mais recente do Comité das Nações Unidas para a radiação (UNSCEAR) elaborado 11 anos após o acidente [26,65] mostra que de acordo com o modelos melhorados, baseados em dados adicionais de monitorização e informações mais abrangentes sobre a dieta e o comportamento reais das pessoas no Japão,

reuiu e atualizou as estimativas de dose de relatórios anteriores. De acordo com o relatório as estimativas de dose atualizadas para membros do público diminuíram ou são comparáveis com as estimativas anteriores do mesmo comité, continuando a considerar que os efeitos futuros à saúde diretamente relacionados à exposição à radiação provavelmente não serão discerníveis.

O UNSCEAR também avaliou a incidência de cancro da tiróide que pode ser inferida a partir da exposição estimada à radiação e concluiu que provavelmente não é perceptível em nenhuma das faixas etárias consideradas, incluindo crianças e aquelas expostas *in utero* à radiação. A este respeito o Comité afirma que o grande aumento (em relação ao esperado) no número de cancros da tiróide detectados entre as crianças

Área de exclusão resultante do acidente de Fukushima em 2011



expostas não é resultado da exposição à radiação, mas o resultado de procedimentos de triagem ultrasensíveis que revelaram prevalência de anormalidades da tiróide na população não detectadas anteriormente. Além disso, no público em geral, o UNSCEAR descobriu que não há evidências confiáveis de excesso de anomalias congénitas, nado-mortos, partos prematuros ou baixo peso ao nascer relacionados à exposição à radiação. A conclusão é que desde o relatório UNSCEAR 2013, nenhum efeito adverso à saúde entre os residentes de Fukushima foi documentado que pudesse ser atribuído diretamente à exposição à radiação do acidente sendo também improvável que um aumento na incidência de cancro seja perceptível em trabalhadores que trabalharam no local de Fukushima Daiichin. Neste caso os trabalhadores estado expostos a uma dose de radiação superior . Das mais de 20.000 pessoas que trabalharam no ano e meio após o acidente, seis excederam o

limite de 250 mSv estabelecido para equipas de emergência. Excluindo estes seis, a dose média no primeiro ano ficou em torno de 13 mSv, o equivalente a uma tomografia computadorizada de tórax. No segundo ano, a dose desceu mais da metade.

O comité também avaliou as informações sobre as transferências de material radioativo libertado através dos ambientes terrestre, de água doce e marinho. A UNSCEAR disse que continua a considerar improváveis os impactos regionais nas populações de vida selvagem com um claro vínculo causal com a exposição à radiação resultante do acidente. No entanto, disse que alguns efeitos prejudiciais em algumas plantas e animais foram observados em áreas de níveis de radiação aumentados.

Não existe uma data oficial para quando a zona de exclusão será levantada, mas é entendimento da comunidade científica que

o grande responsável pela contaminação da zona de exclusão é o Caesium radioativo [52] que tem a sua meia-vida de aproximadamente 30 anos, o que significa que até 2041 é expectável que as restrições sejam levantadas [53]. Outro tema relevante é que apesar de fugas ainda existentes nos reactores os relatórios de acompanhamento da qualidade da água indicam que a radiação presente na água está substancialmente abaixo das metas operacionais estabelecidas pela TEPCO [54].

Quando falamos de Chernobyl o caso é muito mais grave embora uma fusão do núcleo (“core meltdown”) como aconteceu em Chernobyl não é representativa de uma fusão de um reator nuclear convencional moderno [55]. Passados 36 anos após o incidente ainda existe uma zona de exclusão de 30 Km² [56], que passando para a realidade portuguesa seria próximo do tamanho da cidade de Chaves [57].

Aqui ao contrário de Fukushima a comunidade científica tem opiniões divergentes, isto é, alguns indicam que já é seguro viver em Chernobyl, outros que só será seguro daqui a 20 anos e outros daqui a centenas de anos. Vê-se em muitos lados a data de 20000 anos, mas está relacionado com “Elephant’s Foot” que são os restos radioativos do reactor [58]

A parte mais crítica deste incidente é a necessidade de monitorização constante do reactor. Toda a comunidade científica é unânime neste aspecto e garantidamente terão que ser gastos recursos humanos e económicos avultados para garantir a contenção da radiação [56].

Atualmente vivem na zona de exclusão 100 habitantes dos 1200 que voltaram para essa zona logo após o incidente [59] e são efetuadas excursões pagas para visitar Chernobyl [60], sendo que a zona atualmente

está repleta de animais selvagens, devido essencialmente à não presença humana na região.[61]

Em ambos os casos o número de pessoas afetadas é gigantesco, em Chernobyl, 350000 pessoas tiveram que ser evacuadas e realojadas [63] e em Fukushima 100000 pessoas [64] embora seja aceite que a evacuação de Fukushima afectou uma área mais extensa que a necessária e poderia ter sido evitada. Destes dois exemplos é importante reter que um acidente que leve à fusão do núcleo de um reactor nuclear não mata milhares ou milhões de pessoas e que cria zonas de exclusão permanente, mas limitada à zona do próprio reator. As zonas circundantes tornam-se habitáveis, conforme aceite pela maior parte da comunidade científica, num espaço não superior a uma geração. A radiação perigosa e que perdura por milhares de anos mantém circunscrita na zona circundante do próprio reactor.

As centrais nucleares são perigosas em caso de conflito militar (variante conhecida: ataques terroristas são um risco inaceitável)

A 11 de Setembro 2001 aviões comerciais foram usados como armas nas mãos de terroristas e causaram 2977 vítimas. No entanto, esse acontecimento não afecta a segurança dos aviões enquanto meio de transporte nem a percepção de segurança que temos ao andar de avião. Devemos na nossa percepção de segurança nuclear, conseguir separar as situações de operação normal das situações de ataques bélicos onde o desfecho, como em muitas situações de guerra, é totalmente imprevisível.

Em 2022 várias das cinco centrais nucleares da Ucrânia e outras instalações sofreram bombardeamento direto. Cada um dos sete pilares indispensáveis da IAEA para garantir

a segurança nuclear num conflito armado foi comprometido na Ucrânia, incluindo a integridade física das instalações nucleares; a operação de sistemas de segurança e proteção; as condições de trabalho do pessoal; cadeias de suprimentos, canais de comunicação, monitoramento de radiação e providências de emergência; e a crucial fonte de alimentação fora do local.

No entanto, durante o primeiro ano do conflito armado, não houve nenhum incidente nuclear ou acidente com consequências radiológicas que afetem a população e o meio ambiente.

A este respeito a Agência Internacional de

Energia Atômica (AIEA) divulgou a 23 de Fevereiro um relatório sobre Segurança, Proteção e Salvaguardas Nucleares na Ucrânia, abrangendo o período entre fevereiro de 2022 e fevereiro de 2023*. Isto deve-se em parte à resistência e dedicação da equipa ucraniana das centrais nucleares, que continuam a garantir a operação segura e protegida de instalações nucleares, apesar das difíceis condições em que realizam seu trabalho. Demonstra também a resiliência das centrais nucleares e a eficácia da operação de todos os sistemas de segurança e redundância. A invasão russa de Zaporizhzhia e o seu uso como base militar, não afecta a segurança das centrais nucleares enquanto forma de produção de energia limpa (5.1-6.4 g CO₂ / kWh) e segura (0,03 mortes /TWh) de produção de energia eléctrica.

A central nuclear de Zaporizhzhya tem estado no centro das atenções por causa da ocupação militar e dos continuados ataques às instalações. Pese embora o risco de acidente nuclear, é preciso ter em conta que o risco seria similar se se tratasse de um bombardeamento a uma barragem que pusesse em causa a sua integridade estrutural. A ruptura duma barragem pode ser devastadora para as populações que vivem à beira dos leitos a jusante da albufeira dessa barragem e que seriam afectados pela libertação súbita de toda a água contida na albufeira. Este tipo de evento não é apenas uma possibilidade uma vez que aconteceu também em Zaporizhzhya em 1941 no auge da II guerra mundial.

Em Agosto de 1941, enquanto as tropas alemãs nazis invadiam a Ucrânia da era soviética, agentes do NKVD, o antecessor da KGB, explodiram uma barragem hidroeléctrica na cidade de Zaporizhzhya, no

* <https://www.iaea.org/sites/default/files/23/02/nuclear-safety-security-and-safeguards-in-ukraine-feb-2023.pdf>

sul, para retardar o avanço nazi [29]. A equipa executou com sucesso sua missão secreta, que os historiadores dizem ter sido ordenada pelo próprio Estaline, abrindo um buraco na barragem e isolando temporariamente parte da cidade dos invasores. A explosão inundou aldeias ao longo das margens do rio Dnieper, matando milhares de civis desprevenidos, bem como oficiais do Exército Vermelho que atravessavam o rio. Como nenhum número oficial de mortos foi divulgado na época, o número estimado de vítimas varia muito. A maioria dos historiadores coloca entre 20000 e 100000, com base no número de pessoas que viviam nas áreas inundadas.

Parede da Unidade 4 em Zaporizhia após bombardeamento em 19-20 Novembro 2022. Apesar do impacto os danos na estrutura de contenção (que tem uma espessura 2,1 metros) são superficiais (foto:IAEA)



Uma central nuclear pode provocar uma explosão nuclear

Uma central nuclear não explode nem em caso de acidente nuclear nem em caso de bombardeamento durante um conflito militar. É impossível um reator explodir como uma arma nuclear. As armas nucleares contêm materiais muito específicos em configurações muito particulares, nenhum dos quais está presente num reactor nuclear. Mesmo uma reação descontrolada aconteceria muito lentamente para causar uma explosão. Numa arma nuclear, os átomos radioativos são compactados com densidade suficiente dentro duma pequena câmara para iniciar uma reação em cadeia explosiva instantânea. Um reator é demasiado grande para produzir a densidade e o calor necessários para criar uma explosão nuclear.

Os resíduos nucleares são um perigo para a humanidade *(variantes conhecidas: o nuclear irá destruir toda a vida na Terra)*

Um dos receios frequentemente associado ao nuclear está relacionado com os resíduos radioactivos. Como todas as indústrias e tecnologias de produção de energia, o uso da energia nuclear resulta na produção de alguns resíduos. No entanto, um aspecto positivo da energia nuclear é que os volumes de resíduos são pequenos, podem ser geridos de maneira rigorosa e a indústria nuclear desenvolveu, e implementou, a maioria das tecnologias necessárias para a disposição final de todos os resíduos que produz. A questão restante é a aceitação pública e não a viabilidade tecnológica. Os resíduos radioactivos (ou nucleares) são o resultado de reactores nucleares, mas também das centrais de processamento de

combustível, hospitais e infraestruturas de investigação. São também gerados resíduos durante o encerramento e desmantelamento de reactores e outras instalações nucleares. Existem três tipos de resíduos nucleares, classificados de acordo com sua radioatividade: baixo, intermediário e alto nível.

Os resíduos de baixa actividade resultam de aplicações médicas, académicas e industriais e outros usos comerciais de materiais radioactivos. Os resíduos da extracção de Urânio, efluentes da fabricação e reprocessamento do combustível, equipamentos e roupas contaminadas e algum do material resultante do desmantelamento duma central nuclear também são resíduos de baixa e média actividade. Numa central nuclear a grande maioria dos resíduos (90% do volume total) é composta apenas por itens levemente contaminados, como ferramentas e roupas

de trabalho, e contém apenas 1% da radioatividade total.

Os resíduos de alto nível, de actividade elevada, são primariamente o combustível de Urânio que foi usado num reactor nuclear e está “gasto” ou já não é eficiente para a produção de electricidade (cerca de 1/3 do combustível utilizado numa central nuclear é substituído todos os anos). Estes resíduos representam apenas 3% do volume total de resíduos, mas contém 95% da radioatividade total. O combustível usado é quente do ponto de vista térmico e altamente radioactivo e requer o uso de manipulação remota e blindagem. As barras de combustível antes de serem usadas são apenas um pouco radioactivas e podem ser manuseadas sem recurso a nenhuma blindagem especial. Durante o processo de fissão criam-se isótopos radioactivos de elementos mais leves tais como o Césio-137 e o Estrôncio-90. Estes isótopos

denominados de “produtos da fissão”, representam grande parte do calor e radiação penetrante dos resíduos de actividade elevada. Alguns átomos de Urânio, capturam neutrões produzidos no processo de fissão e formam elementos mais pesados tais como o Plutónio. Estes elementos mais pesados que o Urânio, denominados de “transurânicos”, não produzem tanto calor nem tanta radiação penetrante mas demoram muito mais tempo para decair. Os resíduos transurânicos, também chamados de TRU, representam a maioria do risco radioactivo que permanece em resíduos de actividade elevada ao fim de 1000 anos. Os resíduos de actividade elevada são perigosos porque produzem doses de radiação fatais em pouco tempo de exposição. O reprocessamento destes resíduos separa o Urânio residual e Plutónio dos produtos da fissão. O Urânio e o Plutónio podem ser reutilizados como combustível embora em muitos casos este reprocessamento não é efectuado e a

maioria dos resíduos de actividade elevada são combustível usado não reprocessado.

A densidade energética de um combustível nuclear como o Urânio, por exemplo, é um milhão de vezes superior à densidade energética de um combustível fóssil. Os resíduos da operação de uma central nuclear são pequenos comparativamente aos de uma central a carvão ou gás natural. Uma central a carvão, para além de gases perigosos como sulfitos, óxido nítrico, entre outros, liberta 1 kg de CO₂ por kWh de electricidade produzida. Em 2019 apenas, a Alemanha libertou 219 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera a partir das suas centrais de carvão. A este número terá que se adicionar a biomassa, lignite, e gás natural. O consumo de electricidade per capita da Alemanha mostra que cada cidadão necessitaria de aproximadamente 1 kg de Urânio enriquecido para satisfazer o seu consumo de electricidade durante

aproximadamente 65 anos (e daria para aproximadamente 85 anos do consumo de electricidade de um português).

Ao contrário de qualquer outra indústria de geração de energia, o sector nuclear assume total responsabilidade por todos os seus resíduos. Muitas instalações de descarte permanente estão em operação para resíduos de nível baixo e intermediário, e instalações para resíduos de alto nível e combustível nuclear usado estão em implementação e construção. Há décadas que se sabe o que fazer aos resíduos, e todos os anos surgem novas soluções. Por exemplo, todo o combustível usado das centrais nucleares dos Estados Unidos está armazenado em piscinas construídas com betão reforçado com uma espessura considerável e forradas com aço. A água serve simultaneamente para blindar a radiação e arrefecer os resíduos. Quando as piscinas atingem a sua capacidade máxima o

combustível mais antigo (que passou em média 5 a 10 anos na piscina) é transferido para contentores de aço envolvidos em betão.

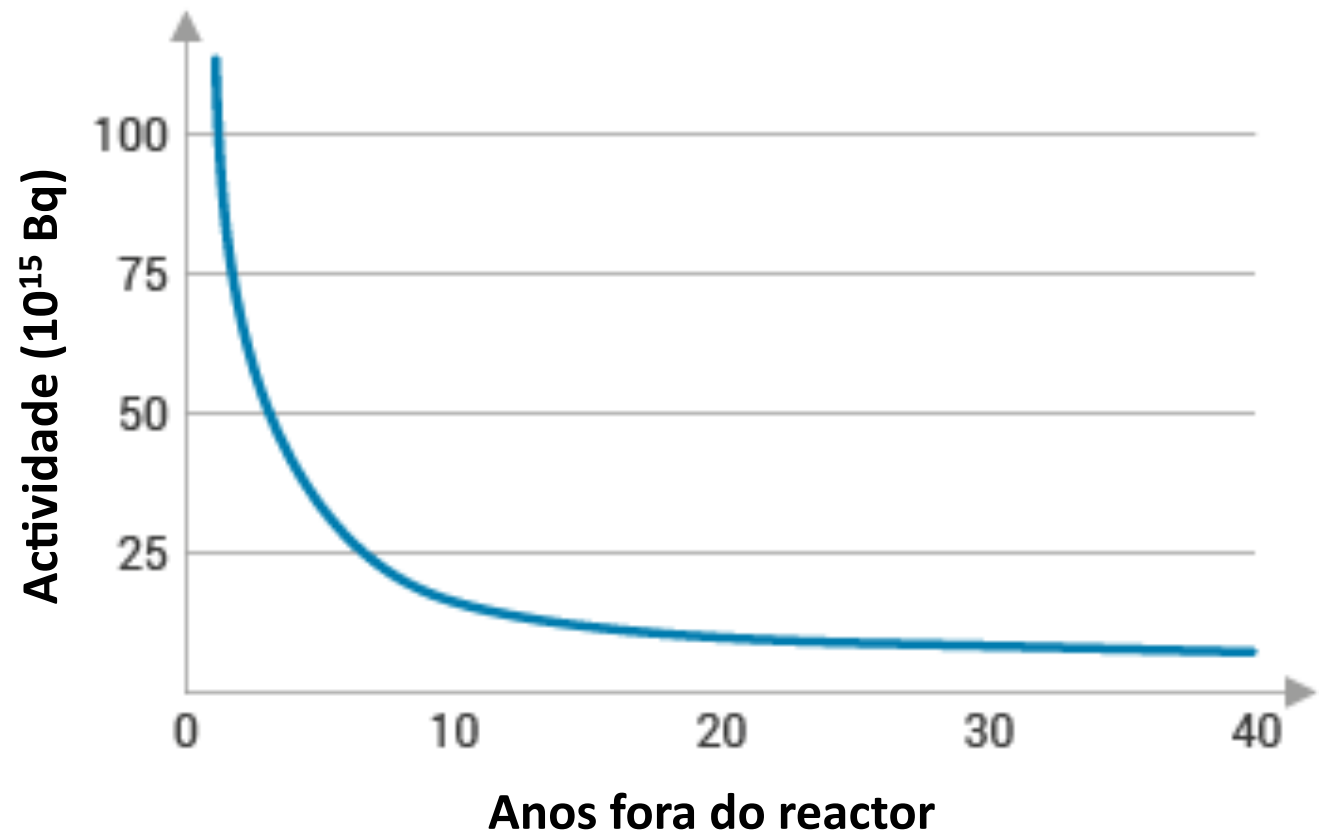
É um mito que não saibamos nem tenhamos alternativas para o processamento de resíduos nucleares. A principal preocupação associada ao combustível nuclear irradiado, a radioatividade, diminui com o tempo. Cerca de 40 anos depois de terminar de produzir energia, o calor e a radioatividade do combustível terão reduzido mais de 99%. A maior parte dos resíduos industriais produzidos nunca fica menos tóxica ao longo do tempo. Nem num milhão de anos. Nem mesmo num bilhão. Mercúrio, chumbo, cádmio, arsénico, etc. são todos perigosos e assim permanecem para sempre. Nos países ricos, estes resíduos químicos são recolhidos e armazenados sem alarde.

Os resíduos nucleares podem ser

enclausurados em contentores metálicos ou de cimento e colocados em armazéns. O que supera o atual método dos combustíveis fósseis de descargas para águas fluviais ou até para a atmosfera. Além disso, o tratamento e armazenamento de resíduos nucleares está já incluído nos custos iniciais da construção de uma central.

De acordo com a IAEA [30] o inventário mundial total de resíduos radioactivos de nível elevado desde o inicio da operação de reactores nucleares ocupa 29000 m³ ou seja, inferior à area de um campo de futebol cheio até à altura de 3 m). Um outro exemplo é o uso de reatores de neutrões rápidos que podem vir a aumentar a eficiência da energia nuclear e reduzir a pegada ambiental de resíduos radioativos. Vários países estão a olhar para estes reatores inovadores para ajudar a garantir um futuro de energia sustentável [31].

Um exemplo: Devido à elevada densidade de energia do combustível nuclear os resíduos nucleares resultantes da produção da electricidade consumida por uma pessoa em toda a sua vida caberiam numa lata de refrigerante e pesariam cerca de 3 kg. Apenas uma parte pequena destes resíduos seriam resíduos radioactivos de longa duração. A mesma quantidade de electricidade produzida a partir de carvão resultaria em 68 toneladas de cinzas e na emissão de 77 toneladas de CO₂ para a atmosfera por pessoa. Enquanto uma vasta quantidade destas cinzas é lançada na atmosfera, juntamente com vários gases nocivos, os resíduos nucleares são armazenados em barris secos, onde são mantidos em uma pequena área e monitorizados.



* <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>

Decaimento ilustrativo da radioactividade dos produtos de fissão – uma tonelada de combustível PWR usado.*

Quantos resíduos nucleares seriam produzidos se toda a electricidade consumida por um português ao longo da sua vida proviesse de energia nuclear?

A afirmação aparece frequentemente na internet e até há cálculos da Canadian Nuclear Association para um CANDU*. Mas na ausência de mais detalhes do cálculo, vamos tentar fazer as contas para Portugal (se tivéssemos energia nuclear para além dos 7.4 GW de nuclear espanhóis que estão na nossa fronteira energética): De acordo com a Pordata** o consumo per capita em Portugal em 2020 foi 4.574,5 kWh. Com base neste valor, no seu tempo de vida (~80 anos) uma pessoa consome 365960 kWh. De acordo com a World Nuclear Association*** um reactor nuclear típico de 1000 MWe produz num ano 26,7 toneladas de

combustível usado (se fosse um AP1000 19,1 t o que é similar aos valores neste artigo <https://www.osti.gov/biblio/1606892>). Usando valor de 26,7 t para o calculo. 1 GWe ano corresponde a 8,76 TWh ou seja, o combustível usado corresponde a $3,15 \times 10^{-6}$ kg/kWh. Fazendo as contas para a energia consumida no tempo de vida duma pessoa dá 1,15 kg de combustível usado. De acordo com a informação neste link**** “*Uranium dioxide has a density of 10.97 g/cm³, but this value may vary with fuel burnup because, at low burnup, densification of pellets can occur, and at higher burnup, swelling occurs.*” Vamos usar a densidade acima para estimar o volume ocupado, o que resulta em 105 ml. Uma lata de refrigerante leva 33 cl. Ou seja, para o consumo por pessoa de electricidade em Portugal se toda a electricidade fosse produzida com recurso a energia nuclear os

resíduos caberiam numa lata e sobraria espaço. A diferença resulta do facto que nos EUA o consumo de electricidade per capita é 2,7 vezes maior que em Portugal. Nesse caso já daria 287 ml (ou seja, a lata estaria quase cheia).

É possível que o raciocínio ou os pressupostos possam ser melhorados, sendo possível, por exemplo, que a tabela que inclui a quantidade combustível usado não inclua o revestimento das pellets de combustível (o artigo indicado para o AP1000 indica 22,6 t e refere explicitamente o combustível usado + resíduos de intensidade elevada), mas ter uma noção verdadeira da realidade em números é importante mesmo que depois não se tomem decisões sobre estes.

* <https://cna.ca/2019/06/25/your-lifetime-used-fuel-would-fit-in-a-soda-can-want-proof/>

** <https://www.pordata.pt/portugal/consumo+de+energia+eletrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>

*** <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>

**** <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/nuclear-fuel/fuel-assembly/fuel-pellets/uranium-dioxide-uo2/>

A construção de centrais nucleares aumenta a proliferação de armas nucleares

Possuir indústria de aço, automóvel ou de aviação ajudam à proliferação de armamento? A energia nuclear também não!

Uma grande preocupação sobre a disseminação de programas pacíficos de energia nuclear é a possibilidade de que as instalações construídas para uso num programa de energia nuclear possam eventualmente ser usadas para produzir armas nucleares. Especificamente, o principal risco reside no ciclo do combustível nuclear porque as instalações e tecnologias usadas no enriquecimento e reprocessamento de combustível nuclear também podem ser usadas para produzir material fissil para uso em armas nucleares.

Para ser adequado para uso como combustível num reator, o urânio natural deve ser enriquecido. A tecnologia de enriquecimento de urânio também poderia em principio ser usada para produzir urânio para uso em armas nucleares. No entanto, apesar do combustível usado nas centrais nucleares ser enriquecido com urânio-235, mas não o suficiente para torná-lo adequado para armas. A extração do urânio-235 enriquecido exigiria uma grande e sofisticada infraestrutura de separação química.

O reprocessamento do combustível nuclear depois de ter sido usado para alimentar um reator permite um uso mais eficiente do urânio remanescente no combustível e reduz a quantidade de resíduos que precisam de ser armazenados. Certas formas de reprocessamento de combustível usado permitem o isolamento e extração de plutónio, que pode ser usado para fabricar armas nucleares. Tal como acontece com o

enriquecimento de urânio, uma capacidade doméstica para reprocessar o combustível irradiado não é necessária para um programa de energia nuclear. O descarte directo de combustível irradiado em depósitos geológicos para armazenamento de longo prazo pode ser mais económico do que o reprocessamento de combustível irradiado.

A Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA) é a organização internacional responsável pela monitorização de materiais e instalações nucleares [67]. Os Estados que fazem parte do Tratado de Não Proliferação Nuclear (NPT), como Estados sem armas nucleares, são obrigados a assinar um acordo abrangente de salvaguardas com a IAEA. Esse acordo concede à IAEA direitos de inspecção e monitorização para verificar os relatórios do estado sobre seus materiais e atividades nucleares declarados.

Um estudo de 2017 [68] concluiu que,

embora a sabedoria convencional sugira que os estados com programas de energia nuclear são mais propensos a buscar ou adquirir armas nucleares, uma análise sistemática da evidência histórica sugere que a ligação entre os programas de energia nuclear e a proliferação é exagerada. Ao contrário da sabedoria convencional, os estados com programas de energia nuclear historicamente não têm sido significativamente mais propensos a buscar ou adquirir armas nucleares. Embora tais programas aumentem a capacidade técnica de um estado para construir armas nucleares, eles têm importantes efeitos políticos compensatórios que limitam as chances de proliferação. Especificamente, os programas de energia nuclear aumentam a probabilidade de que programas paralelos de armas nucleares sejam detectados e

enfrentem pressões de contra-proliferação aumentando também o custo das sanções de não-proliferação.

Há também um exemplo interessante em que a energia nuclear já contribuiu para a não proliferação. Em 2013, há cerca de uma década, bombas nucleares foram transformadas em energia nuclear, tendo uma em cada 10 lâmpadas americanas sido alimentada por armas nucleares russas desmanteladas*. Isto foi possível graças ao programa Megatons to Megawatts, um acordo negociado após o colapso da União Soviética para converter o urânio do arsenal de armas nucleares da Rússia em combustível para as centrais nucleares dos EUA. No momento em que Megatons to Megawatts percorreu seu curso completo de 1993 a 2013, foram eliminadas cerca de

20000 ogivas nucleares sendo um exemplo no campo de controle de armas e desarmamento “Quase todos os reatores nucleares comerciais nos Estados Unidos receberam combustível nuclear sob o programa”, observou o então secretário de Energia dos EUA, Ernest Moniz, quando o carregamento final de urânio partiu de São



A remessa final de urânio russo ao abrigo do programa Megatons para Megawatts sai de São Petersburgo, Rússia, em 2013 (créditos: Dmitry Lovetsky/AP)

* <https://www.vox.com/platform/amp/future-perfect/23593348/build-nuclear-energy-from-nuclear-bombs-ukraine-war>

Petersburgo para Baltimore, em 2013. Foi, disse ele, “uma das parcerias de não proliferação nuclear mais bem-sucedidas já realizadas”. Megatons para Megawatts foi diplomaticamente hábil, reduzindo o risco de catástrofe nuclear enquanto fornecia energia de carbono zero. Aproveitou um momento político único com a dissolução da URSS em 1991, que abriu uma porta pela qual os acordos de controle de armas avançaram com velocidade notável. O programa Megatons para Megawatts não pode simplesmente ser copiado e aplicado contexto geopolítico tão diferente de 1991, no entanto não deixa de ser um excelente contra-exemplo quando os detractores do nuclear afirmam que a construção de centrais nucleares aumenta a proliferação de armas nucleares. Na página da World Nuclear Association [83] também é possível encontrar informação adicional cerca do uso de material proveniente de armas nucleares para produção de energia eléctrica.

Os SMR produzem mais resíduos por kWh

Um relatório do Department of Energy (DOE) dos EUA, publicado no final de 2022 [66], debruçou-se sobre este assunto, usando como exemplo alguns SMR. No relatório conclui-se que “Os atributos dos resíduos dos SMRs estudados mostram algumas semelhanças com o Light Water Reactors (LWR) de referência, e algumas diferenças potencialmente significativas. Os atributos de resíduos iniciais da produção de combustível SMR variam o equivalente a 1,2 vezes a referência LWR. Os atributos dos resíduos de back-end para descarte de combustível irradiado variam de grandes reduções a aumentos pequenos a moderados na massa de metais pesados (fatores de 0,2 a 1,2), atividade (fatores de 0,3 a 1,5) e radiotoxicidade (fatores de 0,5 a 1,5). Estas diferenças têm impacto limitado nas necessidades de isolamento em repositório

de longo prazo. Os projetos SMR podem variar significativamente (fatores de 0,6 a 12,3) em volume (e, portanto, densidade de geração de calor), no entanto, essas diferenças são passíveis de optimização de projeto para tecnologias de manipulação, armazenamento, transporte e descarte. Os atributos dos resíduos do desmantelamento podem variar muito, dependendo das opções de design e tecnologia de desmantelamento. Dados os resultados da análise e assumindo um design de sistema de gestão de resíduos apropriado e optimização operacional, parece não haver grandes desafios para a gestão de resíduos dos SMR comparados com os resíduos de referências dos LWR”.

Em 2019 a IAEA concluiu que o combustível usado dos SMR pode ser manuseado de acordo com os métodos utilizados em reactores actuais [69] e, em particular em países com programas nucleares estabelecidos, não constituirá um desafio.

Não existem alternativas seguras para o tratamento e deposição dos resíduos radioativos

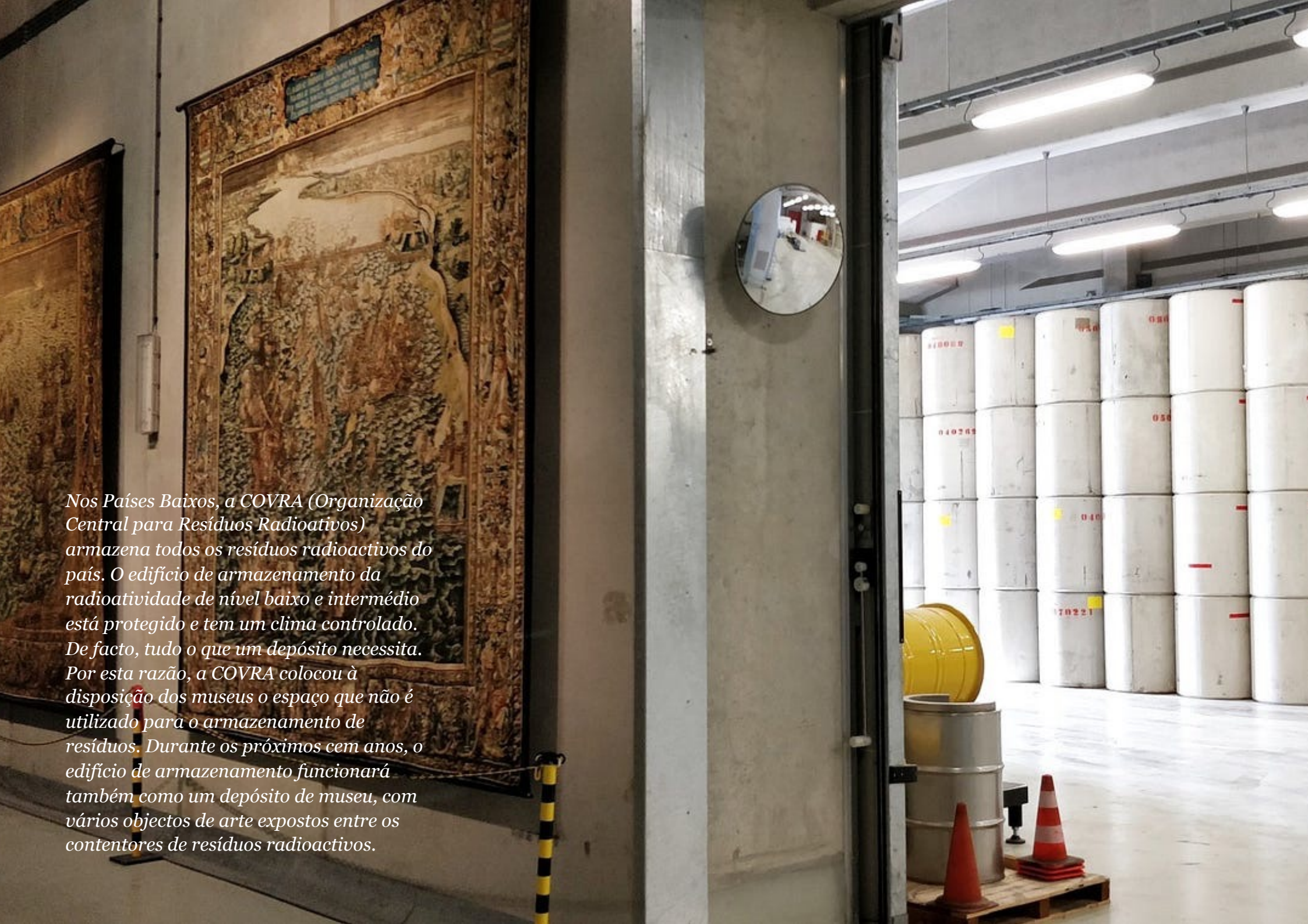
É um mito que não saibamos nem tenhamos alternativas para o processamento de resíduos nucleares. Em termos de processamento, o nuclear tem outra vantagem para além das suas baixas necessidades de combustível. Apenas 10% do total de resíduos nucleares são verdadeiramente perigosos do ponto de vista biológico. Aproximadamente 90% dos resíduos nucleares podem ser enclausurados em contentores metálicos ou de cimento e colocados em armazéns. O que supera o atual método dos combustíveis fósseis de descargas para águas fluviais ou até para a atmosfera. Os restantes 10% requerem soluções mais avançadas de armazenamento, mas existem soluções perfeitamente seguras. Novos métodos

conseguirão produzir energia adicional de combustível já gasto.

Os resíduos radioactivos são armazenados de forma a evitar qualquer possibilidade de exposição das pessoas à radiação, ou qualquer poluição. A eliminação de resíduos de baixo nível é simples e pode ser realizada com segurança em quase qualquer lugar. A maioria dos resíduos radioactivos de baixo nível (LLW) é normalmente enviada para descarga em aterros imediatamente após o seu empacotamento para gestão a longo prazo e posterior descarga autorizada como resíduos isentos. Isto significa que para a maioria (~90% em volume) de todos os tipos de resíduos produzidos por tecnologias nucleares, um meio de descarga satisfatório foi desenvolvido e está a ser implementado em todo o mundo.

Para combustível usado, designado como resíduo radioactivo de alto nível (HLW), o

primeiro passo é o armazenamento para permitir o decaimento da radioatividade e do calor, tornando a manipulação muito mais segura. O armazenamento do combustível usado pode ser efectuado em piscinas ou contentores secos, tanto nos locais dos reactores ou gerido em infraestruturas dedicadas. Além do armazenamento, muitas opções têm sido investigadas com o objectivo de encontrar soluções publicamente aceitáveis, seguras e ambientalmente correctas para a gestão final de resíduos radioativos. A solução mais amplamente favorecida é a disposição geológica profunda. O foco está em como e onde construir tais instalações. A disposição geológica profunda é amplamente reconhecida como a melhor solução para a disposição final dos resíduos mais radioativos produzidos



Nos Países Baixos, a COVRA (Organização Central para Resíduos Radioativos) armazena todos os resíduos radioativos do país. O edifício de armazenamento da radioatividade de nível baixo e intermédio está protegido e tem um clima controlado. De facto, tudo o que um depósito necessita. Por esta razão, a COVRA colocou à disposição dos museus o espaço que não é utilizado para o armazenamento de resíduos. Durante os próximos cem anos, o edifício de armazenamento funcionará também como um depósito de museu, com vários objectos de arte expostos entre os contentores de resíduos radioativos.

A disposição geológica profunda é perigosa porque pode contaminar aquíferos e o meio ambiente

Depois de um período de armazenamento em piscinas de betão revestidas de aço o combustível usado é armazenado em contentores de armazenamento a seco de aço e betão, e pode ficar em segurança nessas instalações até ser depositado num depósito geológico profundo. Estes depósitos são uma forma de armazenar resíduos perigosos ou radioactivos dentro de um ambiente geológico estável (normalmente 200-1000 m de profundidade). Implica uma combinação que engloba a a forma dos resíduos, embalagem dos resíduos, selos artificiais e geologia e que é adequada para proporcionar um elevado nível de isolamento e contenção a longo prazo sem manutenção futura. Os resíduos de alto nível são

convertidos numa forma duradoura e estável de vidro sólido antes do armazenamento e depósito.

As instalações de deposição dos resíduos são concebidas para isolar os resíduos radioactivos da biosfera durante pelo menos centenas de milhares de anos. Há a legítima preocupação que as águas subterrâneas entrem na instalação, degradando lentamente as barreiras contruídas e eventualmente entrando em contacto com os resíduos. Este é um processo de milhares de anos no qual, em contacto com a água, os resíduos vitrificados poderão começar a dissolver-se e a libertar radionuclídeos no ambiente próximo do repositório. Apesar de ser um processo de milhares de anos, são efectuados estudos [82] para quantificar a taxa de dissolução do vidro em condições relevantes para o ambiente subterrâneo específico em questão e, por conseguinte, apoiar o desenvolvimento de um robusto

caso de segurança para a deposição final dos resíduos radioactivos .

Apesar de toda a seriedade dos estudos que apoiam estes projectos, a deposição de resíduos radioactivos levanta sempre muita contestação. No entanto, o que muitos que contestam os resíduos radioactivos tendem a ignorar é que o volume de resíduos industriais tóxicos (chumbo, cádmio, arsénio, mercúrio e muitos outros produtos químicos) é 1000 vezes maior que o lixo nuclear. No entanto, estes são depositados em repositórios subterrâneos rasos onde tendem a espalhar-se pelos ecossistemas. Por exemplo na Alemanha, onde tem prosperado uma política fortemente anti-nuclear o armazenamento geológico profundo em Herfa-Neurode e Zielitz são usados para depositar resíduos extremamente tóxicos de mercúrio, arsénico e cianeto há décadas.

Existem evidências de alterações genéticas nos animais, devido à radiação, em locais de acidente nuclear

Recentemente a CNN Portugal , à semelhança de muitos outros sites pelo mundo, publicou uma notícia intitulada "Cães de Chernobyl podem ser geneticamente diferentes devido à radiação"* . Curiosamente no mesmo artigo é apresentada a conclusão de dois investigadores (citando um deles) "o estudo descreve apenas a estrutura da população selvagem de cães de Chernobyl, mas como não inclui dados sobre a exposição à radiação". O artigo científico que deu origem a todo este furor mediático, embora refira a radiação, apenas tece considerações acerca das espécies que

deram origem à actual população canina**.

Existem muitos lugares na Terra onde as exposições naturais à radiação de fundo são elevadas, significativamente acima de cerca de 2,5 mSv/ano (a radiação de fundo típica, mas que pode variar muito dependendo da localização). Existem muito locais, com radiação ambiente superior à verificada actualmente na maior parte da região de Chernobyl, onde se poderia fazer um estudo sobre a diversidade genética dos humanos e como esta varia com a exposição à radiação e como surpreendentemente a mortalidade por cancro não é superior a outras regiões.

Existem muitos lugares na Terra onde as exposições naturais à radiação de fundo são elevadas

* <https://cnnportugal.iol.pt/caes/chernobyl/caes-de-chernobyl-podem-ser-geneticamente-diferentes-devido-a-radiacao/20230304/640308c10cf2cf9224fbc3e>

** <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ade2537>



PRAIA DA AREIA PRETA

A coloração preta da areia desta praia é dada pela Ilmenita e permite a visualização da Monazita, a areia amarela escura. O elevado índice de radiação e as emanções benéficas das areias são geradas pela desintegração do Radium, do Tórium e do Actínio, que produzem raios alfa de grande energia cinética, sendo indicado para o tratamento de: reumatismo muscular, artrite deformante de diversas etiologias, nevralgias, mialgias, enfermidades musculares, alergias, doenças do sistema nervoso, gota, insônia, perturbações digestivas, de pauperismo e rejuvenescimento orgânico.

Placa na praia de Guarapari do Brasil onde a areia preta é considerada medicinal. Junto à areia a dose é da ordem de 13 mSv/ano havendo zonas onde o valor é superior

Nas areias desta praia encontramos:

Um documentário realizado pelo jornalista e cineasta holandês Theo Richel: “No More Radiophobia”^{***} compara os níveis de radiação em Chernobyl com os da praia de Guarapari no Brasil com demonstração de medidas de radiação no local. No mesmo documentário também entrevista peritos de saúde que participaram nas investigações da UNSCEAR em Chernobyl. Bastante ilustrativo de como a realidade difere da desinformação propagada!

Num artigo de 2015 [81] os autores concluem "Riscos de baixas doses e baixas taxas de dose, como de exposições elevadas à radiação natural de fundo, parecem não existir ou ser menores do que os riscos assumidos pela aplicação do modelo LNT (“Linear No-Threshold model”) na avaliação de dados epidemiológicos. (...) Afirmações de

que níveis elevados de radiação natural de fundo levam a cancro ou à morte na primeira infância são injustificadas e enganosas. O risco para o indivíduo e para a sociedade estimado pela adesão ao modelo LNT é maior do que o risco de doses e taxas de dose nas quais o modelo LNT não pode ser validado.". Existem vários outros artigos conclusões na mesma direção (e certamente uns quantos com conclusões contrárias) mas o que é um facto é que várias destas regiões são habitadas há bastante tempo.

Em Espanha existe uma organização, o El Science Media Centre España*, um escritório independente que oferece aos meios de comunicação recursos, conteúdo confiável e fontes especializadas para cobrir assuntos existir ou ser menores do que os riscos assumidos pela aplicação do modelo LNT

actuais relacionados com ciência que providenciaram informação aos media propósito dos cães de Chernobyl**. Faz falta algo similar em Portugal!

Quanto ao título da notícia da CNN talvez fosse mais correcto usar um título alternativo "Investigadores não conseguiram encontrar evidências científicas que provem que a baixa radiação causa mutações genéticas"

* <https://sciencemediacentre.es/smc-esp#sobre-smc>

** <https://sciencemediacentre.es/reacciones-un-estudio-muestra-que-los-perros-que-viven-cerca-de-chernobil-son-geneticamente-unicos>

*** <https://www.youtube.com/watch?v=JpcUCo0ebNA>



Uma baleia-de-bossas nada perto da central nuclear de Diablo Canyon, na Califórnia (créditos: "Mike" Michael L. Baird, flickr.bairdphotos.com)

Acerca do impacto ambiental

A energia nuclear contribui para o aquecimento global pois deita água radioativa quente no oceano matando a vida marinha

A energia nuclear não contribui para o aquecimento global apesar de poder libertar no oceano a água aquecida após ser usada nos sistemas de refrigeração. A quantidade de água libertada no oceano, ainda que esteja a uma temperatura superior à do ambiente local (3-4°C), é diminuta quando comparada com o volume total e não contribui para o aquecimento do ambiente para além do mais energia nuclear é uma arma de descarbonização maciça porque produz pouco CO₂ (5-6 gCO₂/kWh). A água libertada no oceano e/ou rios não é radioactiva. As centrais nucleares podem

libertar libertar água quente nos corpos de água, mas esta não é radioactiva porque não há descargas da água em contacto com o núcleo do reactor nuclear. A água em contacto com o combustível nuclear está num circuito fechado, independente do circuito de refrigeração. A água usada na refrigeração dos reactores, circula através de um circuito secundário, que não passa pelo núcleo do reactor e geralmente é libertada de volta ao ambiente a uma temperatura segura para a vida aquática (3-4° C) após passar pelas torres de refrigeração e/ou piscinas de aspersão que a arrefecem antes. Em vários reactores existem reservatórios de água, separados de massa de água, de onde é retirada a água de refrigeração e aos quais esta retorna após passar pelo reactor (este é por exemplo o caso na central de Zaporijia na Ucrânia). Nos casos em que a água usada

para refrigeração é retirada e despejada directamente na massa de água (rio ou oceano) adjacente ao reactor, a água quente libertada pode afectar o ecossistema local, mas não destrói a vida marinha. Localmente a descarga de água quente resulta num aumento da temperatura na zona de descarga que pode ter um raio de cerca de pouco quilómetros. Nesta região a variação de temperatura afecta a taxa metabólica dos organismos e o nível de oxigénio dissolvido mas a descarga térmica tem pouco impacto na área para além de poucos quilómetros da saída*. Estudos mostram que a vida marinha pode adaptar-se às mudanças na temperatura da água e que o impacto da libertação de água quente das centrais nucleares é local e relativamente pequeno em comparação com outras actividades humanas, como a pesca excessiva e a poluição.

* <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/12/2577>

Durante vagas de calor as centrais nucleares em rios reduzem significativamente a sua produção devido ao elevado impacto ambiental

As centrais nucleares funcionam com o fator de capacidade e o fator de disponibilidade mais elevados de todas as tecnologias de produção de eletricidade. Isto também é verdade durante as ondas de calor, quando a produção eólica e hidroelétrica pode ser substancialmente reduzida. O corte da energia nuclear durante as vagas de calor não resulta de considerações de segurança. Os cortes ocorrem principalmente em centrais situadas em rios e devem-se a limitações na temperatura permitida para a

devolução da água de arrefecimento a um rio.

O corte de energia nuclear devido a períodos de calor extremo teve o efeito de reduzir a produção europeia de energia nuclear em cerca de 0,1% desde o ano 2000. No caso específico da França, que, com as suas numerosas centrais situadas em rios interiores, foi o país mais afetado, o valor correspondente é de cerca de 0,15%. Nas horas de ponta, menos de 5% da capacidade europeia de energia nuclear esteve indisponível devido a cortes durante as recentes vagas de calor*. Mesmo em períodos de pico de cortes, a disponibilidade da energia nuclear excedeu a de qualquer outra tecnologia de produção de eletricidade com baixo teor de carbono na Europa, incluindo a energia solar fotovoltaica, a

energia eólica e a hidroeletricidade.

Durante a vaga de calor de 2022 as centrais Francesas em rios tiveram impactos nulos ou tão baixos que ainda estão em estudo**. A perda total de produção da EDF foi de 0.2%.

Os resultados do controlo ambiental reforçado prescrito pela ASN e aplicado pelas centrais de Golfech e Tricastin não revelaram qualquer impacto entre a montante e a jusante do curso de água sobre os parâmetros físico-químicos, bem como sobre os parâmetros microbiológicos (concentração em bactérias). Não se registou qualquer mortalidade de peixes ou deterioração do estado sanitário do ambiente entre a montante e a jusante destas centrais nucleares.

No caso da central de Bugey, a monitorização do fitoplâncton e da população de diatomáceas bentónicas durante o verão

* https://www.energyforhumanity.org/wp-content/uploads/2019/08/Qvist-Nuclear-and-Heat-Waves-August-2019-FINAL_.pdf

** <https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/l-asn-tire-le-retour-d-experience-des-decisions-prises-pendant-la-canicule-de-l-ete-2022>

de 2022 evidenciou uma ligeira eutrofização do ambiente. O número de peixes foram registados a um nível inferior a jusante do que a montante durante o período da vaga de calor, ao contrário do que é habitualmente observado nesta altura do ano. Os resultados obtidos durante as campanhas de outono mostraram, no entanto, um regresso às populações habituais destas espécies.

Para a central de Saint-Alban, o monitoramento do fitoplâncton e da população de diatomáceas bentónicas durante o verão de 2022 marcou uma ligeira diferença entre a montante e a jusante, que não continuou após o período de verão. Além disso, os resultados do controlo da estrutura do povoamento de piscicultura mostraram uma diferença entre montante e jusante para os peixes mais jovens. Esta diferença

persistiu durante as observações efectuadas no outono de 2022. Estas primeiras observações não permitem, nesta fase, distinguir o impacto da instalação do impacto de outros parâmetros ecológicos. A monitorização da população de peixes continuou na primavera de 2023, a fim de completar os primeiros resultados observados em 2022 e de compreender melhor a sua origem.

Relativamente à central de Blayais, os resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e microbiológicas e hidrobiológicas não revelaram qualquer efeito significativo do funcionamento da central nuclear durante uma onda de calor no meio receptor.

Quanto à capacidade das centrais nucleares

operarem quando a temperatura ambiente é elevada, basta ver o caso de Palo Verde, nos Estados Unidos. Localizado no coração do maior deserto da América do Norte, o Sonora, numa região sem rios permanentes, onde a temperatura regularmente excede 40°C durante metade do ano, a central continua a sua operação sem interrupções sendo o maior produtor de eletricidade dos Estados Unidos.

As centrais nucleares precisam de backup durante as ondas de calor porque caso contrario terão de ser autorizadas a operar em situações excepcionais devolvendo água quente aos rios?

Há aqui um erro conceptual muito vulgar: o backup é necessário para a carga de consumo, admitindo que esta tem pouca flexibilidade. Ora, todas as tecnologias têm indisponibilidades fortuitas, para além das programadas para o ciclo normal de manutenção. Portanto, ou por planeamento ou como incentivo ao investimento, como resultado de análises de segurança do sistema, é necessário assegurar potência firme um pouco acima da ponta anual de consumo esperada (Espanha procura ter 10%). O contributo das térmicas clássicas, incluindo o nuclear, anda pelos 95% da sua

capacidade (5% de indisponibilidade fortuita), a hídrica menos porque pode haver pouca água e também, por falta do recurso, zero na fotovoltaica (não contribui para a ponta de consumo noturno) e menos de 10% na eólica, pois às vezes falta vento na pior altura.

Em princípio, todas as centrais eléctricas em que é utilizada uma turbina a vapor para produzir eletricidade têm um circuito de água de arrefecimento. Por conseguinte, as centrais eléctricas de ciclo combinado a carvão ou a gás e vapor também têm de ser desligadas em caso de calor e/ou seca. Convém no entanto acrescentar que existem alternativas de refrigeração ao circuito aberto. Por que razão a CCGT que está no Carregado tem a solução um pouco mais cara de torres de refrigeração assim como a central a carvão do Pego? Foi uma decisão para permitir ir buscar pouca água ao rio Tejo (apenas de compensação por evaporação na

torre) em zona de pouca água, como é caso do Pego. Na CCGT do Carregado resultou da antiga a fuelóleo ter já a solução de circuito aberto (tal como em Sines e Setúbal), que não respeitava a nova legislação sobre dispersão do calor no meio aquático, quando funcionasse a pleno.

A libertação de água tritiada em Fukushima terá um elevado impacto ambiental e nos seres humanos

A água de Fukushima é completamente segura de libertar no mar. É uma solução perfeitamente segura e, sobretudo, uma solução controlada e monitorizada permanentemente. É muito mais prudente que manter a água armazenada e arriscar a libertação descontrolada em caso de ruptura devido a um terramoto ou fenómeno climático extremo.

O trítio é uma forma radioactiva natural de hidrogénio que é produzida na atmosfera quando os raios cósmicos colidem com as moléculas de ar e tem o menor impacto radiológico de todos os radionuclídeos naturais presentes na água do mar. O trítio é também um subproduto da exploração de

centrais nucleares para produzir eletricidade. Será óbvio para a maioria das pessoas, mas convém frisar que o Trítio produzido nas centrais nucleares não é diferente do Trítio natural e a radiação produzida pelo trítio natural é idêntica à radiação produzida pelo trítio das centrais nucleares.

O trítio tem uma meia-vida radioactiva de 12,3 anos. Isto significa que, para uma dada quantidade de trítio, após 12,3 anos apenas teremos metade devido ao decaimento radioativo. Por este motivo, o Trítio existe na natureza em concentrações muito reduzidas.

É tecnicamente muito difícil separar a água tritiada da água. O trítio é um isótopo do hidrogénio, e a água que contém trítio tem características químicas quase idênticas à água com hidrogénio normal. Existem tecnologias que podem recuperar o trítio quando este se encontra altamente concentrado em pequenas quantidades de

água, por exemplo, em instalações de fusão nuclear. No entanto, a água armazenada na central de Fukushima Daiichi tem uma baixa concentração de trítio num grande volume de água, pelo que as tecnologias existentes não são aplicáveis.

Atualmente, a água contaminada produzida na central de Fukushima Daiichi é tratada e armazenada no local em tanques especialmente preparados para o efeito. A água tritiada armazenada provém da água usada para arrefecer os reactores e de água infiltrada nas caves da qual são filtrados os elementos radioactivos como o Césio, Estrôncio e Iodo, usando o sistema ALPS (Advanced Liquid Processing System). O único elemento radioativo que ficará na água tratada é o Trítio. Parte da água filtrada é reutilizada para arrefecimento e a restante armazenada em tanques. Todo este processo é efectuado sob monitorização constante da IAEA.

Existem cerca de 1000 tanques no local da central de Fukushima Daiichi para armazenar cerca de 1,3 milhões de metros cúbicos de água tratada.

A concentração de trítio resultante na água tratada após a diluição na água do mar será inferior a 1500 becquerels (uma medida da radioatividade de uma substância) por litro, cerca de é 1/40 do limite de concentração regulamentar (60.000 Bq/L), bem como aproximadamente um sétimo das directrizes da Organização Mundial de Saúde para o trítio na água potável (10.000 Bq/L). A concentração de trítio cairá para os níveis de fundo do oceano a poucos quilómetros do local de descarga. Note que o total de água tritriada existente em Fukushima ocupa um volume equivalente a um paralelepípedo de 10 km x 10 km x 13 m. Compare este volume com o volume do oceano onde esta água será diluída ao longo de 30 anos.

A água tritiada, água onde o Trítio substituiu o Hidrogénio (T₂O ou THO em vez de H₂O) tem uma semi-vida biológica relativamente curta no corpo humano, de 7 a 14 dias. A semi-vida biológica de uma substância química (por exemplo, um fármaco) num organismo vivo é o tempo necessário para que metade dessa substância química seja esgotada ou eliminada do corpo.

O trítio emite partículas beta fracas, ou seja, electrões, com uma energia média de 5,7 keV (kiloelectrão-volt), que podem penetrar cerca de 6,0 mm de ar, mas não podem penetrar no corpo através da pele humana. Pode apresentar um risco de radiação se inalado ou ingerido, mas só é nocivo para os seres humanos em doses muito elevadas. Os seres humanos estão continuamente expostos a emissores beta. Um exemplo comum é o Potássio-40 presente em alimentos ricos em potássio como é o caso das bananas. O Potássio-40 emite uma

partícula beta de 1,42 MeV (Megaelectrão-volt) ou seja cerca de 250 vezes mais energético que as partículas beta emitidas pelo Trítio. A concentração de potássio-40 é quase estável em todas as pessoas a um nível de cerca de 55 Bq/kg (O Bequerel, Bq, é uma medida da radioatividade de uma substância e significa um decaimento radioactivo por segundo). Se o seu companheiro/a tiver cerca de 70 kg está exposto regularmente a 3850 Bq. Voltado à banana, uma vez que uma banana típica contém cerca de meia grama de potássio, terá uma atividade de cerca de 15 decaimentos beta por segundo. A água tritiada de Fukushima terá cerca 1500 Bq/litro no momento da diluição no mar ou seja 1,5 decaimentos por grama por segundo. Pense nisto quando comer uma banana ou deitar-se ao lado do seu companheiro/a!

A maioria das centrais nucleares em todo o mundo liberta rotineiramente e em segurança

água tratada, contendo concentrações baixas de trítio e outros radionuclídeos, para o ambiente, como parte das operações normais. A prática habitual nas instalações nucleares é a descarga autorizada e controlada de água tritiada em massas de água próximas, como rios, lagos ou zonas costeiras. As descargas de água em centrais nucleares são libertações autorizadas e são monitorizadas de perto pelos operadores e reguladores para garantir a segurança. As normas de segurança da IAEA incluem orientações sobre a autorização de descargas para o ambiente.

Em Fukushima está planeada a libertação de 22 TBq por ano. Para comparação, na Coreia do Sul, a central de Kori descarregou 91 TBq em 2019, mais de quatro vezes a descarga planeada para Fukushima. Laboratórios

internacionais de vários países, assim como a IAEA, monitorizarão todo o processo, não deixando margem para dúvidas acerca da sua segurança. É muito mais nocivo para o ambiente e seres humanos o encerramento dos reatores Alemães que ocorreu em Abril de 2023. A energia produzida por estes foi substituída pela queima de carvão, a forma de carvão mais poluente. Estima-se que o número de mortes prematuras anuais provocadas pelo encerramento das centrais nucleares alemãs desde 2011, na sequência do acidente de Fukushima, e a sua substituição pelo aumento da produção de electricidade a partir da queima de carvão, cifra-se em 1100 vítimas adicionais por ano como resultado da poluição do ar. Muito superior às 575 vítimas creditadas ao acidente de Fukushima, das quais nenhuma resultou da radiação libertada.

Existe risco ambiental dos resíduos da minas de Urânio

No processo de mineração extrativa, todas as práticas para todos os minerais têm o potencial de causar impactos ambientais negativos. No entanto, devido a falhas no passado a indústria moderna de extração de urânio tem dos padrões mais elevados dentro do sector mineiro.

Não existe muita literatura que permita por exemplo comparar o impacto da extração do urânio* com a extração das terras raras usadas amplamente para energias renováveis. No entanto, um relatório australiano** concluiu que há pouca evidência que ligue potencialmente graves impactos à busca específica do mineral urânio. Ao analisar a literatura relacionada aos impactos ambientais das principais minas de urânio da Austrália, fica evidente que os padrões,

* <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>

** https://minerals.org.au/wp-content/uploads/2023/01/Environmental-impacts-of-uranium-mining-in-Australia_May-2017.pdf

condições e expectativas relacionadas tanto à mineração de urânio quanto à mineração em geral mudaram drasticamente desde a era inicial e pouco regulada (antes dos anos 1980), até a era moderna inicial (anos 1980) e continuaram a evoluir até os dias atuais (anos 1990 e século 21). No geral, a análise efectuada indica que o padrão e tipo de prática de mineração, e não o mineral em si, são as principais características distintivas entre resultados ambientais bons, satisfatórios e ruins. O exemplo da exploração dos elementos de terras raras e do lítio na Austrália destaca novamente que o potencial de danos ambientais não reside no próprio mineral, mas na qualidade e profundidade do conhecimento nas práticas de mineração, supervisão, planeamento e compreensão científica. Com base nas evidências disponíveis, não há dúvida de que a mineração não regulada ou mal regulada, como a dos elementos de terras raras e do lítio, é responsável actualmente por impactos

ambientais mais severos do que a mineração regulada de urânio na Austrália. Esforços são necessários para elevar todas as atividades de mineração ao mais alto padrão praticável.

Tais esforços, por parte da indústria, agências governamentais e organizações ativistas, devem ser preferencialmente direcionados para as áreas de maior necessidade e preocupação com base nas evidências disponíveis, não nas preocupações populares prevalentes relacionadas a um mineral específico.

Curiosamente o mesmo relatório salienta que os desenvolvimentos de lítio na Austrália apresentam características frequentemente destacadas por organizações anti-nucleares ao combater a mineração de urânio: mineração a céu aberto em áreas selvagens australianas, produção de rejeitados e processos de extração química. Embora esses desenvolvimentos de lítio ou

elementos de terras raras estejam sujeitos às regulamentações ambientais da Austrália, o mesmo se aplica a qualquer desenvolvimento de mineração, como no caso do urânio. Parece existir um duplo padrão em jogo em relação a como alguns movimentos ambientais se envolvem com desenvolvimentos de mineração, baseados não nos riscos ambientais, mas no produto final.

Acerca do risco geológico

Estamos perto duma falha geológica ativa e a construção duma central nuclear é um risco porque pode ocorrer um sismo idêntico ao de 1755

O Japão tem mais actividade sísmica que Portugal e tem centrais nucleares. O terramoto de 1755 foi entre 8,7 e 9 na escala de Richter e o do Japão em 2011 foi de 9,1 em que todas as centrais nucleares Japonesas sobreviveram sem danos significativos. A central de Fukushima não teve o incidente devido ao terramoto. Quem não tiver analisado o que foi feito no Japão em termos de tecnologia de construção anti sísmica terá certamente esta preocupação. No entanto, o acidente de Fukushima não resultou de falhas na construção anti-sísmica nem dos sistemas de segurança do reactor que se desligou tal como previsto numa

situação de terramoto. A central de Fukushima exibiu várias falhas conhecidas que numa situação extrema causaram o acidente. No entanto, o caso da central de Onagawa, localizada a 60 km do epicentro, é bastante mais interessante e ilustrativo de como uma cultura de segurança pode evitar um acidente [74]. A diferença na intensidade sísmica experimentada por ambas as centrais nucleares foi mínima, e a altura do tsunami em Onagawa foi maior do que em Fukushima Daiichi no entanto, a central de Onagawa manteve a sua integridade e conseguiu atingir a situação de paragem a frio sem problemas, porque foi contruída numa posição mais elevada em relação ao mar, e tinha outras soluções de engenharia contra o tsunami (o quebramar elevado, e as entradas de água mar adentro) assim como uma cultura de segurança com todos os operadores bastante bem preparados. O artigo [74] faz um levantamento exaustivo dos motivos que levaram a que Onagawa

seja um exemplo de sucesso. O uso de tecnologia de construção anti-sísmica e a adopção duma cultura de segurança desde a fase de projecto reduz drasticamente o risco. Mas quem se preocupa com o risco sísmico em Portugal, deverá também preocupar-se realmente a analisar o que aconteceria ao paredão da barragem de Castelo de Bode com um sismo de magnitude igual ao de 1755 e qual o seu impacto.

Um dos problemas que a energia nuclear enfrenta é a percepção que as populações têm da segurança. O nuclear é visto como sendo problemático confundindo-se o impacto dos acidentes de Chernobyl e Fukushima com o medo das bombas nucleares e criando uma narrativa de medo. No entanto, o pior acidente de energia de todos os tempos foi o colapso da barragem hidroeléctrica de Banqiao, na China, em 1975, que matou entre 170000 e 230000 pessoas [32].

Ideias para reflexão

2

Quem tem medo do dragão nuclear? A importância de estabelecer a confiança

*“Nada deve ser temido, é para ser compreendido”, Marie Curie
Mas, se não entendermos, somos facilmente enganados.*

Durante anos activistas falaram do dragão nuclear com histórias mitológicas do passado “Faz-me confusão que continuemos a achar que o nuclear é uma salvação, quando é cara, não sustentável, perigosa e não nos resolve nada, nem a curto nem a longo prazo. (...) é que custa muito mais do que o considerado. Custos escondidos e outros”. Afirmações como estas continuam a fazer eco ainda hoje, repetidas *ipsis verbis* por várias pessoas, apesar das muitas evidências que o contrariam.

Avaliações abrangentes do ciclo de vida mostram que a energia nuclear tem um dos menores impactos de qualquer fonte de energia [37], semelhantes às energias renováveis e muitas ordens de magnitude menores do que os combustíveis fósseis. Uma investigação do European Union Joint Research Centre “*não revelou nenhuma evidência científica de que a energia nuclear cause mais danos à saúde humana ou ao*

meio ambiente do que outras tecnologias de produção de eletricidade”.

Quando se trata de nuclear o que tem falhado na abordagem à população?

O método científico é rigoroso e as conclusões são apoiadas por evidências examinadas por um sistema de revisão por pares projetado para garantir avaliação minuciosa por especialistas antes da publicação. E os investigadores são sempre verdadeiros sobre seu conhecimento limitado e os limites de suas conclusões de trabalho. Continua a ser verdade hoje? Felizmente, é verdadeiro para uma grande fração dos investigadores. Mas os objetivos e estratégias abrangentes para desafiar o conhecimento científico foram modernizados pelo alcance mundial do ambiente e da cultura dos media. Os movimentos

anticientíficos e anti-factos estão a crescer e globalizando-se e encontrando ecos em audiências mais amplas.

É verdade que, em certa extensão, parte da culpa parece estar nos cientistas e divulgadores de ciência. A oferta de textos científicos “muito fáceis” pode levar ao excesso de confiança e subestimar a necessidade de especialistas [38], e apenas procurar informações on-line sobre um assunto leva as pessoas a sobrestimar seu conhecimento sobre um assunto não relacionado [39]. Dunning e Kruger mostraram que a confiança cresce mais rápido que o conhecimento [40]. A Joana Gonçalves de Sá, que tem feito um excelente trabalho a estudar o fenómeno das notícias falsas e desinformação, é coautora de um artigo onde se conclui que a confiança e o conhecimento de facto não andam de braço dado. Oferecer informações incompletas, parciais ou super-simplificadas,

como costumam fazer os comunicadores de ciência, pode realmente sair pela culatra, pois pode oferecer uma falsa sensação de conhecimento ao público, levando ao excesso de confiança e menos apoio.

Estes resultados são interessantes porque por um lado demonstram a dificuldade de comunicar ideias com base em resultados científicos, mas por outro lado explica como muitos factos “científicos” falsos se propagam e podem ser usados com fins mais nefastos. O livro *“The Playbook: How to Deny Science, Sell Lies, and Make a Killing in the Corporate World”* by Jennifer Jacquet fornece uma visão interessante sobre todas as armas utilizadas hoje para realizar a desinformação:

1. desafiar o problema (eu acrescentaria, desafiar as soluções alternativas),
2. questionar a causalidade,

3. desafiar o mensageiro, e
4. contestar a política.

Numa sociedade de (des)informação estas armas tornaram-se ainda mais letais e dificultam por exemplo as discussões acerca da energia nuclear.

Um exemplo que tenho dado recorrentemente prende-se com a questão dos custos do nuclear onde aparecem sempre as inevitáveis comparações com o LCOE das renováveis. Mas, como mostrado nas secções anteriores, estudos recentes para a Suíça e Países Baixos mostram que a combinação de geração de energias renováveis e carga de base nuclear tem custos de sistema consistentemente mais baixos do que cenários baseados exclusivamente em renováveis. Enquanto investimentos em novas fontes de produção de electricidade não forem comparados em igualdade de circunstâncias não deixará de

Haver vozes aclamar os elevados custos do nuclear.

Estabelecer a confiança da comunidade é vital

O estudo efectuado sobre o que seria necessário para implementar energia nuclear na Austrália [41] aponta como um factor vital a importância de garantir a confiança do público entre as comunidades locais e toda a sociedade australiana. O que o estudo afirma pode ser aplicável também em Portugal. Para que centrais nucleares possam ser consideradas uma opção para a próxima década, **o país precisará se sentir confortável com a energia nuclear em geral** e com as tecnologias específicas seleccionadas; com a implantação e operação da infraestrutura; a atualização das leis, regulamentos e instituições que regem o setor; e as capacidades e habilidades das

pessoas, indústria e instituições reguladoras.

O apoio amplo e duradouro da comunidade é essencial no setor de energia

e, especialmente, para a energia nuclear. A abordagem para o envolvimento da comunidade deve ser capaz de gerar um apoio forte. Portanto, ganhar e garantir a confiança do público não é um evento único: o envolvimento com as partes interessadas precisa estar no centro de um processo contínuo. Quando bem feito, é comumente referido como garantia de uma 'licença social para operar'. Não será uma tarefa fácil em Portugal. Entre os mitos propagados, a desinformação existente e o cepticismo nacional no que diz respeito a projectos de grandes dimensões e complexidade *“Isso é impossível. Veja-se o exemplo do novo aeroporto! Ou do TGV! Esse projecto é só para uns quantos porem uns milhões ao bolso!”* serão muitas as barreiras e entraves.

Será esta uma razão para que o assunto não seja discutido? Faz sentido não considerar uma opção credível mas com muito potencial por medo da opinião pública ou inépcia na sua sensibilização? A opção é baixar os braços só porque a tarefa é complicada?

O “secretismo”, preocupante numa democracia, relacionado com os temas da área da energia, em que não é disponibilizado, por quem de direito, informação vital para que, a sociedade civil, possa por um lado, perceber o racional por detrás de certas decisões políticas e por outro para que possa contribuir, dentro das suas capacidades, para que os decisores políticos possam ter mais dados que contribuam para uma melhor tomada de decisão.

No livro *“Dompter le dragon nucléaire”* Alain Michel afirma que manifestações às vezes

violentas da população durante os projetos de construção de centrais nucleares são uma reação a decisões consideradas antidemocráticas. No passado, em muitas situações, as decisões das autoridades públicas confirmaram repetidamente os temores dos manifestantes. É assim que quando fundamentalmente, não os queremos no nosso bairro, comportamento baptizado pelos anglo-saxões NIMBY (Not In My Back Yard), acusamos os decisores de terem agido de forma antidemocrática.

Em Portugal temos o exemplo da contestação à construção duma central nuclear em Ferrel em 1976. Ao longo dos anos e em ocasiões distintas, fui abordado por várias pessoas que se manifestaram contra e que hoje dizem que se apercebem agora do erro de julgamento em que embarcaram na altura. Entretanto, em Ferrel, uma placa comemorativa celebra o momento em que o mito venceu a racionalidade.

O mais preocupante é que poderia acontecer hoje, ainda que, em muitos países na Europa, o sentimento favorável ao uso ou adoção da energia nuclear tenha vindo a aumentar, havendo inclusive manifestações pro-nuclear (veja-se por exemplo as manifestações promovidas pela organização Voices of Nuclear).

É possível uma resposta diferente da população mas, na era de (des)informação será importante providenciar informação credível e um forte envolvimento da sociedade civil.



Em Ferrel, uma placa comemorativa celebra o momento em que o mito venceu a racionalidade

O caminho do dragão

Em vários artigos que escrevi recentemente foquei-me na oportunidade e competência [42] e na necessidade [43-44] de considerar o nuclear como uma opção para Portugal. Uma central nuclear demora tempo a construir, mas não sendo a necessidade imediata há agora a oportunidade para considerar seriamente, sem andar posteriormente a correr atrás do prejuízo. Uma vez que a opção de um SMR parece ser a mais adequada para Portugal do ponto de vista do tempo de construção ainda estamos bem dentro da janela de oportunidade. No entanto, para que consigamos aproveitar essa janela de oportunidade teremos de, a muito curto prazo, caso seja essa a opção do Governo Português, começar a tratar do tema com a IAEA.

Vários aspectos da transição energética têm muito de pensamento mágico em detrimento

duma estratégia, tema que abordei num artigo anterior com alguns exemplos [45].

Para que não se caia numa situação de pensamento mágico apenas, o caminho para o nuclear deve ser alicerçado em estudos preliminares sérios, que abordem de forma inequívoca:

- A necessidade e capacidade de resposta das várias opções energéticas
- As opções tecnológicas e alternativas
- Os custos totais do sistema e alternativas
- A localização
- A informação e sensibilização

E que definam uma estratégia de implementação e diálogo com a população e sociedade civil.

Quem tem medo do dragão?

A elaboração de estudos preliminares não é vinculativa e apenas adiciona credibilidade ao sistema e às tomadas de decisão. Se acompanhados numa campanha de sensibilização e envolvimento da sociedade civil, adicionarão transparência ao processo.

Só quem tem algo a temer da transparência dos processos decisórios é que poderá temer estudos preliminares e a avaliação e comparação dos custos desta fonte de produção de electricidade com base em TSC (Total System Cost) e do uso de critérios que permitam comparar de maneira justa todas as tecnologias previstas.

É preciso também dar a conhecer o dragão para que a população perceba que este está domesticado, tal como se pode verificar de alguns exemplos abaixo.

Uma central nuclear demora tempo a construir, mas não sendo a necessidade imediata há agora a **oportunidade para considerar seriamente** a sua pertinência **envolvendo a sociedade civil para que a potencial adoção seja consensual e assente numa discussão informada**. Para que centrais nucleares possam ser consideradas uma opção para a próxima década, o país precisará de sentir-se confortável com a energia nuclear e compreender que o dragão nuclear é um mito.

"Pois o grande inimigo da verdade muitas vezes não é a mentira – deliberada, artificial e desonesta – mas o mito – persistente, persuasivo e irreal. (...) Sujeitamos todos os factos a um conjunto pré-fabricado de interpretações. Desfrutamos do conforto da opinião sem o desconforto do pensamento." disse John F. Kennedy num discurso.

Infelizmente, no mundo actual, o mito coexiste com pessoas com maior oposição ao consenso científico, confiantes no seu conhecimento, mas que tendem a ter os níveis mais baixos de conhecimento científico objetivo [46] e com os usuários do manual de como negar a ciência, vender mentiras e ganhar dinheiro no mundo corporativo.

A compreensão desta realidade poderá ajudar a desenhar uma campanha de sensibilização e educação da energia nuclear junto da sociedade civil, sem a qual a sua adopção em Portugal será certamente difícil. A decisão política sem explicação é contraproducente junto das populações e as intervenções educacionais baseadas em factos têm menos probabilidade de serem eficazes para muito do público confiante do seu conhecimento. Em vez de intervenções focadas apenas no conhecimento objetivo, tem sido sugerido que o foco na mudança das percepções dos indivíduos sobre seu

próprio conhecimento pode ser um primeiro passo útil.

O desafio será encontrar maneiras apropriadas de convencer os indivíduos anti-consensuais de que eles não são tão bem informados quanto pensam que são.

Nenhuma fonte de energia está livre de ter acidentes ou é completamente segura. Qualquer método de produção de electricidade pode causar grandes pressões ambientais ou sociais. Infelizmente, a opinião pública sobre a energia nuclear tende a ser muito negativa mas totalmente errada. Qualquer tecnologia pode ser usada bem e pode ser usada mal e pode ser usada para o bem ou pode ser usada para o mal. O nuclear é como o conhecimento. Não é bom nem mau. Tem que ser usado com o devido respeito e orientação moral. Respeitado e bem usado, é uma arma de desenvolvimento sustentável poderosíssima. É necessário

respeito , respeitar as regras e fazer todos os possíveis para que seja o mais segura possível . E a fissão nuclear está entre as formas de produzir energia mais seguras que conhecemos e eficiente se bem usada.

Vários posters foram produzidos no Oak Ridge National Laboratory em 1947 com objetivo de lembrar o pessoal das práticas de segurança contra radiação e também para que eles soubessem o que significava o termo "Health Physics", ou seja, proteção contra radiação. Em 1947, o termo tinha apenas 4 anos e não era menos confuso do que agora. (<https://www.ornl.org/health-physics-museum/collection/health-physics-posters/index.html>)



Reconhecer e combater a desinformação

3

Reconhecer campanhas de desinformação

As campanhas de desinformação visam e são projectadas para manipular a opinião pública, espalhando informações falsas ou enganosas.

As campanhas de desinformação podem ter consequências graves, como comprometer a segurança pública, criar confusão e fomentar a desconfiança. Tais campanhas podem ser realizadas por diversos grupos, incluindo governos, corporações ou grupos de interesse, com o objetivo de promover os seus interesses ou agendas. As campanhas de desinformação podem usar várias táticas, incluindo desinformação, propaganda e relatórios selectivos para criar confusão, cepticismo ou medo entre o público. Os livros “Merchants of doubt” [78] e The playbook [79] mostram vários exemplos de como este tipo de campanhas foram usadas de forma eficiente ao longo dos últimos anos, e em várias instâncias, incluindo para desinformar acerca dos malefícios do tabaco, da existência de chuvas ácidas ou acerca do aquecimento global e a variedade de táticas usadas para maximizar o efeito destas campanhas junto do público.

Como posso identificar uma campanha de desinformação?

Identificar uma campanha de desinformação pode ser um desafio, mas existem algumas assinaturas identificáveis que podem ajudar. Aqui estão alguns sinais comuns:

1. Falta de transparência: A falta de transparência é uma assinatura comum de campanhas de desinformação. A desinformação é frequentemente espalhada por fontes anónimas, perfis falsos nas redes sociais ou sites que não divulgam sua propriedade ou fontes de financiamento. A falta de transparência dificulta a verificação da precisão e validade das informações apresentadas.

2. Apelos às emoções: As campanhas de desinformação muitas vezes dependem de apelos às emoções para espalhar a sua mensagem. Para este efeito podem usar

linguagem, imagens ou vídeos dramáticos para evocar emoções fortes no público, como medo, raiva ou esperança. O uso de apelos emocionais pode dificultar o pensamento crítico sobre as informações apresentadas.

3. Uso de informações erradas ou meias-verdades: As campanhas de desinformação geralmente baseiam-se em informações erradas ou meias-verdades para divulgar a sua mensagem. Para apoiar suas reivindicações podem usar estatísticas, dados ou citações fora de contexto. Podem também fazer afirmações falsas ou distorcer a verdade para que esta se adeque à sua agenda. O uso de desinformação ou meias-verdades pode dificultar a distinção entre facto e ficção.

4. Falta de fontes confiáveis: As campanhas de desinformação geralmente dependem de fontes que não são confiáveis ou não são reconhecidas como especialistas

no seu campo. Podem recorrer a especialistas falsos, fontes tendenciosas ou fontes desacreditadas para apoiar as suas reivindicações. A falta de fontes confiáveis pode dificultar a verificação da precisão e validade das informações apresentadas.

5. Rápida disseminação de informações:

as campanhas de desinformação geralmente espalham informações rapidamente por meio das redes sociais, sites ou outras plataformas online. Para máximo efeito podem usar bots ou outras ferramentas automatizadas para ampliar a sua mensagem e alcançar um público mais amplo. A rápida disseminação de informações pode dificultar a verificação dos factos apresentados.

Como reconhecer uma campanha de desinformação anti-nuclear?

No contexto da energia nuclear, as campanhas de desinformação podem ser

usadas para criar oposição pública às centrais nucleares, impedir o desenvolvimento de tecnologias de energia nuclear ou reduzir o apoio público à energia nuclear. Alguns temas comuns de campanhas de desinformação contra a energia nuclear incluem:

1. Preocupações de segurança: As campanhas de desinformação podem exagerar os riscos e perigos da energia nuclear, assim como o potencial de acidentes nucleares, exposição à radiação ou gestão do lixo nuclear. Estas tendem também a ignorar ou minimizar as medidas e regulamentação de segurança que foram implementados para garantir a segurança das centrais nucleares.

2. Preocupações ambientais: As campanhas de desinformação podem concentrar-se nos impactos ambientais da energia nuclear, como o uso de recursos

naturais, emissões de gases de efeito estufa ou os riscos do descarte de lixo nuclear. Estas campanhas também podem ignorar o facto de que a energia nuclear é uma fonte de energia de baixo carbono que pode ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar as mudanças climáticas.

3. Preocupações com custos: Campanhas de desinformação podem exagerar os custos da energia nuclear, incluindo a construção e manutenção de centrais nucleares, a gestão de resíduos nucleares e as responsabilidades potenciais de acidentes nucleares. Estas campanhas também tendem a ignorar que a energia nuclear pode ser uma fonte de energia económica, especialmente a longo prazo.

4. Preocupações políticas: As campanhas de desinformação podem usar a energia nuclear como uma questão política, concentrando-se nas potenciais implicações

geopolíticas da energia nuclear, como proliferação nuclear, armas nucleares ou dependência de fornecedores estrangeiros de combustível nuclear. Ignoraram também que a energia nuclear pode contribuir para a independência energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Uma campanha de desinformação sobre a energia nuclear pode envolver espalhar medo e incerteza, destacar incidentes, questionar a credibilidade de especialistas, usar apelos emocionais:

1. Espalhar o medo e a incerteza: As campanhas de desinformação costumam usar o medo como tática para dissuadir as pessoas de adotar uma determinada tecnologia ou política. No caso da energia nuclear, a campanha pode usar táticas de intimidação para exagerar os riscos associados à energia nuclear e minimizar os benefícios.

2. Destacar incidentes: Campanhas de desinformação podem destacar acidentes ou incidentes ocorridos na indústria nuclear para criar a impressão de que a energia nuclear é insegura ou não confiável. Eles podem se concentrar em incidentes ocorridos no passado, como Chernobyl ou Fukushima, em vez de desenvolvimentos mais recentes que melhoraram as medidas de segurança.

3. Questionar a credibilidade dos especialistas: As campanhas de desinformação podem tentar minar a credibilidade dos especialistas no campo da energia nuclear, sugerindo que eles são tendenciosos ou têm conflitos de interesse. Eles podem usar fontes alternativas de informação ou especialistas que não são reconhecidos na área para apoiar suas reivindicações.

4. Uso de apelos emocionais: As campanhas de desinformação muitas vezes

dependem de apelos emocionais para influenciar a opinião pública. Eles podem usar imagens, vídeos ou histórias que provocam medo, raiva ou esperança de manipular o sentimento público. Um exemplo comum é a associação do uso energia nuclear para produção de electricidade ao uso e proliferação de armas nucleares recorrendo a imagens referentes ao bombardeamento de Hiroshima e Nagasaki.

Estes temas e táticas podem ser usados para criar uma percepção negativa da energia nuclear entre o público, o que pode levar a um menor apoio e dificultar a adopção da energia nuclear. As campanhas de desinformação também podem dificultar a tomada de decisões informadas sobre a energia nuclear por parte da classe política, para evitarem enfrentar oposição pública ou pressão de grupos de interesse.

Para evitar a adopção da energia nuclear, as

campanhas de desinformação também podem promover fontes alternativas de energia, como energia renovável, e destacar seus benefícios enquanto minimizam suas desvantagens. Isto pode criar uma falsa dicotomia entre energia nuclear e energia renovável, ignorando o facto de que ambas as fontes podem se complementar e contribuir para um mix energético sustentável.

Quem são os principais propagadores da desinformação sobre a energia nuclear?

É difícil identificar grupos ou indivíduos específicos responsáveis por espalhar desinformação sobre a energia nuclear, pois ela pode vir de várias fontes, incluindo grupos de interesse especial, ativistas antinucleares ou até governos estrangeiros. No entanto, aqui estão alguns grupos ou

indivíduos em potencial que podem estar envolvidos na disseminação de desinformação:

1. Grupos de interesses especiais:

Indústrias ou organizações que têm interesse em opo-se à energia nuclear, como a indústria de combustíveis fósseis, podem espalhar desinformação para proteger seus próprios interesses.

2. Ativistas anti-nucleares:

Alguns indivíduos ou grupos opõem-se à energia nuclear por razões ideológicas ou filosóficas e podem usar a desinformação como tática para influenciar a opinião pública.

3. Governos estrangeiros: Em alguns casos, os governos estrangeiros podem usar campanhas de desinformação para minar a credibilidade dos programas de energia nuclear dos seus adversários ou para promover os seus próprios interesses.

4. Teóricos da conspiração: Alguns indivíduos podem acreditar em teorias da conspiração sobre a energia nuclear, como a de que esta é um disfarce para atividades militares ou que faz parte de um plano maior para dominar o mundo. Um exemplo com que me deparei recentemente afirma que “em Fukushima foram produzidos relatórios inevitavelmente falsos para não se alarmar a população do Japão” e isto apesar de haver vários relatórios de agencias internacionais acerca do incidente de Fukushima e sobre o risco radiológico (e.g. da UNSCEAR).

É importante observar que nem toda oposição à energia nuclear é baseada em desinformação, e há preocupações e debates legítimos em torno da segurança, custo e impacto ambiental da energia nuclear. No entanto, é importante avaliar criticamente as informações apresentadas e separar o fato da ficção para tomar decisões informadas sobre a energia nuclear.

Como combater a desinformação?

As campanhas de desinformação podem ser usadas para manipular a opinião pública e impedir a adoção da energia nuclear. Para evitar tais campanhas, é essencial promover a transparência, relatórios baseados em factos e discussões equilibradas sobre a energia nuclear e seus benefícios e desvantagens. Ao fazer isto, podemos garantir que os formuladores de políticas e o público possam tomar decisões informadas sobre o papel da energia nuclear na transição para um futuro energético sustentável.

Combater as campanhas de desinformação pode ser uma tarefa desafiadora, mas é essencial evitar a disseminação de informações falsas ou enganosas que possam prejudicar a segurança pública, criar confusão ou fomentar a desconfiança. O combate às campanhas de desinformação requer uma abordagem abrangente e coordenada que envolve uma série de

estratégias e táticas. Aqui estão algumas estratégias que podem ser eficazes no combate às campanhas de desinformação:

1. Promova transparência e verificação de factos: as campanhas de desinformação prosperam num ambiente de ambiguidade e incerteza. Transparência e verificação de factos são essenciais para evitar a disseminação de informações falsas ou enganosas. Ao promover a transparência e a verificação de factos, pode fornecer informações precisas e confiáveis ao público e combater narrativas falsas ou enganosas. Ao ser transparente sobre as fontes de informação e fornecer dados claros e precisos, você pode ajudar as pessoas a tomar decisões informadas. A verificação de factos também é uma ferramenta essencial para identificar informações falsas ou enganosas. Pode ajudar recorrendo ao uso de ferramentas e sites de verificação de factos para verificar as informações e, em

seguida, disseminar as informações corretas por meio de fontes confiáveis.

2. Envolve-se em discussões abertas e equilibradas: As campanhas de desinformação geralmente baseiam-se numa retórica polarizadora e divisiva para criar oposição a uma questão específica. Ao se envolver em discussões abertas e equilibradas, poderá promover uma compreensão mais subtil e informada do problema e ajudar a combater as falsas narrativas que são espalhadas. Você pode ainda organizar fóruns públicos, debates ou reuniões municipais para promover um diálogo construtivo e respeitoso.

3. Use as redes sociais com responsabilidade: As redes sociais são uma ferramenta poderosa para compartilhar informações, mas também são plataformas onde a desinformação pode espalhar-se rapidamente. As redes sociais são

frequentemente usadas para espalhar desinformação, e é essencial usá-las com responsabilidade para evitar a disseminação de informações falsas ou enganosas. Deverá usar as redes sociais para promover informações precisas e confiáveis, participar de discussões abertas e construtivas e combater narrativas falsas. O uso responsável das redes sociais significa estar atento às informações que compartilha e às fontes dessas informações. Compartilhar conteúdo de fontes respeitáveis e verificar informações antes de compartilhá-las pode ajudar a prevenir a disseminação de desinformação. Pode ainda considerar denunciar conteúdo falso ou enganoso aos administradores da plataforma ou usar ferramentas de verificação de factos para identificar conteúdo enganoso.

4. Colabore com fontes confiáveis: as campanhas de desinformação geralmente contam com a credibilidade das suas fontes

para divulgar informações falsas ou enganosas. A colaboração com fontes confiáveis é essencial para combater as campanhas de desinformação. Ao colaborar com fontes confiáveis, como organizações científicas, agências governamentais ou especialistas independentes, poderá fornecer informações precisas e confiáveis ao público e combater as falsas narrativas que vão sendo espalhadas. Colaborar com meios de comunicação e jornalistas empenhados em relatar informações precisas também é crucial.

5. Fortalecer o pensamento crítico e a literacia digital: Campanhas de desinformação podem ser evitadas capacitando o público a pensar criticamente e desenvolver literacia digital. Ao promover a literacia digital, poderá ajudar as pessoas a distinguir entre fontes confiáveis e não confiáveis, identificar conteúdo falso ou enganoso e avaliar criticamente as

informações que recebem. Isto pode incluir ensinar as pessoas a identificar falácias e vieses lógicos e como verificar informações. Poderá também recorrer a campanhas educacionais, workshops ou recursos online para promover a literacia digital e o pensamento crítico.

Ao trabalharmos juntos e promovermos informações precisas e confiáveis, podemos evitar a disseminação de narrativas falsas ou enganosas e garantir que o público tenha acesso às informações necessárias para tomar decisões informadas. É importante observar que o combate às campanhas de desinformação é um processo contínuo e requer um compromisso de longo prazo para promover informações precisas e confiáveis. À medida que surgem novas tecnologias e plataformas de redes sociais, as táticas usadas em campanhas de desinformação continuarão a evoluir. Portanto, é importante permanecer vigilante e estar disposto a se

adaptar e mudar as estratégias conforme necessário. Ao trabalharmos juntos e promovermos informações precisas e confiáveis, podemos evitar a disseminação de narrativas falsas ou enganosas e garantir que o público tenha acesso às informações necessárias para tomar decisões informadas.

Formas eficazes de fortalecer o pensamento crítico

Capacitar eficazmente o pensamento crítico é essencial para combater as campanhas de desinformação :

1. Incentive o questionamento e o ceticismo: Incentivar as pessoas a fazerem perguntas e serem cépticas em relação às informações é uma maneira poderosa de promover o pensamento crítico. Ao fazer perguntas e considerar múltiplas perspectivas, as pessoas são mais capazes de avaliar a precisão e a validade das

informações. É importante encorajar as pessoas a questionarem as suas suposições, desafiarem as suas próprias crenças e a procurarem evidências que apoiem ou contradigam os seus pontos de vista.

2. Promova a literacia digital: A literacia digital é a capacidade de aceder, analisar, avaliar e criar conteúdos. Promover a literacia digital significa ensinar às pessoas a avaliarem criticamente as informações que recebem e a reconhecerem a diferença entre fontes confiáveis e não confiáveis de informação. Pode ainda incluir ensinar as pessoas a verificarem informações, identificarem falácias e vieses lógicos e avaliar criticamente as evidências apresentadas.

3. Ensine habilidades de resolução de problemas: Ensinar às pessoas habilidades de resolução de problemas é outra maneira de promover o pensamento crítico. Isto

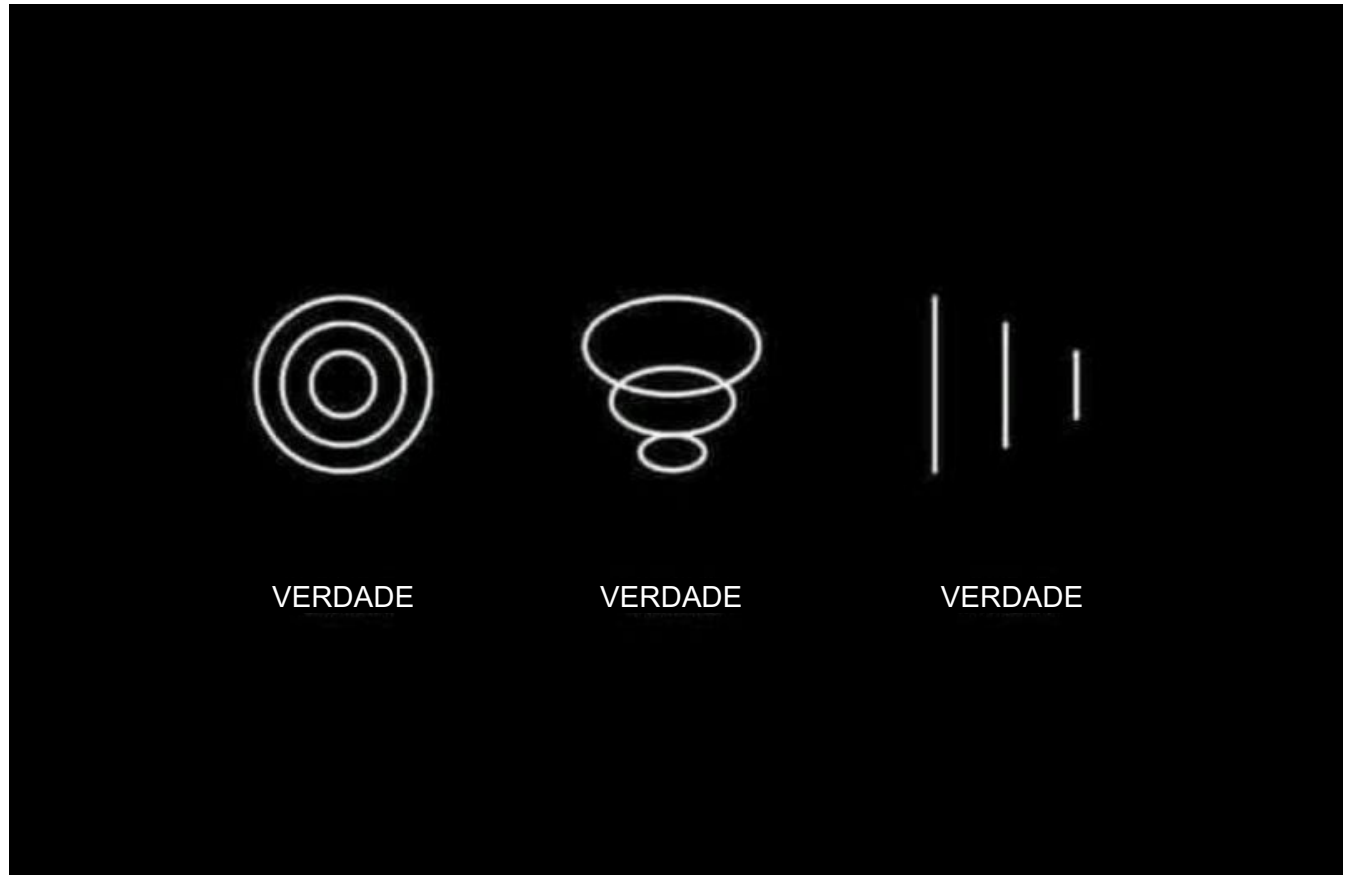
significa ensinar as pessoas a identificarem problemas, desenvolverem hipóteses e avaliarem evidências para apoiar ou refutar essas hipóteses. Ao promover habilidades de resolução de problemas, as pessoas estão melhor equipadas para lidar com questões complexas e avaliar a precisão e a validade das informações.

4. Promova a colaboração: A colaboração é outra maneira poderosa de promover o pensamento crítico. Ao trabalharem juntas e se envolverem em discussões abertas e construtivas, as pessoas são mais capazes de avaliar diferentes perspectivas e identificar áreas de acordo e desacordo. A colaboração pode ajudar a desafiar suposições, identificar pontos cegos e promover uma compreensão mais subtil e informada de um problema.

5. Use exemplos e estudos de caso: Usar exemplos e estudos de caso é uma maneira poderosa de promover o pensamento crítico.

Ao apresentar exemplos de como o pensamento crítico foi usado no passado, as pessoas são mais capazes de entender como aplicar o pensamento crítico nas suas próprias vidas. Os estudos de caso podem ser usados para demonstrar como as pessoas avaliaram informações com sucesso, identificaram vieses e falácias e desenvolveram soluções baseadas em evidências para questões complexas.

Capacitar as pessoas com habilidades de pensamento crítico é um processo contínuo e requer um compromisso de longo prazo para promover a precisão e a confiabilidade das informações. Hoje em dia, qualquer discussão sobre qualquer assunto rapidamente torna-se extremamente polarizada e com pessoas entrincheiradas na sua perspectiva do mundo, sem muitas vezes quererem olhar com atenção os factos e as outras perspectivas. É importante ver outros lados da realidade.



Pensamento crítico é essencial para conseguir distinguir entre verdade e perspectiva. É importante ver outros lados da realidade.

Diretrizes para comunicar sobre energia nuclear

É importante comunicar de forma transparente, factual e equilibrada. A negação da ciência prospera sob as condições de pouca informação, propensão a teorias da conspiração e falta de confiança.

1. Seja transparente sobre suas fontes: Ao apresentar informações sobre energia nuclear, é importante ser claro sobre a origem das suas informações. Forneça referências e fontes para os dados e informações que apresenta e seja honesto sobre quaisquer preconceitos ou conflitos de interesse que possa ter.

2. Apresentar fatos e evidências: Ao discutir energia nuclear, restrinja-se aos factos e evidências e evite fazer alegações ou afirmações sem fundamento. Se não tiver certeza sobre uma determinada informação, faça sua pesquisa para verificar a precisão desta antes de apresentá-la a outras pessoas.

3. Reconhecer e abordar as preocupações: É importante reconhecer e abordar as preocupações e questões legítimas sobre energia nuclear, como preocupações sobre segurança ou gestão de

Ao abordar essas preocupações de forma transparente e factual, poderá ajudar a construir confiança e credibilidade na sua audiência.

4. Evite o sensacionalismo: Ao discutir energia nuclear, evite linguagem sensacionalista ou alarmista que possa criar medo ou pânico desnecessários. Restrinja-se aos factos e apresente as informações de maneira calma e equilibrada.

5. Esteja atento ao seu público: Ao comunicar sobre energia nuclear, é importante estar atento ao seu público e ao seu nível de conhecimento e entendimento sobre o assunto. Adapte sua mensagem e linguagem ao seu público e esteja preparado para responder a perguntas e abordar preocupações.

6. Forneça contexto: Ao apresentar informações sobre energia nuclear, forneça

contexto e informações básicas para ajudar o público a entender melhor o tópico. Isto pode incluir informações sobre a história e o desenvolvimento da energia nuclear, bem como o estado actual da indústria.

7. Incentive o pensamento crítico: Incentive a audiência a pensar criticamente sobre as informações que recebem e a fazer as suas próprias pesquisas e verificações de factos. Ao capacitar as pessoas a pensar criticamente, você poderá ajudar a combater a desinformação e promover uma discussão mais informada e equilibrada sobre a energia nuclear.

Ao seguir essas diretrizes, poderá ajudar a promover uma discussão mais transparente, factual e equilibrada sobre energia nuclear e ter um papel activo no combate à desinformação sobre energia nuclear

Referências

- [1] Myslobodsky, Michael. "The Origin of Radiophobias." *Perspectives in Biology and Medicine*, vol. 44 no. 4, 2001, p. 543-555. *Project MUSE*, doi:10.1353/pbm.2001.0071.
- [2] Para uma análise muito mais detalhada consultar o livro online “Fusão Nuclear na era das alterações climáticas”, https://www.ipfn.tecnico.ulisboa.pt/fusao_nuclear_alteracoes_climaticas/download.htm
- [3] <https://www.science.org/doi/10.1126/sciad.v.abo0038>
- [4] (https://unece.org/sites/default/files/2022-09/Technology%20Interplay_final_2_1.pdf)
- [5] https://www.researchgate.net/publication/321715136_Small_modular_reactors_Can_building_nuclear_power_become_more_cost-effective
- [6] <https://files.americanexperiment.org/wp-content/uploads/2022/09/The-High-Cost-of-100-Percent-Carbon-Free-Electricity-by-2040-in-Minnesota.pdf>
- [7] <https://www.ft.com/content/1859ab32-2230-11e9-8ce6-5db4543da632>
- [8] <https://energy.glex.no/footprint>
- [9] <https://energy.glex.no/feature-stories/area-and-material-consumption>
- [10] <https://docs.wind-watch.org/US-footprints-Strata-2017.pdf>
- [11] <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0270155>
- [12] John van Zalka, Paul Behrens, “The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A T review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S.”, *Energy Policy* 123 (2018) 83–91
- [13] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262202131X>
- [14] https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015_0.pdf
- [15] <https://www.nature.com/articles/s41467-020-17928-5>
- [16] https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015_0.pdf
- [17] QuadrennialTechnologyReview, US. Department of Energy,, 2015, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015_0.pdf
- [18] <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

[19] https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_74877/achieving-net-zero-carbon-emissions-in-switzerland-in-2050-low-carbon-scenarios-and-their-system-costs?details=true

[20] <https://open.overheid.nl/repository/ronl-f29c1eb8-af04-4e8c-bc95-812be06991be/1/pdf/POSSIBLE%20ROLE%20OF%20NUCLEAR%20IN%20THE%20DUCH%20ENERGY%20MIX%20IN%20THE%20FUTURE.pdf>

[21] <https://open.overheid.nl/repository/ronl-46fb6f84d40d2ed22a4db4709e932d03f53b82c2/1/pdf/scenariostudie-kernenergie.pdf>

[22] https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World_62558c01-8747-4fc8-a026-9d62032488a9.pdf

[23] https://www.researchgate.net/publication/321715136_Small_modular_reactors_Can_building_nuclear_power_become_more_cost-effective

[24] <https://ourworldindata.org/nuclear-energy>

[25] Health benefits, ecological threats of low-carbon electricity, Thomas Gibon et al., <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6047>

[26] https://www.unscear.org/unscear/uploads/images/videos/UNSCEAR_FFUP-II_Report_findings_English.mp4

[27] Kharecha, P. A., & Hansen, J. E. (2013). Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environmental Science & Technology*, 47(9), 4889-4895

[28] <https://www.rff.org/news/press-releases/social-cost-of-carbon-more-than-triple-the-current-federal-estimate-new-study-finds/>

[29] <https://www.rferl.org/a/european-remembrance-day-ukraine-little-known-ww2-tragedy/25083847.html>

[30] Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14 (Rev. 1) (2022)

[31] <https://www.iaea.org/bulletin/shrinking-nuclear-waste-and-increasing-efficiency-for-a-sustainable-energy-future>

[32] <https://www.popularmechanics.com/science/energy/a40437341/banjiao-dam-disaster/>

[33] OECD NEA (2018), “[The Full Costs of Electricity Provision](#)”, OECD Publishing, Paris

[34] BYROM, S. et al. Total Systems Cost: A Better Metric for Valuing Electricity in Supply Network Planning and Decision-Making. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL INFORMATICS LETTERS, [S.l.], p. 75-85, apr. 2021. ISSN 1684-8799, <http://www.jeiletters.org/index.php?journal=mys&page=article&op=view&path%5B%5D=202100056>

[35] Full Cost of Electricity 'FCOE' and Energy Returns 'eROI', https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4000800

[36] IEA Electricity Market Report - July 2021, <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-july-2021>

[37] Health benefits, ecological threats of low-carbon electricity, Thomas Gibon et al., <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6047>

[38] L. Scharrer, Y. Rupieper, M. Stadtler, and R. Bromme, Public Understand. Sci. 26, 1003 (2017).

[39] M. Fisher, M. K. Goddu, and F. C. Keil, Journal of Experimental Psychology: General 144, 674 (2015).

[40] J. Kruger and D. Dunning, Journal of Personality and Social Psychology 77, 1121 (1999).

[41] <https://energy.uq.edu.au/files/5963/WhatWouldBeRequired-FINAL.pdf>

[42] <https://www.linkedin.com/pulse/energia-nuclear-em-portugal-oportunidade-e-bruno-soares-gon%25C3%25A7alves/>

[43] <https://www.linkedin.com/pulse/energia-nuclear-poder%25C3%25A1-desempenhar-um-papel-de-2035-soares-gon%25C3%25A7alves/>

[44] <https://www.linkedin.com/pulse/qual-o-impacto-do-aumento-de-ve%25C3%25ADculos-el%25C3%25A9ctricos-em-soares-gon%25C3%25A7alves/>

[45] <https://www.linkedin.com/pulse/pensamento-m%25C3%25A1gico-e-transi%25C3%25A7%25C3%25A3o-energ%25C3%25A9tica-bruno-soares-gon%25C3%25A7alves/?trackingId=Zt8%2BJrChQR2Tpj3mchU6YQ%3D%3D>

[46] <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abo0038>

[47] <https://www.world-nuclear.org/getmedia/9dafaf70-20c2-4c3f-ab80-f5024883d9da/World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx>

[48] <https://www.nasdaq.com/articles/china-to-start-building-hualong-two-nuclear-reactor-in-2024-2021-04-14>

[49]<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/porta-l-english/en03-08.html>

[50] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tondela>

[51]<https://www.science.org/content/article/physician-has-studied-fukushima-disaster-decade-and-found-surprising-health-threat>

[52] <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/appendices/fukushima-radiation-exposure.aspx>

[53]<https://www.discovermagazine.com/environment/how-long-will-fukushima-stay-radioactive>

[54]<https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/status-update>

[55] <https://www.nei.org/resources/fact-sheets/comparing-fukushima-and-chernobyl>

[56][https://www.iaea.org/newscenter/focus/ernobyl/faqs](https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs)

[57] <https://knoww.net/outros/lista-dos-maiores/cidades-portugal-lista-das-maiores/>

[58] <https://www.newsweek.com/chernobyl-safe-now-when-will-1414489>

[59][https://globalresilience.northeastern.edu/fourty-three-years-after-meltdown-in-ernobyl-social-and-economic-resilience-help-drive-recovery/](https://globalresilience.northeastern.edu/fourty-three-years-after-meltdown-in-chernobyl-social-and-economic-resilience-help-drive-recovery/)

[60] https://www.tripadvisor.com/Attractions-g298058-Activities-c42-Chernobyl_Kiev_Oblast.html

[61][https://knowablemagazine.org/article/food-environment/2022/scientists-cant-agree-about-ernobyls-impact-wildlife](https://knowablemagazine.org/article/food-environment/2022/scientists-cant-agree-about-chernobyls-impact-wildlife)

[62] <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

[63] <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/ernobyl-accident.aspx>

[64] <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

[65]https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2020_21_Report_Vol.II.pdf

[66]https://fuelcycleoptions.inl.gov/SiteAssets/SitePages/Home/SMR_Waste_Attributes_Report_Final.pdf

[67] <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/non-proliferation/safeguards-to-prevent-nuclear-proliferation.aspx>

[68] Nicholas L. Miller; Why Nuclear Energy Programs Rarely Lead to Proliferation. *International Security* 2017; 42 (2): 40–77. doi: https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00293

[69] <https://www.iaea.org/newscenter/news/all-modular-reactors-a-challenge-for-spent-fuel-management>

[70] J. Beauson et al., “The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 155, 2022, 111847, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111847>

[71] Lee McIntyre, *How to talk to a Science Denier*, The MIT Press, 2021

[72] <https://www.publico.pt/2022/11/27/azul/en-trevista/lee-mcintyre-negacionistas-realmente-procuram-alguem-ouca-2025030>

[73] Eileen Dombrowski, “Facts Matter After All: Rejecting the Backfire Effect,” *Oxford Education Blog*, March 12, 2018, <https://educationblog.oup.com/theory-of-knowledge/facts-matter-after-all-rejecting-the-backfire-effect>.

[74] Michaela Ibrion, et al. , *Results in Engineering*, Volume 8, 2020 , 100185, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100185>

[75] <https://www.linkedin.com/pulse/energia-nuclear-poderá-desempenhar-um-papel-de-2035-soares-goncalves/>

[76] <https://www.linkedin.com/pulse/qual-o-impacto-do-aumento-de-ve%C3%ADculos-eléctricos-em-soares-goncalves/>

[77] <https://www.linkedin.com/pulse/energia-nuclear-em-portugal-oportunidade-e-bruno-soares-goncalves/>

[78] *Merchants of Doubt*, how a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming, Naomi Oreskes & Erik M. Conway, Bloomsbury Press

[79] *The Playbook*, How to deny science, sell lies and making a killing in the corporate world, Jennifer Jacquet, “New York: Pantheon Books, 2022

[80] Harjanne, A. & Korhonen, J. M. (2019). *Abandoning the concept of renewable energy* *Energy Policy* 127, 330-340, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.029>

[81] L. Dobrzynski et al., *Dose-Response: An International Journal* July-September 2015:1-10, DOI: 10.1177/1559325815592391

[82] Thorpe, C.L., Neeway, J.J., Pearce, C.I. et al. Forty years of durability assessment of nuclear waste glass by standard methods. npj Mater Degrad 5, 61 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41529-021-00210-4>

[83] <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/military-warheads-as-a-source-of-nuclear-fuel.aspx>.

Contacte-nos

Se quiser contactar o IPFN:



www.ipfn.tecnico.ulisboa.pt
+351 21 841 7696
ipfn@ipfn.tecnico.ulisboa.pt

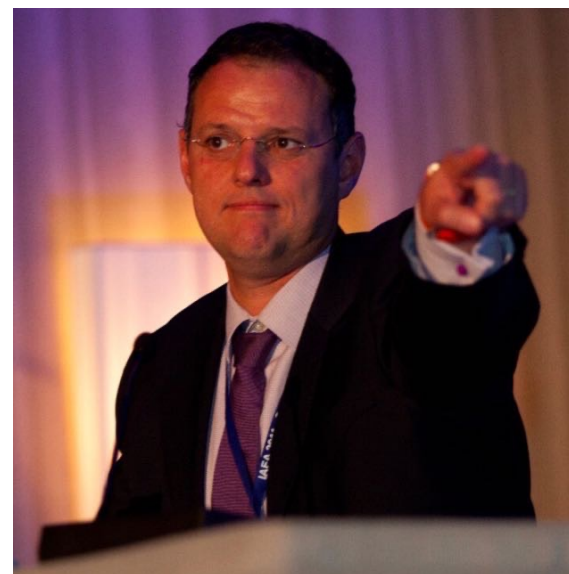


Facebook:
[IPFNLA](https://www.facebook.com/IPFNLA)



LinkedIn:
[ipfn](https://www.linkedin.com/company/ipfn)

*Se quiser contactar
o Bruno:*



LinkedIn:
[bruno-soares-goncalves-
106819212](https://www.linkedin.com/in/bruno-soares-goncalves-106819212)



bruno@ipfn.tecnico.ulisboa.pt

Sobre o autor

Bruno Soares Gonçalves é Presidente do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear do Instituto Superior Técnico, desde 2012, e investigador Coordenador do Instituto Superior Técnico

Trabalha em fusão nuclear desde 1996, tendo passado 3 anos no CIEMAT em Madrid durante o seu doutoramento e, posteriormente, 4 anos no JET como membro da “Close Support Unit”

Desenvolveu actividade em vários projectos de desenvolvimento de diagnósticos para dispositivos de fusão, de sistemas de controlo e aquisição de dados e em análise de dados de fenómenos de turbulência na periferia do plasma.

Desde 2007 que participa activamente em actividades de divulgação, para alunos do secundário, para alunos e professores universitários e para o público em geral, sobre energia, sobre a energia nuclear e sobre a fusão nuclear.

