

O EFEITO ENERGÉTICO E A ESCASSEZ DE RECURSOS NATURAIS

Autor

Filipe Wiltgen¹

Resumo

A espécie humana vem ao longo destes últimos séculos consumindo em larga escala todos os recursos naturais existentes no planeta em uma velocidade maior do que o planeta consegue se recompor. Isso levará a uma escassez até então nunca presenciada pela humanidade. Esta escassez de recursos irá em breve impactar todas as estruturas das fontes de energia existentes. É necessário ser mais pragmático e mais preciso com relação à eficiência energética, assim como, nas escolhas das fontes energéticas mais eficientes e menos susceptíveis à natureza. A energia nuclear além de ser a mais eficiente forma de produção de energia, é também a que menos impacta na produção de CO₂ no efeito estufa. Entretanto, o mais importante é que a energia nuclear é completamente imune à perenidade da natureza. Este artigo aborda de forma exploratória a produção energética pela óptica dos recursos naturais existentes na Terra, baseada em estudos de diversos autores sobre o tema permitindo argumentar esta pesquisa na forma de análises e percepções investigativas do problema de forma a apresentar claramente e sucintamente hipóteses para o entendimento no domínio do problema a fim de facilitar a compreensão do tema abordado e levando a uma proposta de solução técnica global e não local. Por fim, neste artigo, serão discutidas ideias de como enfrentar o efeito energético em consonância com a escassez de recursos naturais na Terra, de tal forma a entender como amenizar o problema com fontes de energia nucleares de alta eficiência, descentralizadas, sustentáveis, modernas e seguras.

Palavras-chave: Energia. Recursos naturais. Energia nuclear. Fissão nuclear. Fusão nuclear.

THE ENERGETIC EFFECT AND SCARCITY OF NATURAL RESOURCES

Abstract

Over last few centuries, the human species has been consuming on a large scale all the natural resources on the planet at a faster rate than planet can restore itself. This led to a shortage hitherto never seen by humanity. This scarcity of resources will soon impact all existing energy source structures. It is necessary to be more pragmatic and more precise in relation to energy efficiency, as well as in choosing most efficient energy sources that are less susceptible to nature. An energy core, in addition to being most efficient form of energy production, is also one that has least impact on production of CO₂ in greenhouse effect. However, most important thing is that nuclear energy is completely immune to the perpetuity of nature. This paper addresses in a exploratory way energy production from perspective of natural resources existing on Earth, based on studies by several authors on subject, allowing this research to be argued in form of analyzes and investigative perceptions of problem in order to present it clearly and succinctly. hypotheses for understanding problem domain in order to facilitate understanding of topic addressed and lead to a proposal for a global and not local technical solution. Finally, in this paper, ideas will be discussed on how to face energy dilemma in line with scarcity of natural resources on Earth, in order to understand how to alleviate problem with high-efficiency, decentralized, sustainable, modern and nuclear energy sources insurance.

Keywords: Energy. Natural resources. Nuclear energy. Nuclear fission. Nuclear fusion.

¹ Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação para Fusão Termonuclear Controlada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e docente na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - FATEC Pindamonhangaba e Cruzeiro. ORCID 0000-0002-2364-5157. E-mail: Filipe.Wiltgen@fatec.sp.gov.br ou ProfWiltgen@gmail.com

INTRODUÇÃO

Antes de tudo, como pensar em energia sem desvincular a sociedade humana? Ao não desvincular a sociedade humana, como pensar no futuro sem se preocupar com a escassez de recursos naturais? Pensando no futuro e se preocupando com a utilização dos recursos naturais e a energia, como driblar o efeito crescente e profundo do acúmulo de objetos construídos pelos seres humanos, o efeito antropogênico? Resposta a estas perguntas assombram a engenharia moderna e de fato muito em breve assombraram a sociedade no futuro, talvez não tão distante.

A sociedade, logo após a primeira revolução industrial, e o início do conforto térmico, e de máquinas a vapor no auxílio das tarefas, ficou clara a relação íntima e importante entre a energia e os humanos. Esta improvável parceria se fundamentou de forma indissociável com o advento da utilização ou “domesticação” da eletricidade (MME, 2020).

Foi com a eletricidade que a relação de energia ficou tão complexa, apesar de utilizarmos várias outras formas de energia, é a eletricidade que domina hoje nosso desenvolvimento, e será ela também a responsável pelo futuro (BURGESS *et al.*, 2020). Como os seres humanos não podem, ou simplesmente não conseguem mais viver sem os aparelhos elétricos e eletrônicos, e tão pouco sem os confortos que eles disponibilizam. A energia na forma elétrica, se integrou na sociedade e no dia-a-dia com tal magnitude que dificilmente a sociedade conseguirá viver normalmente sem sua presença.

Infelizmente a abundância de recursos presentes no planeta, nunca permitiu entender e reconhecer o verdadeiro valor das reservas naturais. Há muitos séculos a exploração de recursos é considerada fonte de renda, e de divisas econômicas e financeiras das nações mais privilegiadas com esta generosidade da natureza. Hoje pensando em um futuro que surge no horizonte tangível e visível, são discutidas soluções sustentáveis as quais a fartura nunca permitiu serem abordadas.

A noção de que a espécie humana influencia seu habitat parece óbvia quando se percebe as mudanças ambientais locais, porém o verdadeiro impacto, não está apenas relacionado a estas modificações, de fato, é o crescimento da população que mais afeta as condições ambientais, e o principal evento é a produção humana.

Os seres humanos são perfeitos modificadores de ambientes, fazem parte da evolução e do desenvolvimento humano. Porém a quantidade de material produzido pelos humanos tem se transformado em um enorme passivo ambiental cujo nome é Efeito Antropogênico. Nem mesmo a natureza consegue lidar com o montante do efeito antropogênico, atualmente nem os seres humanos, dado a proporção desta massa produzida (Wiltgen, 2023 A; Johnson *et al.*, 2017).

O volume apenas de um destes itens, como por exemplo, o plástico é atualmente duas vezes o volume de todos os animais vivos no planeta. Isso deve piorar muito até 2040-2050, quando a produção atual for somada a tudo que ainda não conseguiu ser decomposto pela natureza. A natureza saberá lidar com tudo isso, o problema é que ela fará isso em seu tempo e pior, do seu jeito (Ehrlich; Ehrlich, 2023; Greenstone *et al.*, 2019).

Quando surgem as preocupações ambientais na verdade é com a própria espécie humana, porque a natureza sempre se renova, ela sabe fazer isso e parece saber muito bem. Veja o que ocorreu com o reinado de ~65 milhões de anos dos dinossauros. Pensando nisso, como o primeiro *Homo Sapiens* caminhou neste planeta a apenas 200 mil anos (0,3% do tempo dos dinossauros), e as influências parecem ser desproporcionais a quantidade de ~8 bilhões de pessoas, começa a ficar patente que a espécie humana não será tão longínqua quanto os dinossauros. Pensando apenas nos efeitos causados pela própria presença humana na Terra parece inviável acreditar que seres humanos conseguiram conviver com o efeito antropogênico e a escassez de recursos dado a fórmula destrutiva extrativista que tem funcionado desde então (Subramanian, 2018).

Uma nova abordagem pragmática e disruptiva tem que ocorrer rapidamente, enquanto é possível desfazer grande parte do problema quer seja com a massa consumida (escassez dos recursos naturais), quer seja, com a massa acumulada (abundância do efeito antropogênico). Fato verdadeiro é que ambos os efeitos limitam as formas de pensar em fontes de energia como tem sido feito (Wiltgen, 2023 A; Wiltgen, 2022 C). A escolha correta de concentrar os investimentos para a energia no futuro vem sendo delineada para a obtenção da Fusão Termonuclear Controlada na forma de reatores a fusão (Chen, 2011). Perfeita escolha, porém o mundo deve estar bem preparado para aguardar ansioso a conquista da fusão nuclear, e isso irá impactar diretamente na escolha mais correta de investimentos e de aporte de todos os tipos de recursos em uma fonte de energia perene, imune a mudanças climáticas e eficiente (El-Guebaly, 2009; Wiltgen, 2021; Hodgson, 2010).

Felizmente a tecnologia para obter este atalho (que não é necessariamente um caminho curto) existe desde a segunda guerra mundial. A utilização da fissão nuclear, apesar de ser controversa, atualmente em nada é parecida com as que surgiram nas décadas de 80 e 90. Os atuais e mais modernos reatores, os que de fato devem ser parte fundamental do alicerce deste atalho, são dispositivos mais compactos, modulares, intrinsecamente mais seguros e podem operar em diversos locais diferentes.

A energia elétrica precisa ser eficientemente constante para que o desenvolvimento humano seja estável. No decorrer do artigo serão apresentados subsídios quanto a escolha da

energia de fissão nuclear como fonte até a obtenção da energia de fusão nuclear (Mccracken; Stot, 2012). Como o efeito antropogênico influencia no consumo dos escassos recursos naturais. Qual a importância da escolha correta da fonte de energia para que seja possível uma ruptura do modelo atual de consumo e descarte realizado pela humanidade, quem sabe com a perspectiva de implementar uma nova forma mais responsável, sustentável e sábia.

2 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada é do tipo exploratória qualitativa baseada em estudo bibliográfico. De tal forma que a pesquisa permite argumentar o estudo por meio de análises e percepções qualitativas investigando um determinado problema apresentando hipóteses baseadas na busca de pesquisa bibliográfica para facilitar a compreensão do tema abordado.

3 O TRILEMA ENERGÉTICO (TIPO DE FONTE, RECURSOS NATURAIS E MASSA ANTROPOGÊNICA)

Quanto maior a população humana na Terra, maiores serão os problemas com o ambiente do planeta, quase sempre limitado a uma forte escassez de recursos naturais que aliada a uma enorme massa antropogênica crescente não permitem prosseguir com ações propositivas para uma agenda diferente e sustentavelmente promissora (Feltrin, 2018).

O grande dilema vivido com os problemas relativos ao aumento da população estão todos inter-relacionados, pois a maioria das fontes de energia atuais, e consideradas como renováveis, não são eficientes para atender a necessária redução de massa antropogênica e tão pouco a redução da utilização de recursos naturais evitando um colapso (Wiltgen, 2023 D; Taylor; Taylor, 2007; Nitzbon *et al.*, 2017; Murray, 2007).

Cabe lembrar que não existe uma economia circular operacional para reaproveitar (reutilizar ou mesmo reciclar) as turbinas eólicas e os painéis fotovoltaicos. Dizer que os equipamentos duram três dezenas de anos, é sem dúvida no mínimo questionável, à final o que será feito com toda esta gigantesca massa de equipamentos inúteis, obsoletos e não recicláveis?

É fato que estes equipamentos farão parte da soma acumulada de todas as outras massas antropogênicas que o ser humano irá precisar se desfazer em breve. Como justificar que estes tipos de fonte de energia são sustentáveis perante a realidade atual? Isso sem questionar a real eficiência operacional energética que as tornam um candidato perfeito para sustentar o terrível efeito antropogênico, o que dizer então a respeito de suas lamentáveis limitações intrínsecas relativas à emissão de CO₂ (Kasper; 2005; Lin *et al.*, 2023).

Pensando em como resolver este trilema, energia, escassez de recursos e o efeito antropogênico, é possível supor diversos cenários válidos, entretanto, todas as escolhas, sem exceção, são difíceis e terão que ser realizadas com afinho caso a humanidade escolha continuar a viver no planeta (Locke *et al.*, 2020; Good; Reuveny, 2009). A disruptura começa com uma forma de limitar o uso dos recursos naturais, ao mesmo tempo com a implementação de redução da produção de massa antropogênica, o que irá culminar no melhor tipo de fonte de energia a ser incentivada e investida a fim de suportar o tempo de desenvolvimento necessário para que a fusão nuclear seja uma realidade comercial.

Isso não impede o fim de outras fontes de energia renováveis ainda em desenvolvimento e alcançando a maturidade de eficiência energética exigida para serem consideradas candidatas a fonte de energia sustentável e duradoura. O incentivo a toda e qualquer nova fonte de energia deve sempre ser foco da pesquisa científica e tecnológica, o desenvolvimento bem planejado aliado ao nível de maturidade tecnológica com os parâmetros de sustentabilidade relacionados a economia circular (Winterstetter *et al.*, 2021), devem ser almejados e alcançados antes mesmo de serem comercializados. Esse compromisso com a sociedade permite não só subsidiar os propósitos aqui discutidos, como também, permitir escolhas e interessantes para a mescla de uma matriz energética de acordo com cada região ou país conforme suas características, ambientais, econômicas e de demanda energética (Butzera; Endfield, 2012; Barnosky *et al.*, 2016).

4 A ESCASSEZ DOS RECURSOS NATURAIS E O EXCESSO DA MASSA ANTROPOGÊNICA

Desde que a espécie humana surgiu, características físicas relacionadas principalmente à mão permitiram a espécie se destacar em relação a outros mamíferos na construção, e particularmente no que diz respeito a manipulação hábil de ferramentas. A construção de ferramentas, junto às primeiras construções, foi o início da geração de massa antropogênica, mas foi com o advento da indústria que o efeito antropogênico surgiu. Foi com o acúmulo de objetos com curta vida útil, que o efeito antropogênico se tornou um problema, e não necessariamente com os objetos de vida longa. Objetos feitos de material reciclável, ou mesmo, reaproveitável, permite uma rápida recuperação mesmo da natureza em sua decomposição (Frigo, 2018).

Tudo se restringe ao tempo, mesmo tendo consciência de que o tempo é um artifício prático para delimitar um determinado espaço de vida. Explicado isso, pode-se entender que diferentes seres, em diferentes ecossistemas possuem diferentes tempo de vida, e desta forma,

o próprio planeta possui um tempo de vida diferente de tudo que esteja vivo nele nesse exato momento.

Dito isso, é necessário pensar da forma que o *Prof. James Lovelock* (1919-2022) e a *Profa. Lynn Margulis* (1938-2011) pensaram quando propuseram a Teoria de Gaia. A Teoria de Gaia permite pensar no planeta de forma macroscópica, e se assim for, pode ser pensado na forma de um organismo vivo de grandes proporções, no qual existe uma grande e intrincada relação entre tudo que existe na Terra, agora chamada também de Gaia. Entretanto, se assim for, o tempo do planeta e de Gaia não condiz com o tempo de uma árvore, de um elefante, de um camundongo, de um humano e muito menos de um vírus.

Este é o principal problema com relação à influência humana no planeta, é que o planeta não consegue decompor parte da massa antropogênica, o que impacta também, na longa e lenta recomposição dos recursos naturais, que são advindos do processo de decomposição de toda a massa do planeta (Lovelock, 2003).

Como a população tem crescido muito, crescem junto também, o consumo de recursos naturais o que leva a escassez, e cresce também, a massa antropogênica que se acumula com proporções muito grandes, e quase sempre baseadas em transformações com compósitos químicos que demoram muito para serem decompostos pela natureza.

Provavelmente dado o pouco tempo para o planeta, não houve a reação de Gaia, pode ser que nem tenha percebido a existência humana como parte integrante da mesma, visto que seres humanos (~200 mil anos) estão apenas a uma insignificante fração da vida do planeta (~4,54 bilhões de anos). A relação de tempo entre diferentes sistemas (planetas, seres vivos, universo, buracos negros, entre outros) é o que impõe o problema discutido neste artigo, se a base de tempo fosse única a temporalidade (individual de cada sistema) não afetaria de diferentes formas, diferentes sistemas e diferentes formas de vida (Meadows *et al.*, 1972).

Fato é que existem três dimensões (trilema) para serem observadas quando o assunto é como manter o crescimento humano, e proporcionar o equilíbrio da natureza para que o crescimento da espécie não seja prejudicado. Observa-se que os recursos naturais e a massa antropogênica são diferentes dimensões do mesmo problema, com soluções relativas e concernentes que impactam diretamente na forma e na escolha da fonte de energia dominante a ser sustentável, perene, confiável, constante, imune a efeitos climáticos e eficiente.

5 A ESTRATÉGIA PARA O FUTURO IMEDIATO

Ao observar o que foi exposto até este momento, e recapitulando o que tem ocorrido nas mudanças climáticas atuais, é possível notar que algo deve ser mudado e rápido, pois assim

como diz a célebre frase do Prof. James Lovelock, “Devemos ter sempre em mente que é arrogância achar que sabemos como salvar a Terra, nosso planeta cuida de si próprio. Tudo que podemos fazer é tentar nos salvar.”, encontrar uma alternativa é primordial para salvar a espécie de um triste fim, atolada em lixo em ser recursos naturais.

Não irá bastar apenas ter um caminho seguro energético até a produção comercial de reatores a fusão nuclear, isso porque qualquer uma das soluções para cada uma das três dimensões do problema falhar, falhará também a solução técnica adotada para a outra.

Uma estratégia é encontrar um ponto de equilíbrio no crescimento humano, isso por si só não é uma solução para as outras três dimensões, dado que os problemas não se resolvem sozinhos, e ainda assim deverão ser mitigados. Porém é uma solução a longo prazo que deve ser encontrada pela espécie ou por Gaia.

Para uma solução estratégica rápida devem ser dispostas culturas industriais circulares com o intuito de diminuir a produção de massa antropogênica, ao refrear este crescimento de acúmulo na natureza, de certa forma passa a ser mais provável uma decomposição natural dos objetos produzidos, e que tem estimados de oito a dez gerações humanas (~800 anos) para vir a se decompor naturalmente. Esta decomposição é parte integrante da solução técnica da limitação de recursos naturais.

A partir de resultados desta estratégia de reaproveitamento, decomposição forçada e reciclagens em economias circulares, pode ser que a escolha correta da fonte de energia elétrica acompanhe a mesma solução sustentável, caso contrário a humanidade continuará a acumular massa antropogênica. Não existe uma boa margem de erro, a escolha da fonte de energia deve ser pragmática e objetiva.

Não existe um consenso a respeito da fonte energética mais indicada, mas fato é que dentre as vantagens e desvantagens deve ser escolhida a que mais atender requisitos de sustentabilidade, mesmo porque será a premissa mais importante. Desta forma a estratégia mais simples é a desaceleração do crescimento humano até um determinado ponto de equilíbrio, combinado com uma forte economia circular industrial, aliada a uma boa escolha de fonte energética (Winterstetter *et al.*, 2021).

6 A ESCOLHA DA ENERGIA

Nunca uma escolha é algo simples ou fácil, principalmente quando possui uma importância desta magnitude. Primeiro é necessário determinar os requisitos a serem atendidos na escolha, depois o nível de maturidade tecnológica devido ao tempo de desenvolvimento

contínuo de avanços científicos obtidos para melhorar a operação, funcionamento, segurança, sustentabilidade e eficiência (Nakcenovi, 2000).

Assim sendo, para esta escolha devem ser observados os históricos de emissão de CO₂ e de pessoas que de alguma forma tiveram suas mortes relacionadas a alguns tipos mais comuns de energia (IEA, 2023).

Na Figura 1 é possível verificar um comparativo baseado nestas duas premissas, emissão de CO₂ e número de pessoas mortas (construção, acidentes, e/ou operação).

Figura 1. Comparativo entre fontes de energia quanto a premissa de Emissão de CO₂ e Pessoas Mortas.



Fonte: Adaptado de *Our World in Data* (2023).

Nesta figura é possível verificar que a fonte de energia nuclear é a que possui a menor emissão de CO₂, além de ser a segunda fonte de energia que menos é culpada pela morte de pessoas. Note que a fonte de energia que menos é culpada pela morte de pessoas é a energia fotovoltaica. As fontes de energia nuclear, fotovoltaicas e eólica são as que emitem menor quantidade de CO₂ e a menor quantidade de mortes humanas.

Adotando a premissa de emissão de CO₂, a escolha da fonte de energia é a nuclear, e os novos e atuais reatores são muito diferentes dos reatores de larga escala comuns nas décadas de 70, 80 e 90, cuja potência era equivalente a ~300-1.000MW (1.10¹²W) de eletricidade. Atualmente uma nova família de reatores tem sido desenvolvida e testada. São menores, quase sempre modulares, permitem sua instalação compacta e mais segura, podendo ser instalado em diferentes regiões, utilizando menos combustível nuclear, maior eficiência e menos custo construtivo e operacional.

Estes reatores pequenos e compactos modulares têm a possibilidade de difusão de energia nuclear na forma de uma matriz que comporta não só a inclusão de novos reatores

localmente, na forma modular, como integrando a própria matriz diversificada. A potência associada destes reatores é de ~20 a 300 MW de eletricidade (Montalvão, 2012).

Existem ainda os reatores chamados de micro reatores, cujo tamanho é aproximadamente de um caminhão de transporte de carga, estes micro reatores possuem uma fração da potência dos reatores pequenos modulares e podem ser construídos também de forma modular com a composição necessária para atender a potência elétrica a ser demandada. Estes micro reatores possuem potência de ~1 a 20 MW de eletricidade.

A diminuição local da quantidade de combustível nuclear, mas também, quanto na diminuição da possibilidade de falhas, que crescem proporcionalmente a quantidade de partes utilizadas em uma central nuclear. Quanto menor a quantidade de partes, menor a probabilidade de falhas.

Outra premissa importante na escolha da fonte de energia elétrica para sustentar a necessidade de diminuir a massa antropogênica e o consumo de recursos naturais está diretamente relacionado à densidade de energia por área ocupada. Um reator de pequeno porte modular ocupa uma área de ~3km² considerando toda a área da central nuclear. Se este reator produzir ~1GW de eletricidade, pode-se comparar com a quantidade de turbinas eólicas necessárias para produzir a mesma quantidade de eletricidade, o que equivale a ~430 turbinas, ocupando uma área de ~360 vezes maior que a nuclear (cerca de ~1.100km²). Se for comparado a energia fotovoltaica, serão necessários ~3,1 milhões de painéis, o que equivale a 75 vezes maior que a nuclear (cerca de ~225km²).

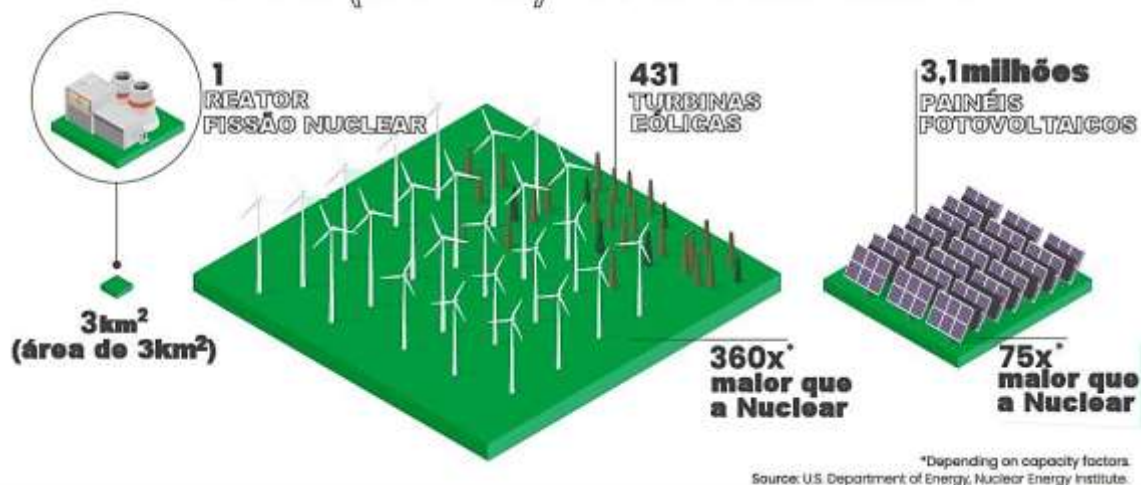
Note que esta aproximação leva em conta o fator de capacidade médio de cada tipo de fonte de energia, e os valores podem variar conforme o desenvolvimento de cada tipo de fabricante de equipamento e suas respectivas eficiências construtivas e operacionais. Observe que com o tempo e a maturidade da tecnologia, a eficiência tende a melhorar e com isso a área ocupada por cada tipo de fonte de energia fica menor.

Na Figura 3 pode ser observada a comparação de área ocupada pela energia nuclear, energia fotovoltaica e energia eólica para a produção equivalente de 1GW de eletricidade.

A densidade energética contida dentro de uma única pastilha de urânio responsável por obter a fissão nuclear é atualmente a mais eficiente fonte de energia disponível comercialmente para a humanidade. Sua densidade permite construir centrais energéticas muito menores e ocupando espaços muito menores do que todas as outras fontes de energia.

Figura 3. Comparativo da área ocupada por energia nuclear, energia eólica e energia fotovoltaica para produzir 1GW de energia elétrica.

1 GW (1.10^9 W) DE ELETRICIDADE



Fonte: Adaptado de *US Departamento of Energy* (2023).

Um reator nuclear opera com muitas pastilhas de urânio compostas em diversas varetas e as múltiplas varetas compõe múltiplos módulos que variam a quantidade conforme o tipo de reator utilizado. Um reator de larga escala (*PWR - Pressurized Water Reactor* – Reator a Água Pressurizada) possui em seu interior cerca de ~10-20 milhões de pastilhas de urânio.

Na Figura 5 é possível notar a comparação de uma única pastilha de urânio com diferentes tipos de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural).

Figura 5. Comparação de densidade de energia de uma pastilha de urânio com o petróleo, o carvão e o gás natural.



Fonte: Adaptado de *Argone National Lab.* (2024).

A grande vantagem de uma fonte de energia densa é a eficiência e a possibilidade de minimizar os recursos naturais ao mesmo tempo reduzir o acúmulo antropogênico. A energia nuclear é a única forma de energia atual imune às mudanças impostas pela natureza, mantendo-se constante e suprimindo as demandas de energia agora e no futuro, até que seja substituída

progressivamente pela outra forma de energia nuclear, a fusão nuclear o que deverá ocorrer entre 2100 e 2150. Até esta data, a fissão nuclear será suportada pelas fontes de energia renováveis como fotovoltaicas e eólicas que terão alcançado novos níveis de eficiência e de maturidade, e também, darão o apoio à demanda de energia elétrica até a obtenção da fusão nuclear como fonte de energia.

Em 2004 o *Prof. James Lovelock* surpreendeu o mundo com a declaração baseada no seu profundo conhecimento a respeito do planeta, que em sua opinião a única forma de energia que menos impacta a natureza, a qual deveria ser incentivada é a fonte de energia nuclear. Este pronunciamento depois substanciado por diversas entrevistas, demonstrou algo que os pesquisadores haviam verificado a muitos anos, mas que infelizmente devido à grande impopularidade da fissão nuclear, não conseguiam a devida atenção. Atenção esta que mudou a forma de enxergar a produção de eletricidade nuclear (Lovelock, 2004).

7 DISCUSSÃO FINAL E PERSPECTIVAS

Toda forma de energia é uma escolha, quase sempre subsidiada por uma grande parcela de propaganda, a qual tem como objetivo alavancar algum novo tipo de fonte de energia que pode rapidamente salvar o mundo, e que é a melhor fonte desenvolvida desde então. Fato é que isso possui apenas uma única intenção que é a de beneficiar determinado segmento do mercado ajudando a novas empresas de energia.

O pragmatismo da ciência não permite se levar por este tipo de propaganda especulativa e ludibriosa, na ciência fatos são os alicerces de decisões e escolhas. A pesquisa científica é cética para soluções “espetaculares”, o equilíbrio da natureza permite sempre encontrar a dicotomia (vantagens e desvantagens). Esse equilíbrio permite obter claramente as premissas as quais se quer abordar em um domínio de um determinado problema. Neste caso particular o problema possui três dimensões, é na verdade um trilema que envolve tanto a energia elétrica, quanto a utilização dos recursos naturais na transformação, e suas inevitáveis consequências que são a produção de massa antropogênica.

Entender e escolher qual o caminho seguir, depende apenas de quais resultados devem ser alcançados, para qual propósito e quanto tempo se tem para isso? Fato que este problema é intrincado e entrelaçado, não permite encontrar muitas soluções técnicas capazes de uma solução de mínimo global (solução enfática). Porém neste caso uma solução de mínimo local (solução paliativa) pode de fato começar a modificar os impactos ambientais (Wiltgen, 2020). A solução enfática é a substituição das formas de energia por energia de fusão nuclear, mas como ela estará disponível comercialmente apenas em 100 anos, é necessário aplicar a solução

paliativa que é a utilização em larga escala da fissão nuclear, conforme visto no decorrer deste artigo.

Observar o desenvolvimento e a maturidade das atuais e novas fontes de energia que surgiram ao passar dos anos pode mudar a rota de escolha e quem sabe inclusive a substituir se isso se mostrar necessário. Entretanto, deve ser feito algo a esse respeito de forma mundial, países devem rever suas posições energéticas para que algo seja feito em prol de uma sustentabilidade real e rápida, enquanto ainda é possível reverter a escassez dos recursos naturais e o acúmulo de massa antropogênica no planeta.

REFERÊNCIAS

- Barnosky, A. D.; Ehrlich, P.R., Hadly, E. A. Avoiding Collapse: Grand Challenges for Science and Society to Solve by 2050. **Elementa: Science of the Anthropocene**. v.4, p.01-09, 2016.
- Burgess, R.; Greenstone, M.; Ryan, N., Sudarshan, A. Demand for Electricity on the Global Electrification Frontier. **Yale Engineering Economics**. p.01-73, 2020.
- Butzera, K.W.; Endfield, G.H. Critical Perspectives on Historical Collapse. **PNAS**. v.109(10), p.3628-3631, 2012.
- Chen, F.F. An Indispensable Truth: how Fusion Power can Save the Planet. **Springer Science and Business Media**, LLC. 2011. 450p.
- El-Guebaly, L.A. History and Evolution of Fusion Power Plant Studies: Past, Present and Future Prospects. **Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering**, NOVA Science Publishers. p.217-271, 2009.
- Ehrlich, P. R.; Ehrlich, A. H. Can a Collapse of Global Civilization be Avoided?. **Proceedings Royal Society B**. v.280, p.01-09, 2023.
- Feltrin, A. N. Energy Equality and the Challenges of Population Growth. **Relations Beyond Anthropocentrism, Energy Ethics: Emerging Perspectives in a Time of Transition**. p.313-320, 2018.
- Frigo, G. Energy Ethics: A Literature Review. **Relations Beyond Anthropocentrism, Energy Ethics: Emerging Perspectives in a Time of Transition**. p.177-214, 2018.
- Good, D. H.; Reuveny, R. On the Collapse of Historical Civilizations. **Amer. J. Agr. Econ**. v.91(04), p.863–879, 2009.
- Greenstone, M.; Reguant, M.; Ryan, N.; Dobermann, T. **Energy and Environment**. IGC International Growth Centre, London School. p.01-44, 2019.
- Hodgson, P.E. Energy, the Environment and Climate Change. **Imperial College Press**. 2010. 220p.
- IEA CO2 Emissions in 2023 - A New Record High, But is There Light at the End of the Tunnel?. **International Energy Agency – IEA**, p.01-24, 2023.
- Johnson, C.N.; Balmford, A.; Brook, B.W.; Buettel, J.C.; Galetti, M.; Guangchun, L.; Wilmshurst, J.M. Biodiversity Losses and Conservation Responses in the Anthropocene. **Science** v.356, p.270–275, 2017.
- Kasper, W.E. Human Progress – And Collapse?. **Energy & Env**. v.16(03-04), p.441-456, 2005.
- Lin, D.; Wambersie, L.; Wambersie, M. Estimating the Date of Earth Overshoot Day 2023. Now casting the World's Footprint & Biocapacity, **Global Footprint Network**. p.01-08, 2023.

Locke, H.; Rockström, J.; Bakker, P.; Bapna, M.; Gough, M.; Hilty, J.; Lambertini, M.; Morris, J.; Polman, P.; Rodriguez, C.; Samper, C.; Sanjayan, M.; Zabey, E.; Zurita, P. A Nature-Positive World: The Global Goal for Nature. **Global Goal for Nature**, p.01-21, 2020.

Lovelock, J. The Living in Earth. **Nature**. v.426, Concepts, p.769-770, 2003.

Lovelock, J. Nuclear Power is the Only Green Solution. **Publ. in Indep**, p.01-03, 2004.

Mccracken, G.; Stott, P. Fusion: The Energy of the Universe. **Academic Press**. 2012. 248p.

Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J.; Behrens II, W.W. The Limits To Growth - A Report For The Club Of Rome's Project on the Predicament of Mankind. **Potomac Associates Book**. 1972. 211p.

MME Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050. **Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, 2020. 243p.

Montalvão, E. Energia Nuclear: Risco ou Oportunidade?. **Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal Brasileiro**, Texto 108. p.01-19, 2012.

Murray, J.H. Natural Resource Collapse: Technological Change and Biased Estimation. **National Science Foundation**. p.01-19, 2007.

Nakcenovi, N. Energy and Challenge of Sustainability - Chapter 9 - Energy Scenarios. **World Energy Assessment**. 2000. 506p.

Nitzbon, J.; Heitzig, J.; Parlitiz, U. Sustainability, Collapse and Oscillations in a Simple World-Earth Model. **Environ. Res. Lett.** v.12, p.01-16, 2017.

Subramanian, K.R. The Crisis of Consumption of Natural Resources. **International Journal of Recent Innovations in Academic Research**. v.2(04), p.08-19, 2018.

Taylor, D.M.; Taylor, G.M. The Collapse and Transformation of Our World. **Journal of Futures Studies**. v.11(03), p.29-46, 2007.

Wiltgen, F. Técnica de Ensaaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos. **Revista Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas**. v.4(01), p.51-60, 2020.

Wiltgen, F. Energia Elétrica via Fusão Termonuclear Controlada. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT)**. v.38(03), p.97-107, 2021.

Wiltgen, F. Futuro Reator a Fusão Nuclear do Tipo Tokamak – Máquina de Engenharia Desafiadora. **Engenharia - Construção de Conhecimentos** Cap.9, v.1, p.122-142, Uniesmero e **XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Teresina, 07-11 de agosto. p.01-10, 2022 A.

Wiltgen, F. A Fusão Nuclear via Máquina do Tipo Tokamak – Energia Elétrica para o Futuro do Desenvolvimento Humano. **XIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. p. 01-10, 2022 B.

Wiltgen, F. The Pragmatic Dichotomy of Energy in the World. **Revista de Humanidade, Tecnologia e Cultura FATEC de Bauru**. p.01-10, 2022 C.

Wiltgen, F. O Efeito Antropogênico e a Relação com a Energia Elétrica. **Revista Administrativa do Unifatea - RAF**. v.25(01), p.04-28, 2023 A.

Wiltgen, F. Energy Collapse and the Importance of Nuclear Energy. **Revista Transformation**. Em publicação. p.01-13, 2023 B.

Winterstetter, A.; Heuss-Assbichler, S.; Stegemann, J.; Kral, U.; Wäger, P.; Osmani, M.; Rechberger, H. The Role of Anthropogenic Resource Classification in Supporting the Transition to a Circular Economy. **Journal of Cleaner Production**. v. 297 (126753), p.01-24, 2021.