

Tório

Energia abundante e acessível

Robert Hargraves

***Tradução e
Adaptação de
Sergius Tunes***

Aclamação dos Críticos

"... uma explicação lúcida sobre o funcionamento dos reatores de tório. É leitura obrigatória para qualquer pessoa interessada em nosso futuro energético."

Leon Cooper, físico da Universidade de Brown e ganhador do Prêmio Nobel 1972 envolvendo supercondutividade.

"... uma riqueza de informações que eu jamais observei em qualquer outra publicação. Muito informativo e esclarecedor."

Steve Kirsch, San Jose-empresário e filantropo.

"O livro descreve a esperança da humanidade em um futuro sustentável e próspero: reatores de alta temperatura com base em tório. A escrita é clara e factual e o livro é leitura importante para qualquer interessado em várias opções de energia."

Meredith Angwin, diretor de educação do Instituto de Energia Ethan Allen.

"Robert Hargraves está correto: para que a energia nuclear substitua rapidamente os combustíveis fósseis, ela deve tornar-se mais segura, mais limpa e mais barata — e a próxima geração de tecnologias de tório é a principal candidata para essa missão. Em seu novo e excelente livro, Tório: energia mais barata do que carvão, Hargraves apresenta um argumento convincente de que o tório possui grande potencial para a sustentação energética de um mundo em que a população cresce de sete para dez bilhões de pessoas, todos com um anseio de viver uma vida moderna e farta em energia. Mas o livro vai além apenas da advocacia e oferece uma descrição pormenorizada dos difíceis desafios técnicos que a tecnologia de tório apresenta, e descreve as políticas de inovação necessárias para acelerar esta tecnologia de energia e potencialmente mudar o mundo. Ao oferecer uma visão de sustentabilidade ambiental, alcançada através da redução do custo de energia, o livro de Hargraves faz um serviço público precioso."

Ted Nordhaus e Michael Shellenberger, cofundadores da Breakthrough Institute, and coautores do Break Through: From the Death of Environmentalism to the Politics of Possibility

“Como o nosso futuro energético é essencial, eu altamente recomendo o livro para todos interessados neste assunto de grande importância.”

George Olah, laureado com o prêmio Nobel de 1994 em química.

“Uma descrição extraordinária e extensiva da necessidade de encontrar uma solução para o problema energético deste século incentivando o leitor a considerar as vantagens da fissão do tório em um fluido de sal derretido. O livro explica as bases técnicas de como funciona tal tipo de usina e porque ela pode vir a ser mais barata do que uma usina de carvão – o combustível dominante para usinas, na atualidade. O livro constituirá de auxílio valioso para as pessoas avaliarem o renascimento desta tecnologia, já demonstrada no laboratório nacional de Oak Ridge, Tennessee, na década de 1960, e a implantação neste século e possivelmente vir a dominar a produção de energia na segunda parte do século 21.”

Ralph Moir, físico, aposentado, do Laboratório de Lawrence Livermore, especialista em fusão e reatores de sal fundido.

"Qualquer coisa provinda de Robert Hargraves é leitura obrigatória... Este então é fundamental, pois que rechaça as críticas dos oponentes da energia nuclear. Leia este livro e entenda como sofremos a lavagem cerebral feita pela indústria fóssil. Não há nenhum substituto real para a energia nuclear e Hargraves mostra o quão acessível ela pode ser.”

Reese Palley, Autor: THE ANSWER: Why Only Inherently Safe Mini Nuclear Power Plants Can Save The World.

Sobre o Autor

Robert Hargraves tem escrito artigos e feito apresentações sobre o reator de flúor-tório líquido e energia mais barata do que o carvão – a forma mais realista de dissuadir as nações de queimar o combustível fóssil. A sua apresentação “Aim High” sobre a tecnologia e os benefícios sociais do reator de flúor-tório líquido tem sido feita para as audiências na Dartmouth ILEAD, Escola de Engenharia Thayer, na Universidade de Brown, Instituto da Terra da Columbia, Williams College, Royal Institution, Thorium Energy Alliance, International Thorium Energy Association, Google, Sociedade Nuclear Americana (ANS) e Presidents Blue Ribbon Commission of America’s Nuclear Future.

Ele escreveu, com Ralph Moir, vários artigos para o Fórum da Sociedade Americana de Física (APS) sobre Física e Sociedade: Reatores Nucleares de combustível líquido (janeiro de 2011) e American Scientists: Reatores de Flúor-Tório líquido (julho de 2010).

Robert Hargraves é um líder para os estudos da política sobre energia na Dartmouth ILEAD. Ele ocupou o cargo de diretor de Informática na Boston Scientific e, anteriormente, foi um consultor sênior junto com Arthur D. Little. Ele também fundou uma firma de software, DTSS Incorporated enquanto estava na Dartmouth College, onde ele era professor assistente de matemática e diretor associado do centro de computação.

Sobre o Autor

Robert Hargraves obteve o seu doutorado pela Brown University (PhD em Física, 1967) e graduou-se pela Dartmouth College (AB em Matemática e Física, 1961)

Copyright 2012, 2015 por Robert Hargraves, Hanover NH 03755
robert.hargraves@gmail.com

Website: <http://www.thoriumenergycheaperthancoal.com>

Desenho da capa para a edição em português por Sergius Tunes

Capítulos

Introdução: uma introdução à crise energética mundial e do meio ambiente e o potencial para soluções satisfatórias.

Energia e Civilização: a relação entre energia, vida e civilização humana, a dependência da vida sobre o fluxo de energia, o progresso da civilização com a tecnologia energética provinda da Revolução Industrial, e a crise de consumo e do meio ambiente no século 21.

Um Mundo Insustentável: o aquecimento global e as consequências maléficas para a água, comida e civilização; esgotamento das reservas econômicas de petróleo, poluição nociva do ar pela queima de carvão, aumento da competição pelas reservas naturais devido ao crescimento populacional, e a solução pelo uso de nova tecnologia, mais barata do que carvão.

Fontes de Energia: o caráter e o custo das atuais e principais fontes de energia: carvão, óleo, gás natural, hidroelétricas, solar, eólica, biomassa e nuclear.

Reator de flúor-tório líquido (LFTR, na sigla em inglês): história e a tecnologia dos reatores de combustível líquido, a demonstração feita pela Oak Ridge, tório, RTFL, o reator de sal desnaturado fundido (DMSR, na sigla em inglês), construtores, e os possíveis candidatos para se ter energia mais barata do que o carvão.

Segurança: a segurança dos reatores de sal fundido, comparação com as fontes alternativas de energia, riscos de radiação, lixo atômico, armas nucleares e o medo.

Um mundo sustentável: os benefícios ambientais da energia de tório: redução da emissão de CO₂, redução do consumo de petróleo, combustível sintético para veículos, energia do hidrogênio, conservação da água e dessalinização.

Política energética: políticas atuais confusas, fracasso na redução da emissão de CO₂, subsídios, recomendações e liderança.

Sumário

ACLAMAÇÃO DOS CRÍTICOS	- 2 -
SOBRE O AUTOR	- 4 -
CAPÍTULOS	- 6 -
PREFÁCIO À EDIÇÃO BRASILEIRA	- 11 -
APRESENTAÇÃO DO LIVRO	- 13 -
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	- 15 -
ENERGIA E MEIO AMBIENTE	- 17 -
CAPÍTULO 2 - ENERGIA E CIVILIZAÇÃO	- 20 -
Eletricidade	- 31 -
Trabalho e Calor	- 34 -
Vida	- 41 -
A Presença Humana	- 43 -
Civilização	- 46 -
Sumário: Energia e Civilização	- 56 -
CAPÍTULO 3 - UM MUNDO INSUSTENTÁVEL	- 57 -
Aquecimento Global	- 68 -
As Novas Tecnologias de Energia	- 83 -
O Reator de Tório-Flúor Líquido	- 87 -

CAPITULO 4 - FONTES DE ENERGIA	- 93 -
A Demanda por Energia	- 94 -
Capacidade de Geração	- 96 -
Carvão	- 99 -
Gás Natural	- 108 -
Energia Eólica	- 123 -
Solar	- 135 -
Intermitente energia solar e eólica	- 142 -
Biocombustível Sólido	- 143 -
Biocombustível líquido	- 147 -
Armazenamento de Energia	- 151 -
Energia Hidroelétrica	- 160 -
Conservação de Energia	- 162 -
CAPITULO 5 - REATOR LÍQUIDO DE TÓRIO- FLÚOR	- 167 -
Reatores de Água Pressurizada	- 171 -
Reatores Nucleares de Combustível líquido	- 177 -
As Vantagens e Flexibilidade dos Reatores de Tório- Flúor Líquido	- 196 -
Reator de sal fundido resfriado por um leito de seixos esféricos	- 208 -
Energia mais barata que a do carvão	- 213 -
A Engenharia de Desenvolvimento do RTFL	- 223 -
O plano necessário para se desenvolver um RTFL	- 225 -

Os protagonistas	- 246 -
Os Estados Unidos	- 247 -
China	- 257 -
França	- 262 -
Outros Países Considerando o Reator de Sal Fundido	- 264 -
Os Competidores	- 269 -
NGNP	- 270 -
Westinghouse AP1000	- 273 -
Pequenos reatores modulares (SMR)	- 279 -
reatores reprodutores rápido de metal líquido	- 286 -
Reator subcrítico utilizando um acelerador	- 297 -
CAPÍTULO 6 - SEGURANÇA	- 306 -
Acidentes	- 306 -
Radiação Ionizante	- 311 -
Resíduos Nucleares	- 332 -
Proliferação de Armas Nucleares	- 337 -
CAPÍTULO 7 - UM MUNDO SUSTENTÁVEL	- 345 -
A Substituição do Carvão como Fonte de Energia	- 346 -
Transporte Marítimo	- 347 -
Petróleo	- 348 -
Combustível líquido sintético para veículos	- 357 -
Amônia	- 367 -

Cimento Nuclear	- 376 -
Hidrogênio	- 379 -
Água e Dessalinização	- 383 -
Estabilidade Populacional	- 386 -
CAPITULO 8 - POLÍTICAS SOBRE ENERGIA	- 387 -
Recomendações para uma política energética nos EUA	- 392 -
Tório: Energia Mais Barata Que A Energia do Carvão	- 402 -
REFERÊNCIAS	- 404 -
APÊNDICE	- 438 -
Geração Elétrica Nuclear no Brasil	- 438 -
BIBLIOGRAFIA	- 444 -

Prefácio à edição brasileira

O Brasil é um país rico em tório, mas muitas pessoas nunca ouviram falar deste metal.

Tório é um elemento levemente radioativo encontrado, praticamente, em todo o mundo e em grandes quantidades. A maior fonte deste metal é obtida como resultante da exploração de terras raras e considerado uma sucata. Mas isto vem mudando gradativamente graças as atividades de várias organizações, como a T.E.A., a IThEO, e outras, que advogam para a conscientização dos governos e investidores no uso desta fonte preciosa de energia.

O desenvolvimento de uma tecnologia para o uso do tório em um reator foi iniciado nos anos sessenta por Weinberg. De tal modo que um reator experimental de tório já foi construído e esta tecnologia confirmada ser assaz promissora. Contudo, motivos políticos resultaram no encerramento destas pesquisas.

No Brasil, alguns grupos se dedicaram, e ainda se dedicam, ao estudo deste combustível nuclear. Eu tive a oportunidade de conhecer o antigo instituto de pesquisas radioativas, antigo IPR, atualmente CDTN/CNEN, localizado no campus da UFMG, Belo Horizonte. Tive a oportunidade de visitar o instituto nos anos sessenta com o meu pai, onde fui introduzido ao tório graças à gentileza de alguns pesquisadores que lá trabalhavam e que mostraram interesse em explicar o que faziam.

A minha decisão de traduzir este livro para o Português foi em consequência da minha eterna esperança no Brasil. A esperança de que o Brasil venha a construir o seu próprio reator, com a sua própria pesquisa, como fazem atualmente a China, a Índia, o Canadá, a Noruega e os vários outros países. Existem alguns livros sobre o reator de sal fundido envolvendo o tório e este livro de Robert Hargraves é considerado o melhor disponível para o leitor leigo.

O Brasil, assim como todo o mundo, precisa gerar energia elétrica mais barata; abundante, limpa e segura, um objetivo extremamente

importante na atualidade. Energia abundante pode ajudar a colocar um fim na pobreza, mudar a cultura dos países pobres, gerando emprego, negócios e prosperidade. O outro motivo importante é o meio ambiente e o aquecimento global. Tório fornece esta fonte de energia acessível, abundante, amiga do meio ambiente e segura.

O Brasil precisa investir muito mais em pesquisa e desenvolvimento, em geral, para alcançar prosperidade e isto inclui desenvolver tecnologia própria na área nuclear. Eu considero fundamental para o futuro da nação, o investimento em P&D de tecnologias própria, tanto na área nuclear como em todas as áreas de tecnologia e ciência.

Agradeço a minha esposa, ao autor deste livro, Robert Hargraves, ao doutor Leonam De Santos Guimarães e muitos outros amigos e colegas de trabalho que me deram incentivo para traduzir esta obra para língua portuguesa. A tradução exigiu muitas horas e muitos meses de dedicação. Eu tenho certeza que os leitores vão encontrar muitos pontos interessantes e reveladores neste livro de Robert Hargraves. Como este livro é uma autopublicação, sem a ajuda de um editor profissional, ele pode conter erros. O tradutor ficará muito grato se o leitor notificar qualquer erro encontrado.

stunesoregon@gmail.com

Apresentação do Livro

Por Leonam Guimarães dos Santos

A avaliação da magnitude das reservas energéticas renováveis e não renováveis nacionais trazem grande otimismo face os desafios do crescimento econômico e do desenvolvimento social sustentável do Brasil. Com o devido aporte de planejamento, tecnologia e adequada gestão, nosso País pode ser autossuficiente em energia no mínimo por mais de meio século, o que se constitui grande fator de alavancagem e diferencial competitivo no conserto das nações.

Uma política energética inteligente terá que conciliar múltiplos interesses – políticos, econômicos, sociais, ambientais – e dificilmente se pode basear em ideias simplistas como as daqueles que pregam uma solução única e supostamente “milagrosa” para o problema, seja biomassa, eólica, hídrica, nuclear, solar, gás natural ou qualquer outra que entre “na moda”.

O problema é demasiado complexo para que qualquer uma das potenciais soluções possa ser colocada como “bala de prata”. Essa é a maior dificuldade no debate sobre a energia – o da simplificação extrema das decisões e a noção perversa de que existe uma resposta simples e imediata para o problema. Só quando percebermos coletivamente que não existe uma “solução milagrosa” e que os problemas da segurança energética, dos custos e das emissões de gases de efeito estufa não são compatíveis com esse tratamento simplista, é que será possível realmente avançar no debate.

A complementaridade entre energéticos é a única estratégia que dispomos para a otimização do conjugado modicidade tarifária/confiabilidade, já que o gerenciamento da expansão do sistema elétrico nacional é similar ao gerenciamento de uma carteira de investimentos: os princípios da gestão de riscos (confiabilidade) indicam uma estratégia de diversificação no sentido de garantir a rentabilidade (modicidade tarifária).

Os indicadores brasileiros de consumo e capacidade instalada de geração elétrica per capita são ainda medíocres, inferiores à média mundial e correspondente à metade dos de Portugal – este é o fato crucial a ser considerado. Isto obriga ao País aproveitar ao máximo

e o mais rápido possível todos os recursos disponíveis para aumentar a capacidade geração de eletricidade, permitindo que sejam alcançados níveis de consumo compatíveis com as necessidades da vida moderna.

É nesse amplo contexto que o livro Tório: energia abundante e acessível insere. A energia do tório pode ajudar a reduzir a geração de gases de efeito estufa, em especial o CO₂, e o aquecimento global, reduzir a poluição do ar por partículas geradas pela queima de combustíveis fósseis, fornecendo energia praticamente inesgotável e, portanto, aumentando a prosperidade humana.

Nosso mundo é assolado pelas mudanças climáticas, poluição, conflitos por recursos e pobreza energética. Milhões morrem de emissões de usinas a carvão. O petróleo do Oriente Médio motiva conflitos infundáveis. O suprimento de alimentos vindos do mar e da terra está ameaçado. O crescimento econômico das nações em desenvolvimento acelerado agrava as crises. Poucas nações adotarão os impostos de carbono ou políticas energéticas contra seus próprios interesses econômicos para reduzir as emissões globais de CO₂.

Somente a disponibilidade de energia mais barata poderá dissuadir as nações da queima de combustíveis fósseis. A energia inovadora do tório pode utilizar essa persuasão econômica para acabar com a poluição e fornecer energia e prosperidade para as nações em desenvolvimento, propiciando segurança energética para todos os povos em todos os tempos.

O livro apresenta uma lúcida explicação do funcionamento de reatores baseados em tório. É leitura obrigatória para qualquer pessoa interessada em nosso futuro energético. Como o nosso futuro energético é essencial, sua tradução para o português é alvissareira para todos os interessados neste importantíssimo assunto.