



# **O EFEITO ANTROPOGÊNICO E A RELAÇÃO COM A ENERGIA ELÉTRICA**

## **Autores**

Filipe Wiltgen

Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e docente na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - FATEC Pindamonhangaba e Cruzeiro, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo - IFSP Campinas e na Universidade Taubaté - Unitau.

ORCID 0000-0002-2364-5157.

E-mail: [filipe.wiltgen@fatec.sp.gov.br](mailto:filipe.wiltgen@fatec.sp.gov.br)

*Imagem: vecstock no Freepik.com*

## Resumo

O mundo atualmente é elétrico, apesar de consumir uma quantidade enorme de todos os tipos de energia é a eletricidade a energia mais consumida. Ao olhar para a matriz mundial de energia, é fácil perceber que a energia elétrica tem forte peso na composição do equilíbrio energético mundial, no qual a sua demanda ainda supera em muito sua oferta. A oferta de energia ainda é muito menor do que de fato a humanidade necessita para continuar progredindo no desenvolvimento tecnológico. Encontrar uma forma sustentável de obter a energia elétrica necessária para a humanidade e manter a natureza em um equilíbrio sustentável, são desafiadoras para qualquer forma de pesquisa em energia. O impacto antropológico vem sendo estudado a muito tempo, porém, com o aumento significativo dos seres humanos no planeta vem ocorrendo um efeito destrutivo nos recursos naturais que vai muito além e muito mais veloz do que era esperado. Desta forma, e enquanto ainda há tempo, é necessário repensar as estratégias e as táticas aplicadas no desenvolvimento energético mundial. Com uma ação mais pragmática e precisa com relação a eficiência energética, assim como, com as novas escolhas das fontes energéticas de maior eficiência e menos susceptíveis a natureza. Este artigo tem como objetivo, apresentar de forma clara e suscita o efeito antropológico na geração de energia e na produção de eletricidade no mundo. Buscando uma forma de entender o domínio do problema para encontrar soluções técnicas plausíveis e sustentáveis que possam contornar, ou mesmo amenizar os impactos causados pelo crescimento populacional dos seres humanos.

**Palavras-chave:** Energia, Eletricidade, Energia Nuclear, Recursos Naturais, Antropologia.

## Abstract

*The world is currently electric, despite consuming a huge amount of all types of energy, electricity is most consumed energy. When looking at the global energy matrix, it is easy to see that electrical energy has a strong weight in composition of the global energy balance, in which its demand still far exceeds its supply. The supply of energy is still much lower than what humanity actually needs to continue progressing in technological development. Finding a sustainable way to obtain electrical energy needed by humanity and keeping nature in a sustainable balance are challenging for any form of energy research. The anthropological impact has been studied for a long time, however, with significant increase in human beings on the planet, a destructive effect on natural resources has been occurring that goes much further and much faster than expected. Therefore, and while there is still time, it is necessary to rethink strategies and tactics applied in global energy development. With more pragmatic and precise action in relation to energy efficiency, as well as new choices of energy sources that are more efficient and less susceptible to nature. This paper aims to clearly present and raise anthropological effect on energy generation and electricity production in the*

*world. Seeking a way to understand problem domain to find plausible and sustainable technical solutions that can overcome, or even mitigate, impacts caused by human population growth.*

**Keywords:** *Energy, Electricity, Nuclear Energy, Natural Resources, Anthropology.*

## **INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento humano passou por diversas fases as quais cada uma desafiava de forma diferente sua inteligência e sua perspicácia em sobreviver. A grande efervescência da criatividade humana ocorreu entre o século XX e o XIX. As ideias e os avanços científicos e tecnológicos permitiram ampliar a sobrevivência humana e o desenvolvimento das técnicas possibilitaram a espécie moldar o mundo as suas necessidades.

A grande influência dos seres humanos no planeta teve início nos últimos ~250 anos, com o crescimento exponencial da espécie no planeta de ~1 bilhão de humanos (~12.000 anos) para os atuais ~8 bilhões (2023-2024). Estima-se que próximo a 2050 sejam mais de 10 bilhões.

Os seres humanos por transformar o ambiente para adaptar as melhores condições de sobrevivência, faticamente produzem uma enorme quantidade de resíduos nem sempre descartáveis, mas sempre acumulativos. Esta massa de resíduos (úteis ou inúteis) é chamada de massa antropogênica, ou seja, o que é causado ou originado da presença humana. A própria energia elétrica na forma de conversão de energia se faz uma das principais adaptações da espécie para sobrevivência e evolução, a produção de eletricidade é um efeito antropogênico (BURGESS et al., 2020; KASPER, 2005).

No decorrer deste artigo, tem-se a evolução da relação entre os humanos e a vida no planeta, a intrigante relação entre a espécie humana e a transformação energética para a produção da eletricidade, o efeito antropogênico no impacto da renovação dos recursos naturais, a influência nas correntes marinhas e nos recursos energéticos, e por fim, a discussão ampla e as perspectivas existentes para o futuro próximo e as necessidade de amadurecimento antropológico para manter a qualidade e vida no planeta.

## **METODOLOGIA**

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.

## **HUMANOS E A VIDA NA TERRA**

O desenvolvimento humano traz com sigo uma enorme quantidade de massa modificada pela ação humana a qual é chamada de massa antropogênica. Esta massa é resultado de tudo que é construído ou modificado pelo ser humano. Atualmente

está massa antropogênica acumulada é maior do que toda a massa biológica viva no planeta. Na Figura 1 é possível ver uma ilustração que mostra o desequilíbrio entre a massa antropogênica e a massa biológica viva na Terra (PAPPAS, 2020).

Isso traz um desafio ainda maior para obtenção do equilíbrio natural, visto que o tempo de decomposição desta massa antropogênica é sempre maior do que algumas dezenas de gerações humanas. É isso que causa o efeito de acúmulo e que acaba sendo ruim para a vida e o equilíbrio no planeta (BARNOSKY et al., 2016; BUTZERA and ENDFIELD, 2012).

O frágil equilíbrio ecológico e ambiental depende da sustentabilidade dos recursos naturais (RATTNER, 1976). Encontrar uma forma de conviver e de tornar mais sustentável a massa antropogênica é a receita para tornar os recursos acumulados novamente disponíveis para serem aproveitados nos ciclos normais do planeta. Deve existir um comprometimento entre o que deve ser descartável e o que deve ser durável. O que deve ser descartável deve possuir mecanismos que permitam em pouco tempo ser absorvido e decomposto, e o que deve ser durável, deve ser construído de tal forma que permita subsistir por um tempo pré-determinado e depois disso deve ser também de fácil absorção e decomposição (CARVALHO, 2022; WACKERNAGEL et al., 2021).

**Figura 1** – O difícil equilíbrio entre a transformação antropológica e a vida no planeta.



**Fonte:** Adaptado de Pappas, 2020.

A Figura 1 mostra o que vem correndo com a massa no planeta. De forma inexorável o acúmulo de massa antropogênica supera a massa de vida biológica, e se

nada for planejado para sua decomposição, muito em breve a massa biológica será uma pequena fração do total da massa antropológica (JOHNSON et al., 2017).

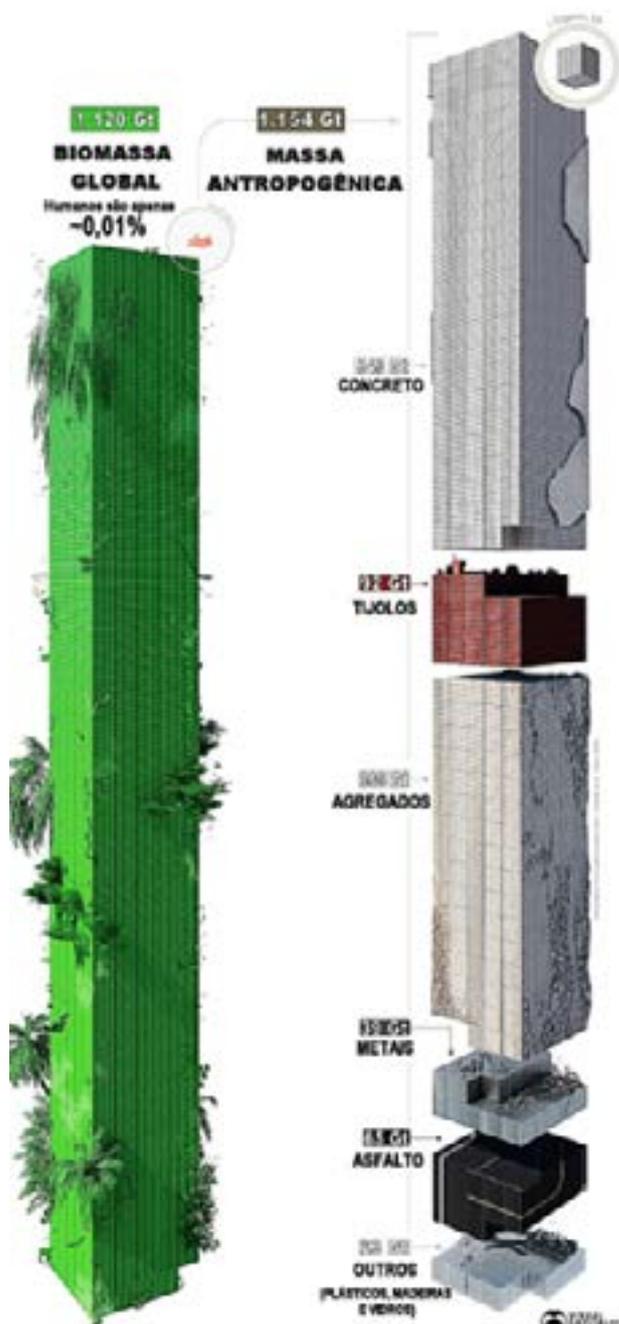
A transformação dos recursos naturais em objetos, peças, equipamentos ou agregados da construção civil quase sempre em volumes muito grandes são utilizados pelos humanos em todos os países. A infraestrutura humana no desenvolvimento de cidades e de metrópoles faz uso cada vez maior de toda esta massa de origem humana.

Grande parte desta massa é não sustentável, ou seja, não é possível ser novamente transformada em outras para atender as constantes necessidades humanas de infraestrutura. Isso se traduz em diminuição dos recursos naturais e de acumula de massa antropogênica que pode inclusive ser inútil para a humanidade.

A constante transformação de plásticos para embalagens descartáveis é um exemplo constante e cruel da forma como é conduzida a ineficiência humana na questão da sustentabilidade. A humanidade continua produzindo e descartando uma massa gigantesca de plásticos que não se decompõem em menos de 500-1.000 anos. É que se acumula não só em terra, mas também e principalmente nos oceanos de forma contundente e surpreendentemente irresponsável (NITZBON et al., 2017; NAKCENOV, 2000; MURRAY, 2007; MEADOWS et al., 1972).

Na Figura 2 é possível observar o triste panorama da realidade do acúmulo de massa antropogênica (desde o ano ~1900) quando comparada ao total de massa biológica viva no planeta. Fato de que a composição desta massa antropogênica é principalmente no volume de concreto e agregados permite supor que parte da solução deve ser de responsabilidade na infraestrutura civil que aparentemente não tem se esforçado o suficiente para encontrar algum tipo de sustentabilidade inteligente para substituir algo tão arcaicamente antigo.

**Figura 2** – A massa biológica viva do planeta quando comparada a massa antropológica.



**Fonte:** Adaptado de Visual Capitalist, 2023.

Ao observar em detalhes a Figura 2 fica clara a responsabilidade na construção civil e de infraestrutura. É óbvia a necessidade de modificar as construções humanas, passando por uma mudança efetiva na maneira de como aproveitar recursos de forma a ser menos impactante para o ambiente e mais sustentável. É fato que este tipo de mudança pode vir a ser inclusive mais rentável e de menor impacto econômico. Estudos de engenharia biomimética e de uma arquitetura ecologicamente correta, podem e devem ser os principais mecanismos de mudança.

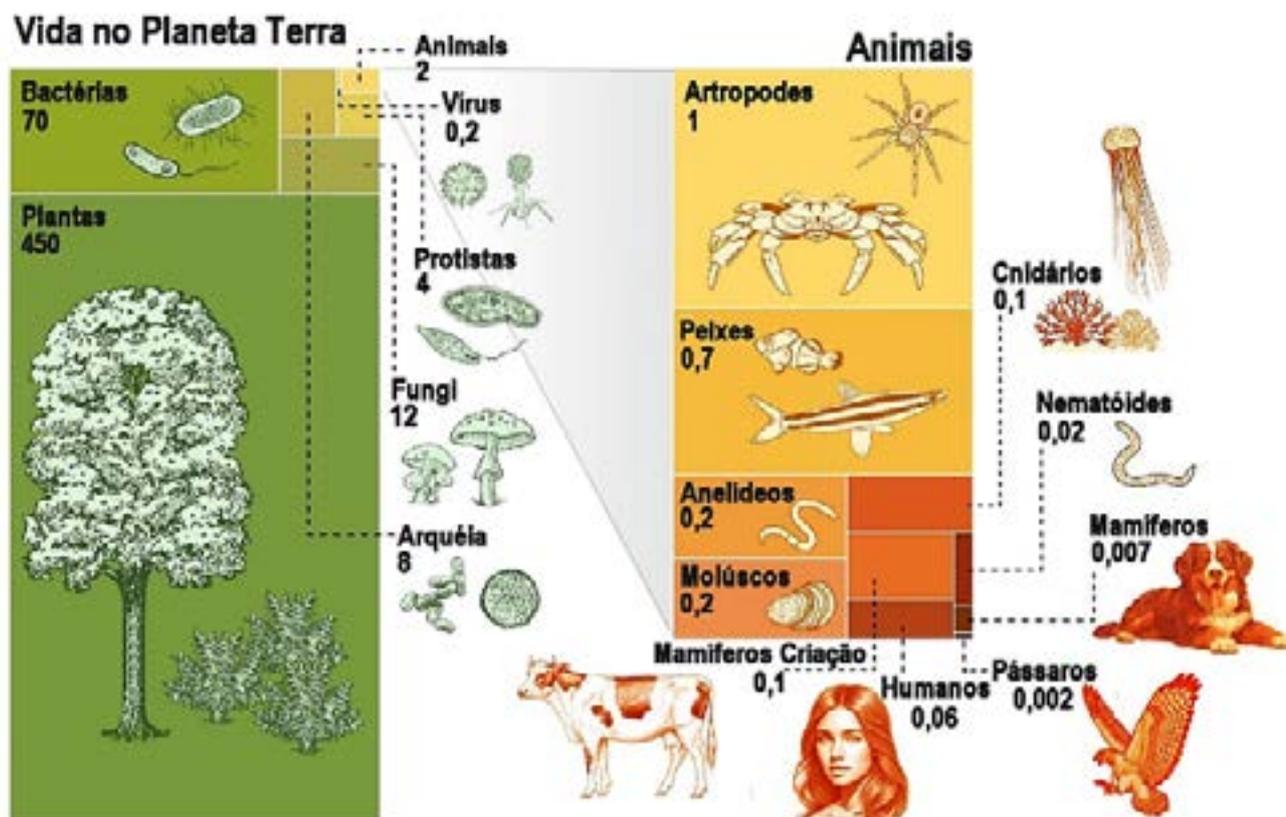
Pensando pela parte não antropogênica, ou seja, pelos seres vivos do planeta é possível notar que a maior parcela de vida na Terra está contida nas plantas. De fato, a proporção é esperada devido a subsistências de todos os outros seres vivos.

Na Figura 3 que mostra a proporção de seres vivos do planeta levanta uma questão importante, a espécie humana é uma fração quase insignificante do todo da vida biológica neste planeta, só as plantas são cerca de  $\sim 7.500$  vezes maior que os humanos. Mesmo assim, o efeito dos humanos no planeta tem sido considerado um problema. Dentre os animais, ainda assim somos uma parcela muito pequena quando comparado a toda a massa gerada como mostrado na Figura 2 (EHRlich and EHRlich, 2023).

A insignificância proporcional de humanos comparado com outros seres vivos, levanta uma questão importante, a capacidade de moldar o ambiente para a espécie humana influencia diretamente todas as outras espécies, e isso sem contar com a capacidade de extinção direta de espécies pelos humanos, visto que a crescente massa antropogênica, não é uma forma de extinção direta, mas a incidência indireta que pode inclusive ser mais impactante uma vez que proporciona o acúmulo crescente e lento de uma mudança profunda no ambiente do planeta.

O ser humano com sua inteligência sempre tentou moldar o planeta a ele próprio. Entretanto, nunca utilizou de fato a sabedoria para moldar o ser humano ao planeta.

**Figura 3** – Biomassa relativa de carbono e a distribuição de vida no planeta Terra.



**Fonte:** Modificado, Traduzido e Adaptado de Enciclopédia Britânica, 2023.

## HUMANOS E A ENERGIA ELÉTRICA

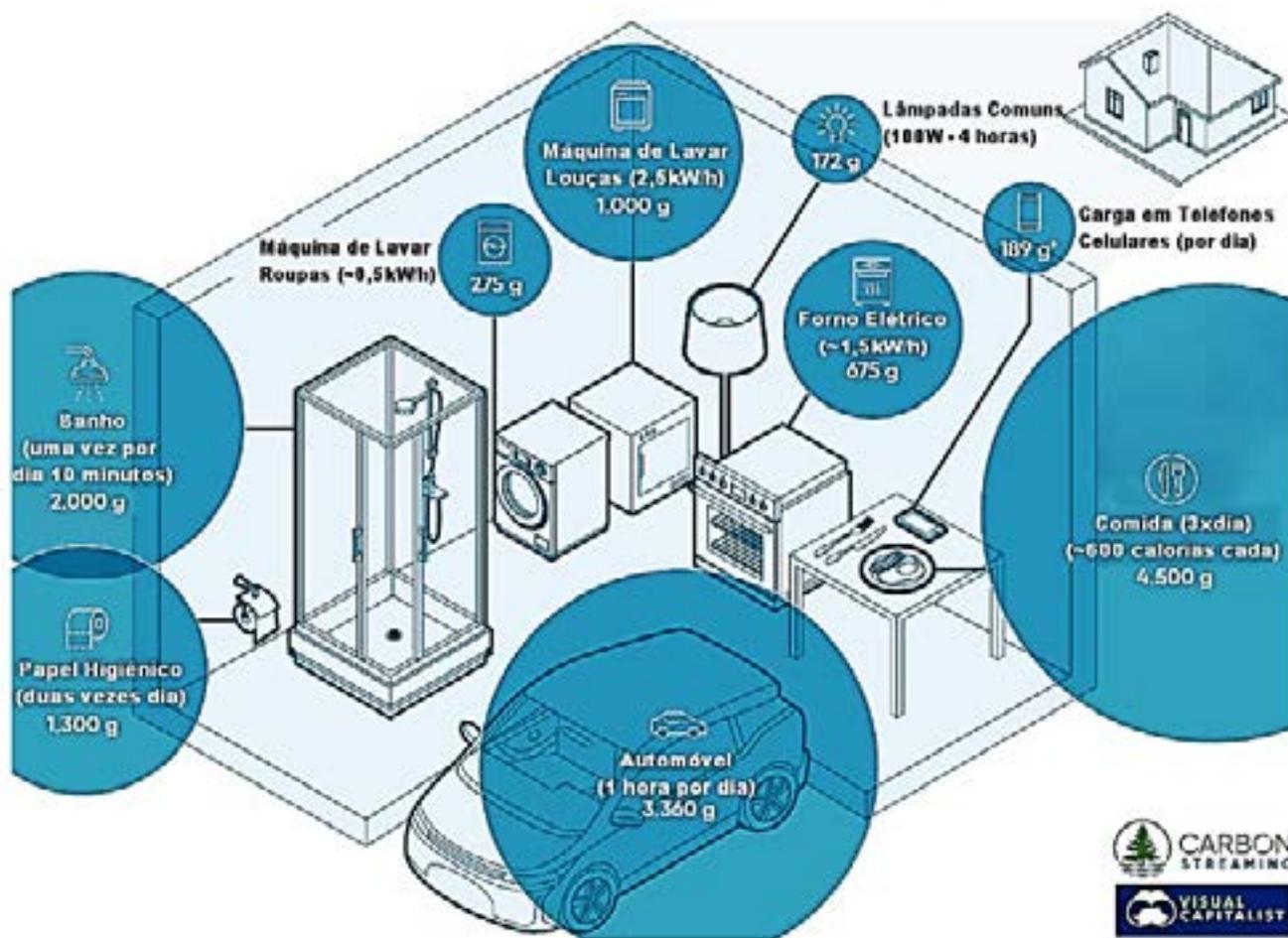
Seres humanos possuem uma íntima relação com a energia elétrica, faz parte da vida e do desenvolvimento humano, e quase todos os aparelhos e equipamentos atuais fazem uso direto ou indireto desta forma de energia (TRYGGESTAD et al., 2019; GREENSTONE et al., 2019). A evolução da raça humana se entrelaça com a energia elétrica desde que surgiram as primeiras lâmpadas elétricas e circuitos elétricos em 1879. Há ~145 anos os desenvolvimentos da eletricidade e de todos os dispositivos elétricos tiveram avanços significativos tão importantes que passaram a influenciar o dia-a-dia dos humanos. Atualmente um dos aparelhos mais utilizados é o telefone celular (SmartPhone), que integra diversas funções antes realizadas por diferentes equipamentos, como computadores, telefones, dispositivos de mensagens rápidas, máquinas fotográficas, reprodutores de música e áudio, localizador (GPS), entre outros.

O fornecimento da energia elétrica é um ponto de atenção importante quase sempre visto como fonte de pouco impacto ambiental, sob o aspecto de emissão de CO<sub>2</sub>, porém é parte integrante da transformação antropogênica (WILTGEN, 2022 B; IEA, 2023).

A preocupação com o efeito estufa e a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, resultante

da queima de combustíveis fósseis foi observado pela primeira vez e de fato utilizado pelo químico sueco Prof. Svante August Arrhenius. Que permitiu realizar comparações da quantidade de CO<sub>2</sub> que realmente encontra-se presente nos processos de obtenção de energia, assim como, na utilização da mesma. Na Figura 4 é possível observar uma estimativa do consumo e demanda de potência elétrica em uma residência e o impacto de produção de CO<sub>2</sub> que é decorrente desta utilização (FRIGO, 2018; MME, 2020).

**Figura 4** – Potência elétrica consumida em uma residência e sua relação com a produção de CO<sub>2</sub>.



**Fonte:** Adaptado de Carbon Streaming e Visual Capitalist, 2023.

É importante notar a somatória de potência elétrica (~10.000W = ~10kW de eletricidade sem considerar alimentos, combustível do automóvel e consumo de papel higiênico) e de produção de CO<sub>2</sub> (~13.500g = ~13,5kg de CO<sub>2</sub> considerando tudo) em uma residência tem impacto diário sobre ambiente. Pode-se estimar que a quantidade de eletricidade média utilizada em uma residência comum de classe média é aproximadamente proporcional à média de produção de CO<sub>2</sub>, guardadas obviamente a proporção de pessoas que moram na residência, e também a área e a localidade de cada residência.

A estimativa de comparação entre a eletricidade demandada e a produção de CO2 em uma residência permite estimar melhor o impacto da eletricidade não só na pegada de carbono, mas também no impacto antropogênico do efeito estufa, assim como, da massa gerada para a produção da eletricidade e equilíbrio energético (WIL-TGEN, 2023 C). Existem diversas fontes de transformação de energia. Cada tipo de fonte de energia possui diferentes fatores de impacto, cada tipo de fonte de produção energética possuirá diferentes índices de influência. Dentre estes índices, dois parecem ser importantes para medir o real impacto de cada fonte de energia na produção de CO2 e número de pessoas mortas na produção de 1TWh (~1,1012 Watt hora) de energia produzida.

Na Figura 5 é possível notar que existe uma comparação progressiva de taxa de mortalidade humana (acidentes e poluição) e a quantidade de produção de gases de efeito estufa para cada tipo de energia utilizada. Dentre estas fontes de energia tem-se: Carvão, Petróleo, Gás Natural, Biomassa, Hidrelétrica, Eólica, Nuclear e Fotovoltaica.

Dentre todas estas formas de transformação de energia presentes na Figura 5, observa-se que a energia nuclear é a que menos impacta na produção de efeito estufa. Assim como, a energia nuclear junto com a energia fotovoltaica são as de menores impactos com mortes de humanos (FELTRIN, 2018).

**Figura 5** – Comparativo de Taxa de Mortalidade e Emissão de Gás Estufa para as fontes de energia.



**Fonte:** Adaptado de Our World in Data, 2023.

Fica claro na Figura 5, que a produção de energia de Biomassa, Gás Natural, Petróleo e Carvão, são as com maiores índices de mortalidade e de produção de efeito estufa. Não é sem propósito que as demais fontes de energia desta figura, são conhecidas como fontes de energia renováveis. O que é importante para a avaliação

antropogênica na produção de eletricidade, uma vez da sua enorme importância para a humanidade.

## **HUMANOS E A ESCASSEZ DE RECURSOS**

A escassez de recursos naturais ocorre principalmente dado ao aumento progressivo e rápido da população humana. Dentre os recursos naturais mais importantes, tem-se o de produção de alimentos e hídricos (água potável). Estes recursos são conhecidos como Biocapacidade (GIDDENS, 2000).

Na Figura 6 é possível observar os quatro principais quadrantes entre o Produto Interno Bruto (PIB) médio Mundial e a Biocapacidade Alimentar. Estes quadrantes possuem alguns países que se enquadram em Déficit Alto de Reservas (1º quadrante parte inferior), Superávit Alto de Reservas (2º quadrante parte superior), Superávit Baixo de Reservas (3º quadrante parte superior) e Déficit Baixo de Reservas (4º quadrante parte inferior) com a finalidade de entender a distribuição mundial da Biocapacidade.

Observa-se que na Figura 6 tem-se: o Brasil que está localizado relativamente próximo do limite de PIB médio mundial, assim como, possuindo reservas de biocapacidade próximo de 200%, localizado no 3º quadrante (Superávit Baixo de Reservas). Note que a Noruega possui reservas similares a do Brasil, entretanto com um PIB muito maior localizada no 2º quadrante (Superávit Alto de Reservas). Por outro lado, a Suíça possui um elevado PIB, mas uma reserva baixa de menos de 50% de biocapacidade localizada no 1º quadrante (Déficit Alto de Reservas), e por fim, a China que possui PIB maior do que o do Brasil, e também está no limite do PIB médio mundial, porém com uma reserva de biocapacidade inferior a 100% localizada no 4º quadrante (Déficit Baixo de Reservas).

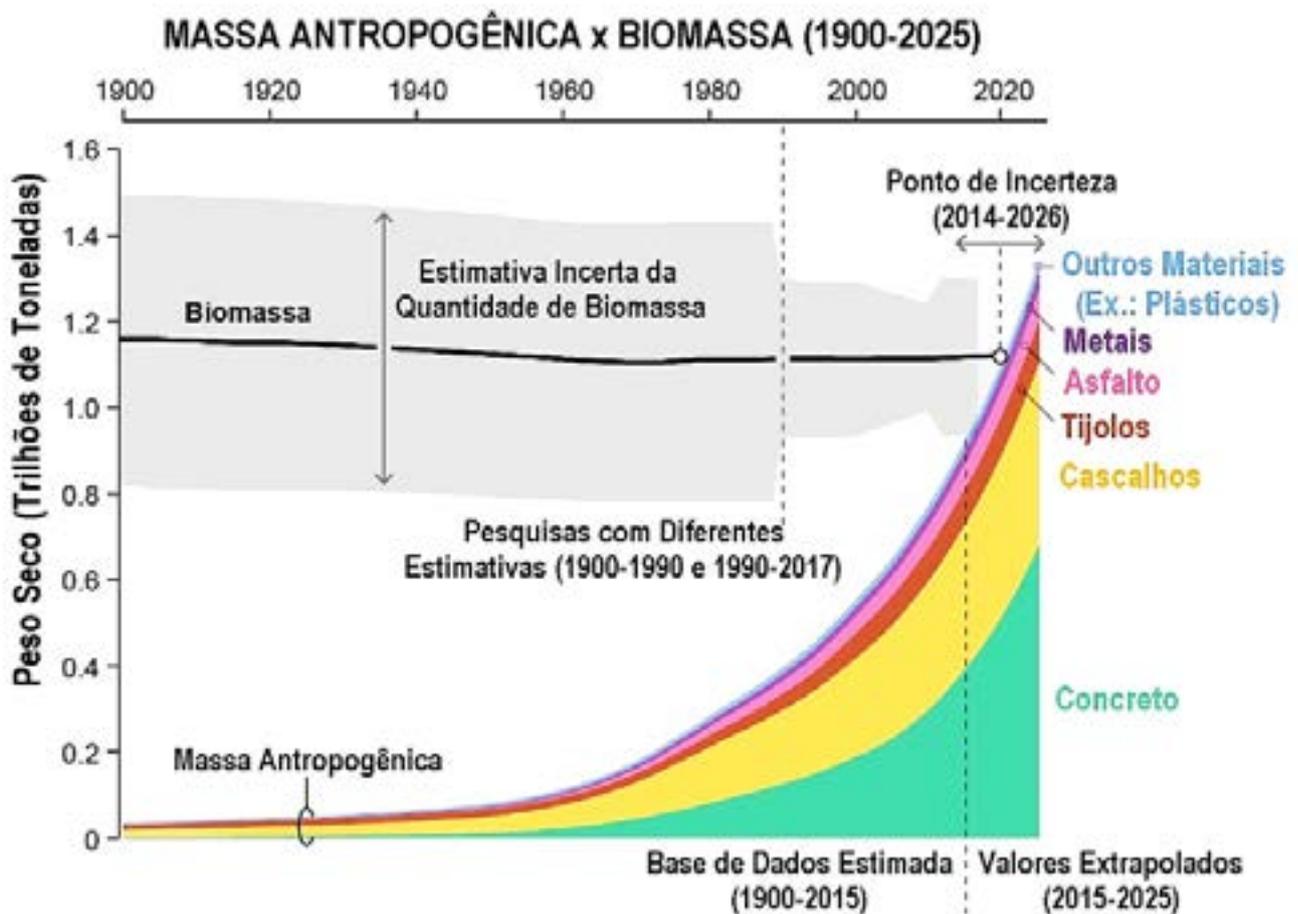


cial. Chegando a valores de  $\sim 1,5$  trilhões de toneladas de massa antropogênica. Observa-se também, que após o ano de 1990, houve uma forte redução da margem de biomassa que se manteve em torno de  $\sim 1,2$  trilhões de toneladas de biomassa.

Nesta Figura 7 pode ser visto que a massa antropológica esperada para 2026 será principalmente composta por: Concreto ( $\sim 0,7$  trilhões de toneladas), Cascalhos e Agregados ( $\sim 0,3$  trilhões de toneladas), Tijolos ( $\sim 0,2$  trilhões de toneladas), Asfalto ( $\sim 0,07$  trilhões de toneladas), Metais ( $\sim 0,1$  trilhões de toneladas), Plásticos e outros ( $\sim 0,03$  trilhões de toneladas).

Este acúmulo gera uma enorme massa antropogênica que atualmente supera a massa viva no planeta, causando grande preocupação no real impacto disso nos seres vivos.

**Figura 7** – Biomassa relativa média e a massa antropogênica de 1900-2020.



**Fonte:** Adaptado de Elhacham, 2020.

## O EFEITO NAS CORRENTES MARINHAS E NOS RECURSOS ENERGÉTICOS

As mudanças antropogênicas acumuladas de 1900 até a atualidade, vem impactando de forma gradativa em muitas mudanças locais ocorridas, principalmente devido a transformação dos recursos naturais, o que de fato preocupa muito devido as novas variáveis desconhecidas nos complexos mecanismos climáticos do planeta.

O crescimento da população do planeta, não impacta apenas no consumo dos recursos naturais, mas principalmente no acúmulo de massa antropogênica. Encontrar e entender a complexidade do problema é muito importante para compor soluções efetivas e não apenas tentativas paliativas frustradas (WILTGEN, 2020).

O estudo do domínio do problema, leva a crer que o crescimento exponencial dos seres humanos, fez crescer muito o consumo de recursos naturais e também e principalmente o acúmulo de massa antropogênica do qual a natureza ainda não consegue decompor em uma escala de tempo de uma geração humana. Desta forma, é também essencial observar os impactos que nossa transformação no planeta gera além de tudo que é visível, mas sobretudo no que não é observável aos olhos.

Na Figura 8 observa-se o crescimento da população de seres humanos em mais de 12.000 anos de existência.

**Figura 8** – Comportamento do crescimento da população mundial em um período de ~12.000 anos.



**Fonte:** Adaptado de Our World in Data, 2023.

Na Figura 8 fica claro o ponto de virada do crescimento da população humana surge após o aparecimento da doença conhecida como peste negra, que dizimou ~200 milhões de humanos. Em menos de 300 anos a população mundial foi de ~600 milhões (1700) para mais de 8 bilhões de pessoas (2023-2024).

O impacto deste crescimento em um período de tempo tão curto, principalmente pensando na escala de tempo do planeta (Gaia – Prof. Dr. James Lovelock), é como se fosse apenas uma fração de milionésimos de segundo. Os mecanismos auto reguladores do planeta, não são sensíveis a uma escala de tempo tão pequena. Isso proporciona um impacto ainda maior nas condições de sustentabilidade naturais do planeta. A velocidade que os seres humanos conseguem transformar os recursos, de fato é um mecanismo que a natureza não consegue lidar, no sentido de se autorregular e viabilizar a decomposição natural (LOVELOCK, 2003; LOVELOCK, 2004; LOCKE et al., 2020). Então é parte fundamental deste problema a incapacidade do planeta em decompor a transformação e toda a massa antropogênica dos seres humanos, fazendo com que a autorregulem não surta nem efeito, e tão pouco se realize.

Sem a autorregulação natural do planeta, devido a escala de tempo, tudo passa por um longo período de perturbação, similar à de um sistema de amortecimento veicular (massa-mola). Em um sistema massa-mola veicular o impacto é diminuído ou amortecido nos passageiros de um veículo, sempre quando consegue absorver a perturbação (depende da intensidade e da identificação do sistema). Se este sistema não conseguir amortecer rapidamente o impacto, ou seja, absorver a perturbação, fatalmente ela será transmitida aos passageiros deste veículo. Isso é o que vem ocorrendo com o planeta. Os seres humanos são os passageiros e os responsáveis pelas perturbações, o planeta é o sistema de amortecimento que não consegue absorver tantos e tão profundos impactos causados pelos passageiros. Assim sendo os passageiros sofrem com as perturbações no sistema.

Isso tem sido percebido com o que vem sendo chamado de “o colapso das correntes marinhas no oceano Atlântico”, justamente no ponto de resfriamento na extremidade sul da Groenlândia, que é um dos únicos lugares no planeta no qual o oceano não está ficando mais quente.

Isto sugere que a principal corrente oceânica que regula o clima do planeta AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation ou Circulação Meridional do Atlântico) não está transportando tanta água quente para o Atlântico Norte o que indica que o sistema está desacelerando (WESTEN and DIJKSTRA, 2023).

Desde a década de 1950, este complexo mecanismo de transporte de água quente vem desacelerando em uma proporção estimada de ~15%. Sabe-se também, que a quantidade de água doce movimentada na porção mais meridional do oceano Atlântico é um bom indicador da retroalimentação do AMOC (DITLEVSEN and DITLEVSEN, 2023).

Quando essa métrica se mantinha positiva (mais água salgada do que doce, ou seja, circulação acelerada), isso significava que o sistema estava funcionando de forma correta, água salgada menos densa, mais leve e mais rápida na superfície, água doce mais densa, mais pesada no fundo. Mantendo assim a auto regulação no planeta.

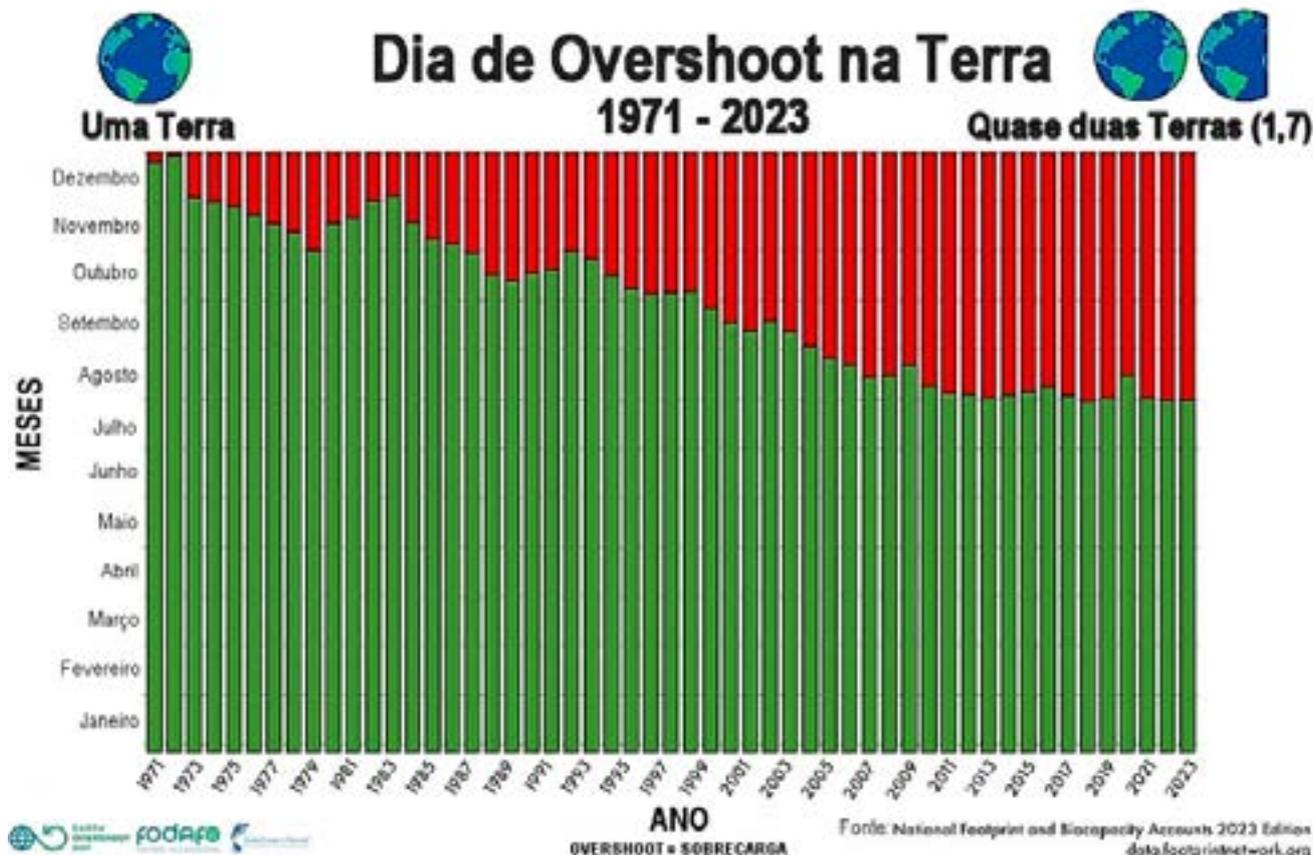
Entretanto, novos dados apontam para que esta métrica esteja se tornando negativa, ou seja, maior transporte de água doce o que diminui a salinidade, e enfraquece as correntes marinhas. Isso ocorre dado aos atuais níveis crescentes de interferência humana que provoca o aquecimento em determinados locais do planeta e que impacta no derretimento das calotas polares (WESTEN and DIJKSTRA, 2023).

Estudos recentes mostraram que a AMOC continua desacelerando, estima-se que um colapso iminente pode vir a ocorrer antes de 2100. O frágil e complexo sistema de auto regulação do planeta, ainda não sabe como lidar com estes eventos rápidos antropogênicos.

Isso tudo fica mais claro com a verificação do que vem sendo chamado de “Earth Overshoot Day” ou dia da sobrecarga da Terra. Momento em que a estimativa de recursos naturais existentes para utilização em um ano é superada pela população do planeta bem antes do fim do ano (LIN et al., 2023).

Na Figura 9 é possível notar que existem duas cores para cada ano no eixo X (vermelho e verde), e no eixo Y, tem-se os meses do ano. Note que uma medida realizada desde 1971 até a atualidade, apresenta uma progressão na cor vermelha. Isso porque a cor verde, que vem diminuindo ao logo dos anos, representa o total da disponibilidade de recursos no planeta. A cada ano os recursos vêm sendo utilizados mais rápido do que deveria ocorrer. Em 1971 os recursos terminavam nos últimos dias de dezembro. Hoje isto tem ocorrido no meio do ano nos últimos dias de julho.

**Figura 9** – Distribuição ao longo do período de 1971-2023 do mês em que cessam os recursos naturais (cor verde disponibilidade de recursos e cor vermelho indisponibilidade de recursos).



**Fonte:** Adaptado de Global Footprint Network, 2023.

A produção de energia é um valioso recurso humano, e que tem forte impacto no seu desenvolvimento. Encontrar uma forma de suprir esta necessidade sem causar maior impacto ao ambiente e ao acúmulo de massa antropogênica, precisa de uma engenharia que possa ser pragmática o suficiente para não só entender, mas principalmente ser cética quanto as promessas de fontes verdes de energia que não podem dispor da eficiência necessária para a solução deste problema neste exato momento.

Compreender que os recursos naturais estão escassos devido à influência humana no planeta, demanda de ações rápidas as quais tem-se soluções energéticas que vem sendo aperfeiçoadas desde a década de 1940 e que podem de forma rápida mudar consideravelmente a produção de massa antropogênica, e assim mudar a relação dos impactos indiretos nos mecanismos de auto regulação do planeta, permitindo que o sistema tenha tempo suficiente para alcançar a estabilidade natural.

É fato que a muitos anos importantes pesquisadores tem se pronunciado a favor da utilização efetiva da energia nuclear. A fonte nuclear é a mais eficiente forma de

produzir energia, fato irrefutável (WILTGEN, 2023 C). Ainda assim, que seja com a fissão nuclear, as atuais centrais compactas modulares de alta eficiência, tem se mostrado uma forma importante para ajudar no fornecimento de energia que o mundo necessita com o menor impacto antropogênico possível hoje. Isso dará o tempo necessário para as pesquisas em fusão nuclear alcancem os tão esperados reatores a fusão que poderão de fato resolver a questão energética humana (CHEN, 2011; EL-GUEBALY, 2009; WILTGEN, 2021; WILTGEN, 2022 A; WILTGEN, 2022 B; WILTGEN, 2022 C; YICAN and SUMER, 2018; MCCRACKEN and STOTT, 1972).

Enormes máquinas de pesquisa em fusão nuclear vêm sendo construídas desde 1980 com a finalidade de obter o primeiro reator a fusão nuclear sustentável e escalável comercialmente. As dificuldades técnicas têm atrasado a realização deste feito da humanidade, porém a atual e maior máquina construída pelos humanos, deverá conseguir realizar a fusão nuclear abrindo caminho para a engenharia de fusão em novas centrais nucleares a fusão. (WILTGEN, 2022 E; HANDLEY, 2021).

Toda a comunidade científica de energia, aguarda ansiosa o início das operações do Tokamak ITER na França, muito em breve. Com o sucesso do ITER, será possível escalar comercialmente o desenvolvimento e a construção de reatores a fusão nuclear comerciais. Possibilitando gerar energia com uma eficiência jamais imaginada pela humanidade, quem sabe melhorando a relação entre os recursos naturais disponíveis e seu uso durante determinado período (WILTGEN, 2023 A; WILTGEN, 2023 B).

Mesmo assim, em determinados países o fim dos recursos naturais tem ocorrido ainda muito antes da média mundial, como visto na Figura 9. Não são poucos países em que a fatura de recursos naturais é escassa, e isso aliado a um elevado aumento da população tem impactado de forma muito forte nas transformações antropogênicas e principalmente na forma de produção de energia.

Na Figura 10, é possível notar como alguns países extrapolam seus recursos naturais muito antes da média mundial. Observar que o Sudão do Sul (parte superior à esquerda) possui recursos para quase o ano todo faltando apenas sete dias. O Brasil (parte superior bem no centro) tem a escassez de seus recursos naturais em agosto. A China (parte superior à direita) tem a escassez de seus recursos no mês de junho. Outros países como França (parte inferior à esquerda) possuem apenas recursos naturais até maio. A Rússia (parte inferior no centro) termina seus recursos em meados de abril, e por fim, o Catar (parte inferior à direita) possui somente 40 (quarenta) dias de recursos naturais no ano.

**Figura 10** – Comparativo dos recursos naturais durante um ano para alguns países (em número de dias).



**Fonte:** Adaptado de Global Footprint Network, 2023.

## DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A preocupação com a massa antropogênica é legítima, quanto maior for a população humana no planeta, maior será a produção de massa antropogênica. É fato também que o desenvolvimento humano transita sempre entre o acúmulo de massa, e a tentativa de ser sustentável. Infelizmente apenas a poucos anos o desenvolvimento humano tem se preocupado com manter a sustentabilidade e a facilitar na transformação ou na reciclagem natural.

Mesmo com a preocupação do acúmulo de massa antropogênica, estas movimentações mais atuais não se mostram eficazes, e o pior é que a parte econômica e financeira sempre supera a vontade de mudar a forma de conduzir o desenvolvimento da humanidade (WINTERSTETTER et al., 2021).

Faz parte deste desafio encontrar uma forma eficaz e de pouco impacto antropogênico para produzir energia elétrica no montante que a demanda atual e futura seja amplamente atendida (HODGSON, 2010).

Neste momento a única forma de energia que independe das mudanças da natureza é a energia a fissão nuclear. Novos reatores a fissão nuclear podem ser instalados em quase qualquer lugar, além de ser operacionalmente transportada na forma de centrais nucleares móveis. Permitindo inclusive operações mais seguras, modulares e mais eficientes, com menor quantidade de combustível nuclear, e sem a necessidade de substituição dos combustíveis nucleares. A energia nuclear se mostra a única opção real para a substituição da atual matriz energética (WILTGEN, 2023 C, MONTALVÃO, 2011; MONTALVÃO, 2012).

É relevante pensar que tudo o que se faz tem de fato impacto na sociedade e no ambiente. Desta forma, as mudanças esperadas na forma de conduzir os avanços tecnológicos e sociais precisam de um forte apoio da sociedade dando a prontidão e a maturidade esperada para as mudanças. Sem as mudanças, o futuro do desenvolvimento humano será cada vez mais complicado, até que não seja mais viável.

Controlar e contornar o acúmulo de massa antropogênica é essencial para manter o equilíbrio. A humanidade não pode descansar sem se questionar a respeito do que pode e deve ser feito para ajudar na decomposição natural de tudo que é produzido, e com a responsabilidade de manter a sustentabilidade como meta atual e futura para o desenvolvimento (GOOD and REUVENY, 2009).

Permitir que o planeta a manter seu frágil e complexo equilíbrio faz parte da maturidade da sociedade humana, no qual devem ser mantidos os valores reais do que realmente tem importância, assim como devem ser subvertidos os que não tem nenhuma significância.

## 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.
- CARVALHO, S.A. A Desnaturalização do Homo Sapiens Diante da Natureza e do Meio Ambiente Natural. *R. Themis*, v. 20(02), p.59-80, 2022.
- CHEN, F.F. *An Indispensable Truth: how Fusion Power can Save the Planet*. New York, Springer Science and Business Media, LLC. 2011. 450p.
- DITLEVSEN, P., DITLEVSEN, S. Warning of a Forthcoming Collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Nature Communications*, v.14(4254), p.01-12, 2023.
- 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.
- GIDDENS, A. *Mundo em Descontrole*. Record, 2000, 108p.
- GREENSTONE, M., REGUANT, M., RYAN, N., DOBERMANN, T. Energy and Environment. *IGC International Growth Centre, London School*. p.01-44, 2019.
- HANDLEY, M.C., SLESINSKI, D., HSU, S.C. Potential Early Markets for Fusion Energy.

Journal of Fusion Energy. v.40(18), p.1-17, 2021.

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. Nature-Positive Global Goal for Nature, p.01-21, 2020.

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

LOVELOCK, J. Nuclear Power is the Only Green Solution. Publ. in The Independent, 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. Ambiente e Energia: Crença e Ciência no Licenciamento Ambiental - Parte I: O papel da energia e do conhecimento científico na evolução das civilizações. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal Brasileiro, Texto 93. p.01-54, 2011.

- 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.
- NAKCENOV, N. Energy and Challenge of Sustainability - Chapter 9 - Energy Scenarios. World Energy Assessment. 2000. 506p.
- NITZBON, J., HEITZIG, J., PARLITZ, U. Sustainability, Collapse and Oscillations in a Simple World-Earth Model. Environ. Res. Lett. v.12, p.01-16, 2017.
- PAPPAS, S. Human-Made Stuff Now Outweighs All Life on Earth. Scientific American, p.01-05, 2020.
- RATTNER, H. O Esgotamento dos Recursos Naturais: Catástrofe ou Interdependência. IX Congresso Pan-americano de Administração. Rio de Janeiro, 11 a 14 de outubro, v.17(02), p.15-21, 1976.
- 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.
- TRYGGESTAD, C. Global Energy Perspective 2019: Reference Case. Energy Insights. p.1-31, 2019.
- WACKERNAGEL, M., HANSCOM, L., JAYASINGHE, P., LIN, D., MURTHY, A., NEILL, E., RAVEN, P. The Importance of Resource Security for Poverty Eradication. Nature Sustainability. v.4, p.731-738, 2021.
- WESTEN, R.M., DIJKSTRA, H.A. Asymmetry of AMOC Hysteresis in a State-Of-The-Art Global Climate Model. Geophysical Research Letters, Adv. Earth and Space Sciences, p.01-10, 2023.
- WILTGEN, F. Técnica de Ensaios 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. Estados Físicos da Matéria. Ciência e Tecnologia: Temáticas e Funda-

mentos. Editora Uniesmero. Cap.9, v.3, p.106-130, 2022 A.

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 B.

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 C.

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

WILTGEN, F. Fusão Termonuclear Controlada por Confinamento Magnético do Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT)., p.01-06. Em publicação, 2022 E.

WILTGEN, F. Nível de Maturidade Tecnológica da Fusão Nuclear via Confinamento Magnético do Plasma em Tokamaks. Engenharia do Futuro - Tendências e Perspectivas. Editora Uniesmero. Cap.4, v.3, p.41-65, 2023 A.

WILTGEN, F. Caminhos para o Futuro da Energia. Revista H-TEC da FATEC de Cruzeiro. Em publicação. p.01-23, 2023 B.

WILTGEN, F. Energy Collapse and the Importance of Nuclear Energy. Revista e-Transformation. Em publicação. p.01-13, 2023 C.

WILTGEN, F. O Dilema Energético e o Desafio do Equilíbrio Energético Mundial. Revista de Engenharia e Tecnologia. Em publicação. p.01-10, 2023D.

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.

YICAN, W., SUMER, S. Fusion Energy Production. Elsevier Comprehensive Energy Systems. v.3, p.539-589, 2018.