

A energia e os materiais nos sistemas técnico económicos 1800–2020 e os desafios que se colocam na mitigação das alterações climáticas

José Félix Ribeiro



**FUNDAÇÃO
CALOUSTE GULBENKIAN**

INDICE

Introdução	3
I. As vagas de inovação e os sistemas técnico económicos	3
1.1. Tecnologias e vagas de inovação	3
1.2. A sucessão dos sistemas técnico-económicos 1800–2020	4
II. Breve “visita” a quatro sistemas técnico económicos	6
2.1. A estrutura base do iº sistema técnico-económico e o papel central da energia e dos materiais	6
2.2. Linhas gerais do IIº sistema técnico-económico - as grandes transformações	7
2.3. IIº Sistema técnico - zoom sobre energia e materiais	8
2.4. Linhas gerais do IIIº sistema técnico económico - transformações nas tecnologias e nos setores motores	14
2.5. Zoom sobre iiiº sistema técnico-económico - energia e materiais	15
2.6. Linhas gerais do IVº sistema técnico económico	17
2.7. Zoom sobre ivº sistema técnico - energia e materiais	19
2.8. Heranças do IV.º sistema técnico-económico na energia	20
2.9. A emissão de gases com efeito de estufa ao longo de quatro sistemas tecnico económicos num país industrializado-o caso da Alemanha	23
2.10. Transição de sistemas técnico económicos – o fim da guerra fria e os seus impactos tecnológicos	24
Traços gerais do Vº sistema técnico económico	36
2.12. Vº Sistema técnico económico - zoom sobre energia e materiais	39
2.13. A mitigação das alterações climáticas e a exigência de uma mudança de paradigma energético	48

INTRODUÇÃO - AS VAGAS DE INOVAÇÃO E OS SISTEMAS TÉCNICO ECONÓMICOS

1.1. Tecnologias e vagas de inovação

A abordagem que foi utilizada para descrever e compreender evolução das tecnologias ao longo do tempo parte da identificação de **vagas de inovação** que realizam mudanças tecnológicas substanciais num conjunto de funções na economia e na sociedade, mudanças tecnológicas que se relacionam e se suportam mutuamente. **As vagas de inovação são realidades empíricas.**

E assenta na identificação de uma dinâmica de sucessão de Vagas em que a cada Vaga sucede a uma outra que inicia a sua formação e estruturação num período ainda dominado pela Vaga anterior. E quando passa a ser a Vaga dominante contribui para a renovação de atividades que foram motoras na vaga anterior, mas que agora passam a existir já com base em tecnologias típicas da Vaga Nova. Esta dinâmica caracteriza um processo evolucionário longo de produção de variedade e posterior seleção

Os Sistemas Técnico Económicos são conceitos que procuram definir a coerência das transformações que as vagas produzem. Para tal considerámos que em cada Vaga se destacam as seguintes componentes estruturantes:

- As tecnologias com impacto na formatação funcional do espaço - redes de transportes e redes de comunicações e de difusão de informação - e o modo como são fabricados os produtos chave com que essas funções são preenchidas na Vaga em estudo;
- As tecnologias com impacto na base energética - energias primárias e tecnologias de transformação energética - que suportam a atividade económica
- As tecnologias que permitem aumentar a produtividade do trabalho aplicado em setores dos recursos naturais, da indústria e dos serviços;
- As tecnologias que têm maior impacto na reprodução humana, quer porque garantem uma oferta maior de alimentos a custos acessíveis por camadas mais vastas da população, quer porque permitem reduzir o impacto de doenças e epidemias que caracterizam a sociedade no início de cada Vaga ou ainda porque permitem controlar a natalidade em períodos ulteriores.
- As tecnologias que permitem alterar a Condução da guerra – combinando as soluções de mobilidade, poder de destruição, obtenção de informação, bem como o comando, controlo e comunicação

Os sistemas Técnico-económicos que se sucedem não realizam mudanças de profundidade homogénea em todas estas Componentes. Pelo contrário, distinguem-se pela diferença das componentes que nelas realizam transformações mais profundas.

A análise que se segue procura também ilustrar a hipótese de que, cada intervalo de tempo não é caracterizado apenas por um único sistema que teria sido capaz de mudar em profundidade as soluções dominantes em cada uma das principais áreas funcionais nesse intervalo de tempo, mas sim pela sobreposição de soluções de

diferentes sistemas que se foram implantando em momentos diferentes, cada um deles abrangendo privilegiadamente apenas um certo número de áreas funcionais.

Na análise que se vai seguir, procura-se ilustrar a ideia de que o progresso tecnológico se estrutura numa sucessão de conjuntos articulados de tecnologias, cobrindo várias áreas funcionais e realizando um conjunto de transformações no aparelho produtivo e na organização social. Cada um desses conjuntos que designámos por “Sistemas Técnico-Económicos”:

- Engloba uma série de articulações técnicas entre inovações tecnológicas que se podem traduzir por viabilizações mútuas, fertilizações cruzadas, ou exploração paralela da mesma base de avanços científicos;
- Assenta no desenvolvimento de um conjunto de sectores de atividade que corporizam a introdução de inovações tecnológicas radicais em várias áreas funcionais; bem como um conjunto específico de infraestruturas e indústrias de rede” que as suportam
- Desenvolve um segundo tipo de articulações sob a forma de grandes transformações que se realizam nas estruturas económicas, no funcionamento das economias e nos modelos de negócio predominantes bem como na organização das sociedades, nomeadamente nas atividades diretamente associadas á reprodução humana, pela ação conjunta de vários desses novos sectores ou inovações tecnológicas.
- Caracteriza-se sempre por novos modos de conduzir a guerra e de intervir no combate ás doenças - duas componentes sem aparente ligação técnica, mas que apresentam a mais densa relação das tecnologias com a destruição e a morte- - produzindo-a ou afastando-a, mesmo que só temporariamente.

1.2. A sucessão dos sistemas técnico-económicos 1800-2020

Considerámos **QUATRO fases** na dinâmica de formação e sucessão dos cinco sistemas técnico-económicos que identificámos:

- a) Cada Sistema Técnico Económico começa por se formar no interior do sistema anterior, através da emergência de tecnologias bem distintas das que tinham estruturado e pelo início do seu cruzamento, sem serem ainda estruturantes das economias, das sociedades e da “arte da guerra”.
- b) Num período de transição, o sistema anterior deixa de gerar inovações de rutura nas áreas tecnológicas que o estruturaram e nos seus setores motores - ou seja, nos setores que registaram forte crescimento durante a fase de consolidação do sistema e do seu papel de reorganizador das economias, do funcionamento das sociedades e da “arte da guerra” e permitiram, igualmente, o crescimento de setores complementares.
- c) No período seguinte as novas áreas tecnológicas emergentes desenvolvem múltiplas sinergias entre si e tornam-se dominantes na reorganização sob muitos aspetos do funcionamento das economias e das sociedades, definindo igualmente a maneira de “fazer a guerra” durante décadas. Durante esta fase assiste-se igualmente ao investimento por parte das tecnologias do novo Sistema na transformação de produtos e sistemas que se implantaram no sistema anterior e que passam a funcionar num novo modo.

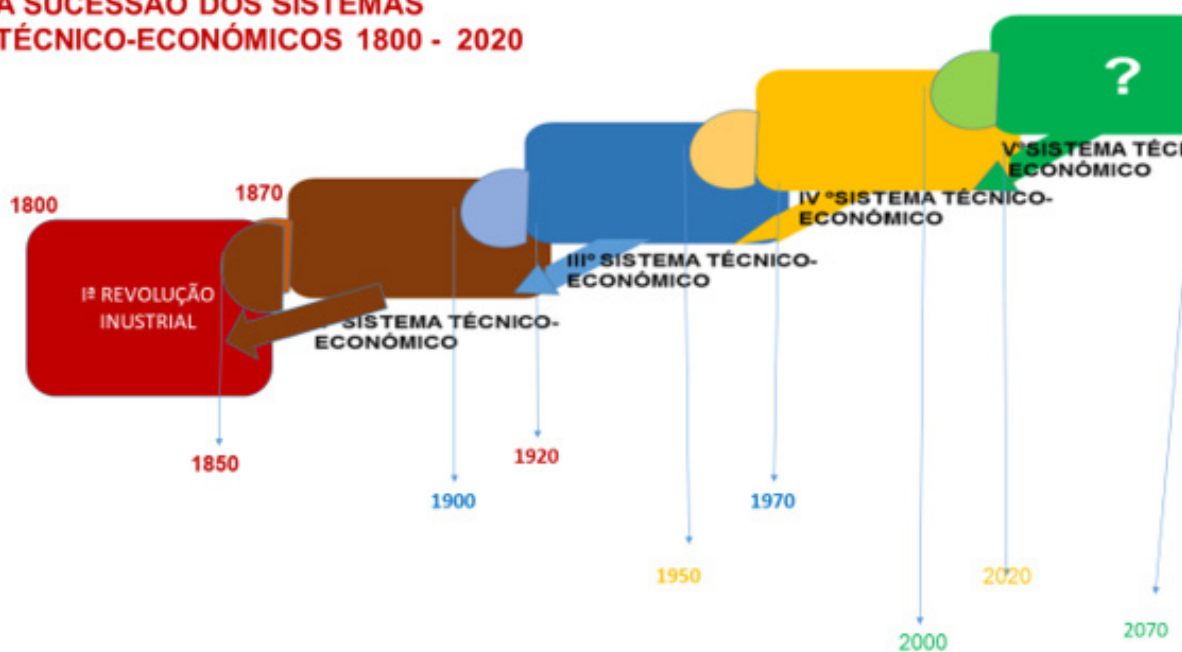
d) A partir de certo momento o sistema técnico económico entra numa fase em que deixa de gerar no seu interior inovações radicais, nos produtos ou nos processos, com base nas tecnologias que o caracterizaram. Frequentemente vão ser as tecnologias do sistema seguinte que irão contribuir para a inovação incremental.

A data com que tentamos balizar o “fim” de cada sistema diz respeito à entrada nesta fase. Não significa que os objetos que caracterizaram o sistema deixem de existir - podem continuar a estar presentes no funcionamento das economias e das sociedades durante longos períodos, após a entrada nesta fase de muito reduzida inovação, até serem substituídos por outros.

Figura 1

5 Sistemas Técnico-Económicos Considerados no período 1800–2020

A SUCESSÃO DOS SISTEMAS TÉCNICO-ECONÓMICOS 1800 - 2020



BREVE “VISITA” A QUATRO SISTEMAS TÉCNICO ECONÓMICOS

2.1. A estrutura base do 1º sistema técnico-económico e o papel central da energia e dos materiais

O 1º Sistema Técnico-Económico correspondente ao período da 1ª Revolução Industrial assentou num conjunto de componentes-chave e nas respetivas inter relações, de que se destacam

- A base energética deste Sistema - ou seja, a energia primária que o diferencia - foi o **carvão**, continuando a existir lado a lado com energia primária de sistemas anteriores - a madeira usada como combustível ou a água dos rios utilizada como fluxo motor de equipamentos industriais.
- O novo material estrutural principal foi o **ferro**, com a gusa obtida agora com recurso ao coque - derivado do carvão - e com ferro sob diversas formas - laminado, “puddlé”, - surgindo como tecnologia emergente a produção do aço mas ainda com custos elevados. O ferro, por sua vez, foi o material fundamental para a construção das máquinas a vapor, de máquinas para aplicações setoriais - desde as máquinas ferramentas para trabalhar os metais, até às máquinas têxteis -, bem como para os carris dos primeiros caminhos-de-ferro ou para novas obras públicas - pontes, torres e monumentos.
- A máquina motriz principal foi a **máquina a vapor** que ocupou um lugar central no diagrama, funcionando com carvão como combustível. Foi, por um lado, utilizada inicialmente para tornar possível a exploração das minas de carvão à profundidade a que foi necessário recorrer na sua extração; por outro lado, como geradora de movimento rotativo, foi utilizada em novas soluções de transporte - os navios, mesmo que muitos deles ainda com cascos de madeira, enquanto outros já com casco de ferro, e os primeiros comboios utilizados no transporte de passageiros e mercadorias entre cidades - passando a competir - e a substituir - os canais que haviam sido fundamentais no sistema anterior dos países e foi utilizada ela própria no processo de fabrico do novo material estrutural deste **sistema - o ferro**.
- A importância dos **fornos** como equipamentos de transformação energética fundamental na produção dos materiais e na obtenção dos objetos com eles contruídos e sob a forma desejada - ou próxima dela (ex: papel das fundições).
- O setor industrial de maior crescimento neste sistema - o **têxtil** - que contou com um conjunto de invenções nos processos de fabrico/máquinas, e com a máquina a vapor como fornecedora central de trabalho - acionando as máquinas setoriais através de transmissores de cabos e roldanas; o segmento do têxtil co, nomeadamente dos EUA; o têxtil laneiro foi também industrializado, com a crescente utilização de lã vinda da Austrália.
- Multiplicaram-se as **máquinas** para aplicações outras aplicações setoriais - máquinas para agricultura - e constituiu-se um setor de fabrico de máquinas e ferramentas para o próprio fabrico das outras máquinas setoriais, das máquinas motrizes, das máquinas para o fabrico de materiais obtidos com fornos de alta temperatura e das locomotivas e do material circulante do caminho-de-ferro, todos com base metálica

2.2. Linhas gerais do IIº sistema técnico-económico - as grandes transformações

Referir-se-ão como especialmente relevantes as seguintes:

- a) Uma base energética centrada no carvão e na energia hidráulica e uma profunda transformação na utilização da madeira que perde funções de combustível e se reorienta para aplicações estruturais e de mobiliário, de material base para a produção de papel e de obtenção de derivados da celulose para aplicações várias.
- b) A introdução de dois materiais fundamentais - o Aço como material estrutural e o Cobre refinado como material funcional ligado à introdução da eletricidade. Levando à organização da produção centralizada e de massa de bens intermédios estandardizados e homogéneos, em grandes conjuntos siderúrgicos, metalúrgicos e químicos, explorando sistematicamente a utilização de subprodutos e a aglomeração de atividades complementares. Estes conjuntos centraram-se na utilização racional e integrada da energia e na diversificação de produtos intermédios a partir de um número limitado de matérias-primas e de uma única base de energia primária.
- c) A criação de uma nova hierarquia de equipamentos e máquinas, tendo no topo os grandes equipamentos de produção dos novos materiais (ex: fornos, laminadores), as máquinas para produção de eletricidade e sua distribuição, seguindo-se as máquinas ferramentas para trabalho de metais, as máquinas para construção e mineração, as máquinas para a produção em série de bens de consumo e os equipamentos de uso genérico (bombas, compressores etc) utilizados nas primeiras indústrias de processo-químicas e agroalimentares.
- d) Criação de um sistema mundial de transportes, baseado nos meios de transporte da 1ª Revolução Industrial - caminho-de-ferro e navio a vapor - mas agora embaratecidos pelas possibilidades abertas pela revolução no sistema de bens de capital (aço, máquinas, soldadura. etc.). Este sistema vai desenvolver-se em dois grandes eixos:
 - Um eixo Leste-Oeste, materializado nos grandes caminhos-de-ferro transamericano (EUA) e transiberiano (Rússia), ou seja, das grandes potências continentais com acesso aos 2 grandes oceanos - Atlântico e Pacífico
 - Um eixo Norte-Sul, composto pelo transporte marítimo, pelo sistema portuário de acesso aos continentes sul-americano, africano e asiático, e pelos caminhos-de-ferro que, partindo destes portos, se dirigiam às minas e plantações. Este eixo foi construído sob hegemonia de uma potência marítima, a GB.
- e) Um duplo avanço nas soluções de comunicação à distância por via eletromagnética - por um lado, a criação de redes intercontinentais de comunicação telegráfica, constituindo mais uma infraestrutura da Globalização e o surgimento do telefone e a realização das redes telefónicas em espaços urbanos/regionais, beneficiando do desenvolvimento de inovações já experimentadas com as redes telegráficas, quer na transmissão, quer mesmo na comutação.
- f) Mudança substancial na oferta de alimentos por via extensiva, associada a três componentes chave deste Sistema:
 - A entrada em produção alimentar de novos territórios, viabilizada pelos caminhos-de-ferro continentais e pelos transportes marítimos e pelos avanços nas tecnologias da logística portuária e de armazenamento (silos);

- A introdução das máquinas agrícolas para as culturas extensivas, incluindo equipamentos com meios de acionamento próprio (inicialmente máquinas a vapor);
- A utilização do frio industrial obtido por via química, tornando possível o transporte de produtos perecíveis a grandes distâncias.

g) Ganhos no combate a doenças infecciosas por generalização de melhores condições de higiene - acesso a água potável, saneamento básico, difusão da utilização do sabão etc. - e pela difusão de vacinas.

h) Uma mudança substancial no modo de viver urbano, acompanhando o crescimento exponencial de muitas cidades. As inovações urbanas que caracterizam este Sistema foram:

- As redes ambientais - água e saneamento;
- As redes de gás para uso como combustível doméstico;
- A iluminação pública a eletricidade; O transporte urbano de modo ferroviário, movido a eletricidade - incluindo os *tramways*, os *trolleys* e os *metro/subway*;
- O início do sistema urbano de comunicação por via telefónica.

2.3. IIº Sistema técnico - zoom sobre energia e materiais

2.3.1. Energia - energias primárias, transformações energéticas e distribuição de energia

Carvão e gases combustíveis

Neste Sistema assiste-se à generalização do carvão como fonte de energia primária, no contexto de uma evolução tecnológica que permitiu uma maior eficácia e diversificação no seu uso: avanços nas tecnologias da combustão e da recuperação de calor (princípio regenerativo) associadas a um conjunto de inovações nos fornos (fornos mecânicos, fornos rotativos, etc.) e à introdução dos permutadores de calor.

Este tipo de equipamento permitiu renovar os processos de aquecimento contínuo a altas temperaturas, com economia de combustível; introdução dos gasogéneos, tornando possível obter com base no carvão gases combustíveis - gás pobre e gás de água - criando assim a base para a utilização de novas máquinas motrizes - os **motores de combustão interna funcionando a gás**.

A disponibilidade destes gases forneceu também matérias-primas para a indústria química; avanços no domínio da destilação do carvão, permitindo obter produtos intermédios para uma grande variedade de fabricos da química orgânica (carboquímica).

A distribuição da energia primária (carvão) vai ser assegurada, neste Sistema, basicamente pela rede de transportes ferroviários. A nível urbano, surgem redes de abastecimento de gás combustível para uso doméstico.

Com referiremos adiante no período de vigência deste Sistema difundiu-se uma das primeiras utilizações do petróleo - como Kerosene - para fins de iluminação

Energia hidráulica

Neste Sistema renovou-se o papel da energia hidráulica, devido ao avanço na tecnologia das turbinas, com o desenvolvimento nos EUA das turbinas Francis e Pelton, que vão ser aplicadas não só à produção direta de energia mecânica para as indústrias extrativas e transformadoras, como servirão de base à produção de Hidroeletricidade

Transformação e transporte de energia – a Eletricidade

Neste Sistema teve a sua primeira fase de difusão uma forma inovadora de transformação e distribuição energética - a eletricidade - pela qual dínamos ou alternadores convertiam a energia das quedas de água ou do vapor em corrente elétrica contínua ou alterna, suscetível de ser usada para a iluminação, aquecimento, comunicação à distância e produção de movimento (através dos motores elétricos). Esta nova forma de conversão energética apresentou quatro características-chave, do ponto de vista económico, que foram gradualmente exploradas:

- **Transmissibilidade** - possibilidade de transportar eletricidade pelo espaço, sem perdas substanciais, libertando as máquinas de uma localização obrigatória próxima das fontes de energia primária;
- **Flexibilidade no uso** - facilidade de conversão em cada local nas mais diversas formas de energia (calor, aquecimento, força motriz, etc.);
- A Grande eficácia **de conversão** - quer pelos desperdícios que permite evitar quando utilizada para a produção de força motriz, quer pela possibilidade de aumentar progressivamente o rendimento da própria produção de eletricidade pelo aperfeiçoamento dos geradores;
- **Ampliação das fontes de energia primária** mobilizáveis para transformação energética com a possibilidade de aproveitar uma fonte de energia primária abundante em muitos países - a energia das quedas de água naturais ou criadas artificialmente (com recurso a barragens, por exemplo).

A possibilidade de dispor de hidroeletricidade revolucionou a geoeconomia ao libertar países ou regiões da dependência do carvão, abrindo-lhes novas vias de industrialização (caso da Suíça, dos países escandinavos, da Itália e de regiões de França, etc.).

Da Iluminação Elétrica à Eletricidade em Corrente Contínua

A Iluminação elétrica surgiu na segunda metade do século XIX sob duas formas distintas: uma solução por arco elétrico orientada para a iluminação de espaços públicos, ao ar livre ou em grandes equipamentos e uma solução por lâmpadas de incandescência, para a invenção das quais fora decisivo o contributo de Thomas A. Edison - orientada para aplicações domésticas e em espaços fechados comerciais, de escritórios, em salas de espetáculo etc. - e seria uma das primeiras aplicações em larga escala da eletricidade.

Neste IIº Sistema Técnico-Económico consideramos que **domina a eletricidade em corrente contínua, começando pelo seu fornecimento à iluminação pública**. Os geradores de corrente contínua - os dínamos - surgiram como invenções patenteadas na segunda metade do século XIX, graças aos avanços realizados por Z. Gramme nos anos 70, partindo de um conceito por ele desenvolvido décadas atrás. As suas primeiras máquinas foram utilizadas numa atividade industrial - a galvanização - e na iluminação pública. Em 1873 foi também por ele experimentada a utilização inversa de um dínamo agora como motor acionado pela eletricidade produzida por um dos seus conjuntos de **máquina a vapor + dínamo**. Mas as limitações de eficiência destas primeiras

máquinas levaram outros inventores nos EUA e na Alemanha a introduzir melhorias (por exemplo, com a utilização de armaduras nos geradores, com menor resistência)

Na década de 80 do século XIX a difusão da iluminação pública levou ao desenvolvimento de geradores especificamente dirigidos a esta aplicação, que passaram a funcionar com um regulador que assegurava um contínuo de corrente, independentemente das lâmpadas ou dos arcos elétricos estarem acesos ou apagados. E seria na mesma década que surgiriam os geradores de corrente contínua já com dimensão e potência para utilização na tração elétrica – nos *tramways* urbanos e nos caminhos-de-ferro.

Entretanto, em 1860 tinham surgido as primeiras baterias para a armazenagem de eletricidade utilizando placas de chumbo emersas em diluições de ácido sulfúrico. Estes tipos de baterias, já com maior dimensão, iriam passar a ser utilizadas nas centrais elétricas em combinação com os geradores de corrente contínua, com o objetivo de responder às diferenças substanciais no nível da procura de eletricidade ao longo das horas do dia, permitindo que os geradores mantivessem um ritmo de produção estável, independentemente dessas flutuações. Anos depois Edison contribuiria com outro tipo de baterias de armazenagem - as baterias a cloreto

O predomínio neste Sistema Técnico-Económico da eletricidade em corrente contínua colocou limites na capacidade de transformação das sociedades e das economias pela eletricidade:

- Por um lado, porque a transmissão a grande distância só pode vir a ser feita técnica e economicamente pela generalização da corrente alterna, base dos sistemas elétricos nacionais a desenvolver nos anos 20 e 30 do Século XX e a partir da produção centralizada em grandes centrais incorporando grandes melhorias de eficácia de conversão energética;
- Por outro lado, porque só os motores usando corrente alterna vão apresentar características - em termos de simplicidade e custo de construção - que permitirão generalizar o seu uso, acoplados às máquinas industriais ou aos eletrodomésticos

Neste Sistema, a utilização da eletricidade foi pois restrita - não constituindo ainda uma infraestrutura abarcando e permitindo a renovação de todos os outros setores. As suas utilizações privilegiadas foram:

- Nos processos de produção de matérias-primas -industriais, utilizadas quer do sistema de bens de capital (caso das electro metalurgias), quer no fabrico de bens de consumo corrente (caso da eletroquímica);
- Na movimentação de materiais - quer nos portos e minas, quer nas fábricas (gruas, pontes rolantes, etc.);
- Na tração elétrica - com o aparecimento de formas novas de transporte urbano (os *tramways*, *trolleys* e *subways* ou metros) e com a renovação de transporte ferroviário peri e inter urbano;
- Na iluminação pública, que constituirá a procura de massa que permitirá o arranque da produção industrial centralizada de eletricidade (função na qual vai substituir a prazo o querosene).

Neste Sistema: Técnico - Económico:

- A **produção de eletricidade** foi realizada em centros produtores baseados na hidroeletricidade, utilizando como máquinas motrizes as turbinas hidráulicas ou em torno de polos industriais em que houvesse disponibilidades de energia sob a forma de carvão ou gases derivados, para acionamento de máquinas a vapor ou de motores a gás;
- A utilização **da eletricidade** vai ser feita através de redes locais e regionais para alimentação de sistemas urbanos de iluminação ou de tração elétrica, baseadas com frequência em grupos eletrogéneos próprios.

Transporte urbano elétrico

Com a tração elétrica - alimentada a corrente contínua - surgiram três novos sistemas de transporte urbano de pessoas (*tramways*, *trolleys* e *metros/subways*) que se vão generalizar rapidamente e transformar a circulação nas grandes cidades/metrópoles

Comunicações

A transmissão telegráfica intercontinental, por cabo submarino

Tendo começado por ter difusão nas cidades e depois a nível nacional, seria já na década de 60 do Século XIX que se assistiria à criação de redes intercontinentais de telegrafia que passaram a constituir uma das infraestruturas base da Globalização que ocorreu apoiada no 2º Sistema Técnico-Económico. Londres seria o Hub destas comunicações que ligavam o Reino Unido aos EUA, por um lado, e à África do Sul, à Índia e resto da Ásia - Hong Kong e Singapura, por exemplo - por outro.

Os cabos submarinos, atravessando oceanos, exigiram, por sua vez, inovações, não só em termos das soluções para a sua deposição no fundo do mar, como à sua resistência e isolamento e à própria tecnologia de transmissão do sinal a tão grandes distâncias. Todos estes avanços - nos cabos e na tecnologia de transmissão - ocorreriam já no período do desenvolvimento do 2º Sistema Técnico-Económico, em que foram úteis para a difusão de outro sistema de comunicação eletromagnético - a comunicação telefónica - que essa sim revolucionaria as comunicações pessoais em todo o mundo.

2.3.2. Materiais

Aço e outros materiais metálicos

O aço vai ser fundamental neste Sistema para responder às necessidades das infraestruturas e sistemas de transporte - construção de caminhos-de-ferro, locomotivas, material circulante; e navios com casco e estruturas em metal, para fornecimento das grandes estruturas das indústrias químicas, ou para responder às necessidades militares - desde as blindagens de navios à artilharia pesada operando com explosivos muito mais poderosos.

O aço vai ser fundamental neste Sistema para responder às necessidades das infraestruturas e sistemas de transporte - construção de caminhos-de-ferro, locomotivas, material circulante; e navios com casco e estruturas em metal, para fornecimento das grandes estruturas das indústrias químicas, ou para responder às necessidades militares - desde as blindagens de navios à artilharia pesada operando com explosivos muito mais poderosos.

Neste Sistema Técnico Económico foram desenvolvidos três processos de conversão direta da gusa obtida no Alto-forno em aço - Bessemer, Thomas e Siemens – Martin - que permitiram alcançar a **produção em massa** do aço, com grande economia de combustível, sem depender de minérios de alto teor e pureza e garantindo uma produção de massa de aço homogêneo de alta qualidade, vindo a permitir a recuperação da sucata de ferro (que a generalização do próprio aço gerará), em nova produção do Aço:

Processo Bessemer - este processo inventado pelo metalurgista britânico Henry Bessemer em 1856 baseava-se na introdução de um conversor côncavo no qual a gusa recebida do alto-forno era reaquescida enquanto era soprado oxigénio sobre a massa fundida. O oxigénio, ao passar pela gusa em fusão, reagia com o carbono, libertando gases - CO₂ - e produzindo um aço mais puro. No entanto, este processo rápido não garantia que não fosse extraído carbono a mais ou mantido oxigénio a mais no produto final comprometendo as características funcionais pretendidas. Ora, no mesmo período em que Bessemer desenvolvia o seu conversor, um outro metalurgista britânico Robert Mushet experimentava fabricar aço com um composto de ferro e carvão ao qual era acrescentado manganês (composto designado por *spiegeleisen*), sabido que era que o magnésio tendia a remover o oxigénio, e podendo modular-se as quantidades de carbono nesse composto por forma a obter a qualidade do aço pretendida. A combinação Bessemer e Mushet passou a ser utilizada, mas ficaria ainda por resolver um outro problema - como retirar as impurezas de fósforo que tornavam o aço mais quebradiço. O que limitava a utilização do processo Bessemer à utilização de minérios de ferro sem fósforo, como o era o minério da Suécia ou Gales na Europa ou do norte de Michigan nos EUA.

- **Processo Thomas** - em 1876 Sidney Thomas trouxe a solução para este problema que ainda permanecia com o conversor Bessemer. Essa solução consistiu em acrescentar um composto básico - nesse caso calcário - que permitia captar o fósforo e retirá-lo para as escórias.

- **Processo Siemens Martin** - este processo era bem distinto da solução do conversor Bessemer; partia da existência de uma fornalha aberta (funcionando no princípio com gás derivado do carvão e posteriormente com gás natural) na qual era vazado o ferro gusa vindo do alto-forno que era sobreaquecido – podendo ser misturado com sucata de aço ou minério até que a componente de carbono fosse reduzida por diluição ou oxidação (eram exatamente as altas temperaturas que permitiam queimar o excesso de carbono eventualmente existente), bem como impurezas; esse sobreaquecimento era realizado em câmaras revestidas a cerâmica refratária situadas em baixo da fornalha, tendo posteriormente sido adaptada uma solução de regeneração de calor utilizando os gases quentes de exaustão da fornalha para aquecer as referidas câmaras. Este processo que permitia produzir aço em muito maiores quantidades era mais lento, o que permitia que - pela sua maior demora - fosse sucessivamente analisada a composição química da massa em fusão para poder alterar a sua composição se necessário, antes de o aço solidificar.

O processo Siemens Martin foi-se tornando o processo dominante de produção de massa de aço desde 1900 até aos anos 60 do século XX, em que foi substituído por um **novo processo LD e a oxigénio**. Refira-se que inovações foram igualmente introduzidas nas fases subsequentes à acesaria: na laminagem de varões, perfis e de chapas, a quente e a frio.

O aço passou a dispor de características-chave - resistência, elasticidade, plasticidade, etc. - que o tornaram universalmente procurado, combinando em si vantagens que anteriormente apareciam separadamente em outros produtos ferrosos. A sua resistência, em proporção ao peso e volume, tornou por exemplo possível o desenvolvimento de máquinas mais leves, rígidas e precisas que as existentes

Desenvolveram-se também neste Sistema:

- Processos completamente novos, quer de extração quer de refinação de metais não ferrosos, processos baseados na utilização da eletricidade (ex.: eletrólise e fornos elétricos) que permitiram produzir em massa e embaratecer materiais chave para o desenvolvimento do sistema de bens de capital - como aconteceu com o cobre;
- Processos novos de obtenção de ferro - ligas e aços especiais, também muito apoiados na utilização de fornos elétricos. Sem esses aços especiais necessários, por exemplo, para tratar mecanicamente o próprio aço, seria difícil pensar a grande alteração no sistema de bens de capital. Para além de ser impensável o desenvolvimento das novas armas deste Sistema

Por seu turno, as grandes economias de escala na produção de aço exigiram, um nível de mecanização que estimulou, quer o uso da eletricidade na movimentação nas fábricas, quer a procura de novas máquinas motrizes usando os gases libertados dos fornos e coquerias.

Por sua vez o arranque da produção de cimento Portland criou as condições para o fabrico de um material compósito - o cimento armado - que haveria de se transformar numa material chave da edificação no sistema técnico seguinte.

Química e Materiais

Neste Sistema Técnico Económico criou-se a infraestrutura básica da química industrial moderna, assente em três vetores de desenvolvimento:

- Um **vetor central** constituído por uma série de novas tecnologias de produção em massa e em condições de homogeneidade dos produtos intermédios da **Química Mineral e do Azoto** - ácido sulfúrico, ácido nítrico, produtos sódicos e clorados - e pela introdução das técnicas de liquefação dos gases permanentes. Estes avanços culminaram na síntese de amoníaco realizada industrialmente durante a 1ª Guerra Mundial. A eletricidade, por via das eletrólises e dos fornos elétricos, constituiu um apoio para a obtenção de vários produtos incluídos neste vetor. Várias aplicações decorrerão deste vetor como a maior disponibilidade de adubos fosfatados, a generalização do sulfato de cobre como protetor de culturas, a introdução do frio industrial, revolucionando a logística da cadeia alimentar, a disponibilidade de novos agentes de branqueamento e tratamento para as indústrias têxtil e da pasta de papel, etc.
- Um **vetor complementar** caracterizado por um conjunto de produtos e processos que abrem caminho à transformação da celulose (madeira e fibras vegetais) em produtos de alto valor acrescentado, fornecendo assim a esta antiga fonte de energia primária (sob a forma de lenha) novas aplicações industriais. A **Química da Celulose**, não só inclui novas tecnologias de produção de pasta de papel como vai estar na base de novas famílias de explosivos (nitrocelulose) e na fase final de desenvolvimento deste complexo à introdução de fibras artificiais (viscose e rayon, por exemplo), de novos materiais para embalagem (celofane) e novos materiais para tratamento químico da imagem (celulóide). Iniciando-se neste complexo **a revolução da fotografia, ou seja, do armazenamento da imagem por via química.**
- A estes dois vetores constitutivos deste Sistema, veio acrescentar-se como **vetor emergente** o lançamento da Química Orgânica moderna, com base nos derivados da destilação de carvão (carboquímica) e nos produtos obtidos por via electro química (carbonetos). A realização paradigmática da química orgânica neste complexo serão os corantes sintéticos. A importância desta inovação está em que estabeleceu um

princípio que vai informar todo o Sistema Técnico Económico - que se seguirá - ou seja, o princípio de que os derivados e subprodutos da transformação dos hidrocarbonetos irão ser, através da química, utilizados para realizar “Economia de Terra”, ao substituir produtos vegetais por produtos sintéticos

Refira-se que a importância que tiveram os corantes sintéticos é ainda maior se se tiver em conta que a descoberta ocasional do efeito terapêutico que certas substâncias químicas, usadas como corantes, tinham na interrupção da reprodução bacteriana esteve na base da química farmacêutica moderna (ex.: a síntese do SALVARISAN para combate à sífilis). Por sua vez, esta química orgânica vai estar também na base de outras famílias de explosivos (ex.: TNT) e das primeiras tentativas de obter materiais plásticos artificiais.

Os três vetores da Química desenvolvidos neste Sistema vão estar fortemente interrelacionadas, pela via das relações inter industriais, cabendo um lugar central à Química Mineral e ao Azoto.

2.4. Linhas gerais do IIIº sistema técnico económico - transformações nas tecnologias e nos setores motores

Vão referir-se como especialmente relevantes as seguintes:

- a) Uma mudança fundamental na Energia, com a introdução de uma nova base de energia primária - o **petróleo** - a criação de uma rede logística mundial para o seu abastecimento e transformação e a criação de redes nacionais de **produção e distribuição de energia elétrica com corrente alterna**.
- b) Um **papel central para a Petroquímica** que, permitindo a valorização de subprodutos da refinação do petróleo, contribuiu decisivamente para a “economia de terra”, quer diretamente, por via do aumento da produção agrícola, quer indiretamente, pela substituição de produtos vegetais por produtos sintéticos, libertando mais terra para os cultivos alimentares
- c) Uma revolução nos Transportes Terrestres, com a **generalização do transporte rodoviário de passageiros e mercadorias** utilizando o motor de combustão interna como solução de propulsão funcionando com base em derivados do petróleo acompanhado por infraestruturas dedicadas para cuja construção se desenvolveu um setor de máquinas e equipamentos também funcionando a petróleo; tendo-se igualmente assistido a uma renovação paralela da base técnica do transporte ferroviário (“dieselização”).
- d) Um **processo de urbanização extensivo** - ao contrário do que havia marcado o Sistema anterior (compactação e urbanização em altura) - que vai estar estreitamente associado à posse pelas famílias do automóvel como meio de transporte próprio e da aquisição de habitação unifamiliar a crédito
- e) Uma **profunda mudança na agricultura apoiada em três vertentes centrais deste sistema - motorização, mecanização e generalização do uso da química** -, acompanhada pela introdução de novas variedades aperfeiçoadas pela genética convencional (híbridos) e pelas grandes infraestruturas de irrigação. Esta revolução, ao contrário do Sistema anterior que foi caracterizado por um aumento de produção agroalimentar **extensiva**, trouxe às economias desenvolvidas uma ampliação intensiva da produção agrícola e agroalimentar, bem com a industrialização maciça da produção agroalimentar.

- f) Uma **revolução terapêutica centrada na irradicação de doenças infecciosas**, tal como no IIº Sistema, mas com recurso nomeadamente aos antibióticos, com emergência da indústria farmacêutica como um dos setores de maior crescimento e inovação.
- g) A **mecanização generalizada da indústria** - por via da introdução do motor elétrico, dos dispositivos electro mecânicos e pneumáticos de controlo e regulação, da adoção de **cadeias de montagem rolantes** - para o fabrico em massa de produtos e da difusão de soluções de automatização rígida
- h) A **introdução da eletrónica, como família de tecnologia que irá modificar por completo o processamento de informação**, e que neste Sistema ficará limitada a aplicações sem impacto direto nos processos de trabalho, quer nos escritórios quer na indústria. Referimo-nos à sua aplicação nas comunicações telefónicas e na difusão pela radio e pela TV.
- i) Uma **mudança na área da defesa** com a introdução de um conjunto de inovações, muitas delas assentes em **novas plataformas de combate** - aviões, tanques, submarinos, porta-aviões - e **novos meios para a logística militar**, funcionando todos eles com o motor de combustão interna, utilizando derivados do petróleo

2.5. Zoom sobre IIIº sistema técnico-económico - energia e materiais

2.5.1. O petróleo e os seus derivados

Com este Sistema dá-se uma mudança na base energética, das economias industrializadas, com a generalização do petróleo como fonte de energia primária, utilizado nos transportes, na produção de eletricidade e na queima para fins industriais e domésticos. Os avanços atrás referidos nas tecnologias de destilação fracionada e de refinação do petróleo tornaram possível obter um conjunto diverso de derivados suscetíveis de utilizações específicas como combustíveis, lubrificantes e matérias-primas para a Química.

A procura dos combustíveis mais adequados à utilização nos motores de combustão interna alternativos usados pelo automóvel, e nas fases iniciais da aviação, constituiu um fator chave da evolução tecnológica na refinação de petróleos. Por sua vez, a disponibilidade de derivados pesados do petróleo, como o "fuel", facilitou a penetração do petróleo como combustível de queima nas centrais termo elétricas, em vez do carvão, nos processos intensivos em energia do sector siderúrgico e dos minerais não metálicos, e ainda na "dieselização" do transporte ferroviário.

As redes nacionais de energia elétrica

Neste Sistema assiste-se à criação de redes elétricas integradas à escala nacional, com produção centralizada de eletricidade em centrais de grande dimensão - hídricas e térmicas - e o transporte e a distribuição em **corrente alterna**. Esta evolução tornou possível separar geograficamente a produção e a utilização de energia elétrica, permitindo explorar efeitos de escala na produção, assegurando o transporte a grande distância e generalizando o uso doméstico e industrial da eletricidade e dos equipamentos que a utilizavam.

2.5.2. Materiais

Este Sistema vai ter uma **tripla característica** quanto aos materiais, traduzindo uma forma particular de divisão de funções entre a Metalurgia e a Química:

- A viabilidade do Sistema vai ser assegurada, no que respeita aos materiais estruturais, pelo aço, herda- do de Sistema Técnico Económico anterior, mas com novas tecnologias de produção (vd. Caixa) e novos produtos;
- Em termos de materiais funcionais destacou-se o cobre - fundamental na eletrificação e nas comunica- ções telefónicas;
- Neste Sistema vai surgir uma vasta gama de materiais sintéticos, obtidos por via da Química Orgânica, mas destinados a aplicações não estruturais

Neste Sistema surgem também, pela primeira vez, tipos de **materiais funcionais** que condicionaram os proces- sos de fabrico na indústria química, como é o caso dos **catalisadores metálicos**

a) Siderurgia

A articulação da Siderurgia a este Sistema foi acompanhada por **quatro transformações principais**:

- No tipo de produtos - com o desenvolvimento mais sustentado da chapa de aço - chapa fina para os sectores do automóvel e dos electro domésticos e chapa grossa para a caldeiraria e engenharia de proces- sos químicos.
- o Na renovação tecnológica da fileira siderúrgica de tipo alto-forno/ acesaria, através da automatização e aumento de escala do alto-forno, do seu aperfeiçoamento com as técnicas de injeção de "fuel", da **intro- dução da acesaria a oxigénio** e da redução nas fases de fabrico, com o processamento em contínuo nas fases de laminagem e acabamentos que se seguem à acesaria.
- No desenvolvimento de uma nova fileira centrada na acesaria eléctrica para fabrico de aços comuns (co- meçando pelo varão de construção civil) e completada nalguns casos, por instalações de redução direta de minério de ferro, sem recurso ao Alto-forno. Noutros casos, a alimentação do forno eléctrico com sucata permitiu recuperar industrialmente aço já usado.
- No desenvolvimento extraordinário da produção de aços especiais que permitiriam, nomeadamente, revolucionar os processos de fabrico das indústrias químicas e agroalimentares

b) Materiais Sintéticos e Química Orgânica de Base

Enquanto gerador de novos materiais, este Sistema caracterizou-se por:

- Desenvolvimento das tecnologias que tornaram possível obter a partir de derivados de petróleo (e em grande escala), os grandes intermediários aromáticos (benzeno, tolueno, xileno, etc.) e colerónicos (etileno e seus derivados) que estão na base da Química Orgânica Pesada

- Desenvolvimento, com base na disponibilidade destes bens intermédios, do fabrico de um conjunto de polímeros de síntese - fibras sintéticas e materiais plásticos -, que irão substituir matérias naturais de origem agroflorestal ou mineral. Estes materiais sintéticos vão encontrar aplicações não estruturais, nomeadamente nos sectores têxtil, vestuário e calçado, embalagem, materiais para construção e utensílios para o habitat (muitas vezes em substituição das cerâmicas e do vidro).
- Introdução das fibras de vidro, com base em tecnologias semelhantes às usadas para o fabrico de fibras e filamentos sintéticos. A combinação das matérias plásticas típicas deste Sistema, com a fibra de vidro, usada como reforço, constituirá a via privilegiada para alargar as aplicações dos plásticos a funções mais estruturais.
- Generalização de produtos de limpeza - detergentes - com base em derivados petroquímicos.

2.6. Linhas gerais do IVº sistema técnico económico

No final da 2ª Grande Guerra foi feita a primeira utilização da arma nuclear e no período imediatamente a seguir gerou-se um tipo novo de rivalidade entre grandes potências - a “guerra fria” -, que se estruturou entre dois Estados que haviam sido aliados no combate e na derrota da Alemanha nazi, sendo um deles - os EUA - uma potência marítima invulnerável pelas técnicas desenvolvidas até à 2ª Grande Guerra e sendo o outro uma potência continental - a URSS -, que passou a ser capaz de atingir a potência marítima por via das novas tecnologias desenvolvidas no final dessa 2ª Guerra, ao mesmo tempo que passou a ameaçar os Estados europeus aliados dos EUA. Esta profunda transformação estratégica e tecnológica levou a uma revolução na “arte da guerra”, que teve um papel fundamental na formatação do IVº Sistema Técnico Económico. Que se organizou em torno da interação entre:

- Uma revolução tecnológica na área da defesa - assente nas armas nucleares, nos mísseis balísticos, mísseis de cruzeiro e outros mísseis e nas armas “inteligentes”, utilizando três tipos de plataformas de combate - os submarinos nucleares; os bombardeiros estratégicos, os aviões de combate tático & os helicópteros e os vários tipos de navios - incluindo os novos navios lança mísseis; destacando-se ainda o papel central dos Sistemas de Comando, Controlo, Comunicação & Informação, assentes na microeletrónica e na informática e na estreita articulação tecnológica da Defesa com a exploração do Espaço exterior - através dos satélites e dos lançadores.
- O início das atividades de exploração espacial, para fins militares e civis - fins científicos, de observação da terra e de monitorização detalhada de movimentações - envolvendo a colocação em órbita de plataformas de uso civil ou militar - os satélites - e o envio de sondas e outros veículos espaciais de investigação. Na 1ª fase, a exploração do espaço foi feita com base em lançadores não reutilizáveis, de conceção paralela aos mísseis balísticos; numa 2ª fase, com base num sistema de transporte espacial com um veículo reutilizável - a *space shuttle*.
- O desenvolvimento de um sistema mundial de transporte aéreo, como principal meio de deslocação intercontinental e continental de passageiros, com base na propulsão a jato subsónica e na introdução de um novo tipo de plataforma de uso dual - civil e militar -, o helicóptero utilizando a turbo propulsão. Este Sistema exigiu a construção de infraestruturas aeroportuárias e seus sistemas de apoio à navegação aérea e à aterragem, graças ao radar e sistemas eletrónicos complementares. Este Sistema de transporte aéreo, servido pela aviação a jato, permitiu o desenvolvimento do turismo de massas como atividade de âmbito tendencialmente global.

- O papel central das telecomunicações na infraestruturização das economias e das sociedades, começando pelo desenvolvimento - sob várias formas - da tecnologia das micro ondas, aplicadas nas comunicações a longa distância- segmento em que seguidamente se desenvolveram as tele comunicações e a teledifusão audiovisual por satélite. Numa segunda fase do IVº Sistema surgiram as tele comunicações por fibra ótica que passaram a estruturar as redes intercontinentais de comunicações de voz e de dados. Num outro segmento assistiu-se ao desenvolvimento do novo segmento das comunicações pessoais móveis através da telefonia celular.
- A emergência dos computadores como principais ferramentas de trabalho - desde o apoio à investigação, à conceção de objetos e à sua fabricação mais flexível, à profunda transformação dos múltiplos serviços exigindo intensa processamento de informação marcando início da digitalização das economias e das sociedades. Tendo começado pelos *mainframes* - computadores de grande dimensão colocados no centro de organizações - e pelas primeiras linguagens de programação, evoluiu para uma fase em que os computadores “descem” para mais perto dos utilizadores com o segmento dos minicomputadores -para fins científicos ao mesmo tempo que surgem os primeiros supercomputadores, muito ligados à Defesa e ao Espaço
- Neste IVº Sistema Técnico Económico surgem nas década de 80 e 90 do século XX os computadores pessoais - e os computadores portáteis, estes tornados possíveis pela revolução dos ecrãs planos que substituíram os tubos de raios catódicos nas televisões e nos monitores de toda aparelhagem informática - ecrãs primeiro fabricados com tecnologia dos cristais líquidos e posteriormente com a tecnologia dos plasmas. Em paralelo com o hardware da microinformática cresce a oferta de “pacotes” com várias funcionalidades. Ao mesmo tempo que se desenvolveram as redes de computadores que iriam culminar na Internet -desenvolvida pela Defesa e transferida para uso civil em meados da década de 90 e já no novo milénio surgiram os smartphones que iram permitir a ligação online personalizada e em tempo real ao nível global
- As técnicas específicas de produção da microeletrónica afirmam-se como as principais tecnologias de produção deste Sistema - já localizadas no segmento das micro engenharias
- O papel cada vez mais significativo da instrumentação - desde a aviónica à imagiologia médica e à instrumentação científica - como condição para o desenvolvimento científico e tecnológico em que assentou este Sistema

A IMPORTÂNCIA DAS INDÚSTRIAS DA DEFESA E DO ESPAÇO

Neste Sistema Técnico económico ganhou relevo particular o papel do **sector da Defesa**, Três características dão aos sistemas de armamento um papel chave na origem e na propagação do progresso tecnológico (direção e intensidade), sobretudo no sistema de bens de capital(*)

- *Trata-se de uma procura dirigida a quatro áreas chave do desenvolvimento das tecnologias- as soluções energéticas, condensadas nos explosivos, na mobilidade (sistemas de propulsão e combustíveis), os materiais, os sistemas de comando e controlo e as comunicações*
- *Trata-se de áreas que exigem recurso à investigação científica fundamental e aplicada, suscetível de frutificar em aplicações de uso civil*
- *Trata-se de uma procura de massa decidida por critérios não mercantis, mas dirigida a estruturas empresariais atuando também na esfera mercantil da economia;*

(*) vd José Félix Ribeiro Tecnologias, Geoeconomia e Estratégia a-vagas de Inovação na economia mundial 1870-2020 Documento elaborado para a Fundação Calouste Gulbenkian em 2018/2019

2.7. Zoom sobre IVº sistema técnico - energia e materiais

2.7.1. Energia - novas soluções deste sistema técnico económico

Na produção de eletricidade - as redes elétricas haviam-se tornado com o IIIº Sistema Técnico Económico numa das infraestruturas de base das economias desenvolvidas - o IVº Sistema Técnico introduziu duas inovações diretamente resultantes dos avanços verificados na área militar e de natureza completamente diferente:

- A **introdução das turbinas a gás** – que se desenvolveram em paralelo com os motores a jato na aeronáutica. Estas turbinas são máquinas motrizes rotativas funcionando por combustão interna de misturas de ar - previamente comprimido à entrada - e de combustíveis líquidos vaporizados pela alta temperatura, cuja explosão gera um fluxo e faz movimentar uma turbina, funcionando no mesmo eixo que o compressor que se encontra na entrada de ar e do gerador de eletricidade, acoplado à turbina. As turbinas a gás começaram por ocupar um nicho na produção de eletricidade, sendo vocacionadas para a resposta às pontas do diagrama de cargas das redes elétricas, explorando rapidez de arranque e paragem no seu funcionamento.
- O **controlo do ciclo do combustível nuclear** veio permitir a construção de reatores nucleares utilizando urânio enriquecido, funcionando como geradores de calor de grande dimensão, alimentando caldeiras produtoras de vapor com que eram acionadas turbinas a vapor acopladas a geradores elétricos. As centrais de eletricidade nuclear passaram a fornecer a base dos diagramas de carga nas redes elétricas nacionais - em contraste com as centrais com turbina a gás vocacionadas para o serviço das pontas desses diagramas, como referimos. Embora tenham surgido várias modalidades de reatores nucleares, acabaram por ser os reatores a água pressurizada (PWR) - a tecnologia utilizada nos reatores dos submarinos nucleares - que acabaram por se difundir em maior escala. Esta solução tecnológica teve um momento alto após o choque petrolífero de 1973, quando constituiu uma das respostas das economias desenvolvidas à quadruplicação do preço do petróleo em 1973, sob liderança da OPEP.

Em termos de fontes energéticas primárias este IVº Sistema Técnico Económico veio permitir três inovações:

- A entrada dos combustíveis nucleares como fonte primária de energia, uma vez resolvido o processo do enriquecimento do urânio quer para utilizações civis, quer para a produção dos explosivos nucleares.
- A utilização do gás natural como combustível na produção de eletricidade térmica, ampliando assim as funções que já consolidara no Sistema Técnico anterior como combustível para a produção de calor e como matéria-prima para a indústria química e petroquímica.
- O surgimento de uma nova forma de aproveitamento de energia renovável com a invenção da produção de eletricidade com base na energia solar - utilizando células fotovoltaicas fabricadas em silício - a matéria-prima de base para a eletrónica. E foi a exploração do espaço exterior a fomentar o desenvolvimento desta tecnologia, utilizada nos satélites e em outras plataformas colocadas no espaço.

Este IVº Sistema introduziu ainda o hidrogénio como uma combustível chave na propulsão espacial (em que também se distinguiu no início o querosene), obtido através de uma transformação energética realizada sobre formas de energia primária

2.7.2. Materiais

O IVº Sistema veio trazer múltiplos desenvolvimentos na área dos materiais-estruturais e, sobretudo funcionais. Destacamos:

- O surgimento do alumínio como material estrutural fundamental, começando pela sua aplicação na aeronáutica civil e militar, e difundindo-se desde a embalagem à construção civil
- O papel do titânio e de ligas metálicas utilizados na aeronáutica, no aeroespacial e na construção naval (submarinos, por exemplo) e a utilização de novos cerâmicos como material estrutural
- O surgimento de materiais compósitos para fins estruturais, com diferentes matrizes e múltiplas aplicações
- O papel do silício como material funcional base para o desenvolvimento da microeletrónica – suporte base do desenvolvimento da informática, das telecomunicações, do audiovisual, da instrumentação e da automação.
- O surgimento de materiais funcionais de novo tipo, muito utilizados na optoelectrónica, como foram os materiais em cristais líquidos

Os materiais funcionais para eletrónica e optoelectrónica exigiram avanços nas microengenharias necessárias para a sua obtenção e para o processo da sua “dopagem” com materiais específicos que alteravam o seu comportamento físico de forma desejada

2.8. Heranças do IV.º sistema técnico-económico na energia

Destacáramos 3 heranças.

- a) O IVº. Sistema técnico-económico poderia ter contribuído decisivamente para a produção de eletricidade sem emissões de CO₂, assente nas primeiras gerações de energia nuclear que o caracterizaram. Mas os riscos associados ao funcionamento dos reatores nucleares utilizados nas centrais, a forte ligação da fileira de urânio ao risco de proliferação nuclear, o volume de resíduos radioativos gerados e de difícil armazenagem segura, como também os custos elevados das centrais das três gerações que se sucederam, acabariam por convergir na travagem à implantação do nuclear nas economias mais desenvolvidas, continuando hoje, no entanto, em crescendo nas economias emergentes – vd. casos da China e da Índia.
- b) O IVº Sistema técnico-económico permitiu o desenvolvimento das aplicações do gás natural, que ganhou uma muito maior importância na produção de eletricidade, mantendo o seu papel na resposta aos picos de produção do diagrama de cargas dos sistemas elétricos de energia – onde se iniciou a sua utilização – mas passando a poder responder à base desse diagrama de cargas, com a generalização das centrais de ciclo combinado, centrais essas que permitiram um avanço na redução das emissões de CO₂ na produção de eletricidade.

Ao mesmo tempo, assistiu-se a uma revolução no transporte do gás natural, com a expansão do transporte marítimo em navios especializados –navios metaneiros – e com a construção em complexos portuários de terminais de liquefação e desliquefação do gás liquefeito que era transportado por navio.

Esta mudança de meio de transporte tornou possível um aumento de produção do gás natural em novos jazigos localizados em regiões próximas das rotas marítimas, mas inacessíveis, ou de acessibilidade menos competitiva, pelos gasodutos que até então dominavam o transporte do gás natural, abrindo, assim novas fontes de abastecimento ao Japão, à Coreia do Sul, à Europa e aos próprios EUA (grandes produtores).

Por sua vez, a evolução neste IV^o. Sistema das tecnologias de exploração de jazigos no *offshore* – a cada vez maiores profundidades – contribuiu igualmente para esse aumento da oferta de gás natural, que se manteve com uma distribuição mais macrorregional do que global – ao contrario do que acontece com o petróleo

c) O IV^o sistema técnico-económico – por via das energias renováveis- eólica e solar– veio contribuir para a redução das emissões de CO₂, na continuidade do que, aliás, já acontecera com as duas possibilidades que abriu de substituir carvão e petróleo na produção de eletricidade pelo electronuclear e pelo gás natural.

- No primeiro caso – energia eólica –, os avanços nos aerogeradores e nas respetivas pás, instalados nas centrais de produção de eletricidade eólica *onshore* (as primeiras em que esses avanços foram difundidos) beneficiaram de ensinamentos colhidos na engenharia aeronáutica e no desenvolvimento que esta exigiu em termos de novos materiais leves e resistentes
- No segundo caso – solar fotovoltaico –, beneficiou da experimentação em larga escala que a exploração do espaço exterior permitiu realizar com as células fotovoltaicas (inicialmente em silício cristalino) que alimentavam satélites artificiais e outras estruturas colocadas no Espaço; células essas que foram sendo aperfeiçoadas com o duplo objetivo de aumentar a sua eficiência de conversão energética e o seu custo

Ou seja, **Aeronáutica e Espaço** – dois setores basilares deste IV^o. sistema técnico--económico – permitiram acumular experiência que foi posteriormente transferida para a produção de eletricidade renovável, como externalidade.

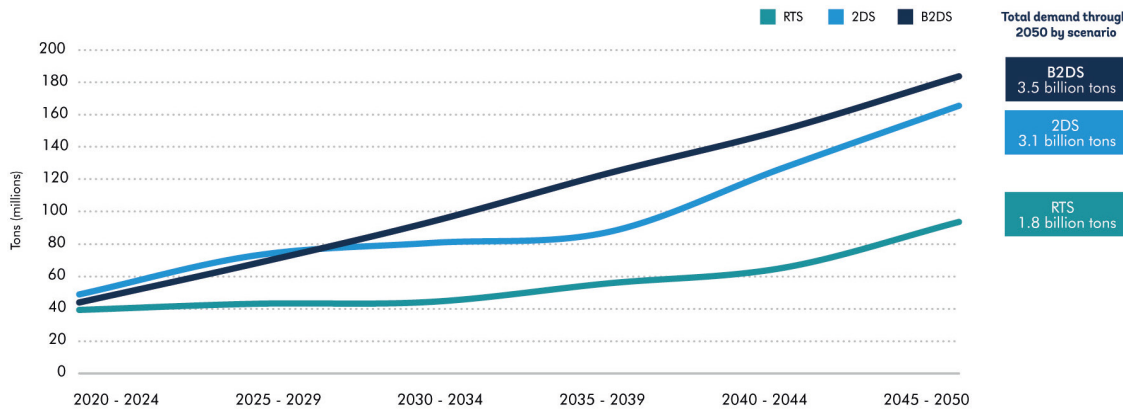
As duas formas de energia renovável desenvolvidas neste Sistema – eólico e solar fotovoltaico – apresentam três características que as distinguem da outra forma mais antiga, a hidroeletricidade: **são formas de energia primária, pouco densas, intermitentes e impossíveis de armazenar diretamente**

O seu custo direto de produção foi-se reduzindo drasticamente, mas a integração de qualquer uma delas em sistemas elétricos com extensas redes nacionais que ligam centros de produção utilizando como energia primária gás natural, nafta ou carvão com as redes de distribuição, exige custos adicionais devido à sua intermitência e às exigências específicas de armazenamento (*vd.* custo do armazenamento de eletricidade que possam produzir).

As energias renováveis desenvolvidas neste sistema têm outra característica menos referida – o seu grande consumo de recursos minerais

Figura 2

Projected annual average demand of minerals up to 2050 in the IEA energy technology perspective scenarios



Note: "Minerals" refers to the 17 minerals included in this analysis plus steel, but excluding concrete. Steel has been included because of the size of demand for the alloy from energy technologies. Average annual demand is the mean demand for minerals across the time periods given. The higher mineral demand under the 2DS than the B2DS before 2030 can be explained by the higher overall generation capacity projected by the IEA to be needed in the 2DS compared with the B2DS. This is especially true of solar photovoltaic in the 2DS in these time periods. Subsequently, the plateau in mineral demand in the 2DS is caused by a relatively slower penetration of renewable generation, followed by a rapid increase in storage capacity from 2035 onward. 2DS = 2-degree scenario, B2DS = beyond 2-degree scenario, IEA = International Energy Agency, RTS = reference technology scenario.

d) O IVº Sistema Técnico Económico: a portabilidade das comunicações e da informática e a energia

A multiplicação de computadores portáteis e dispositivos de comunicações móveis com cada vez maior capacidade computacional é inseparável do surgimento, em 1992, das baterias de iões de lítio recarregáveis, então introduzidas pela japonesa Sony.

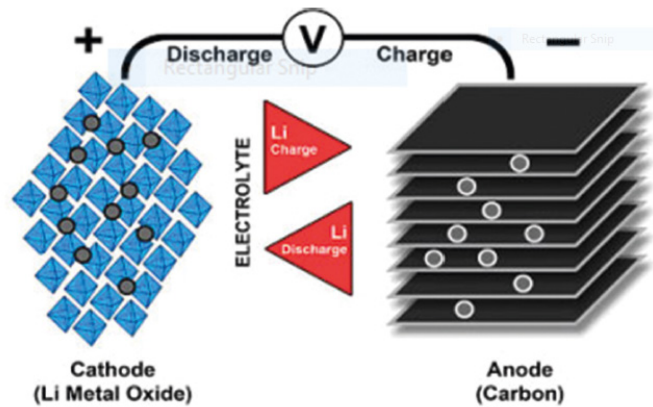
Recorde-se que, no início dos anos 70, foram comercializadas as primeiras baterias não recarregáveis de lítio metálico (o mais leve dos metais com o mais elevado potencial eletroquímico), tendo este tipo de baterias a mais elevada energia específica por unidade de peso. E, logo na altura, foi entendido que baterias com lítio metálico no ânodo poderiam atingir densidades energéticas extraordinariamente altas.

Em meados da década de 80, foi, no entanto, descoberto que a recarga destas baterias originava dendritos no ânodo, sendo que estas partículas podiam penetrar no separador entre ânodo e cátodo, provocando curto circuitos que geravam calor que podia atingir temperaturas em que o lítio se fundia. A inerente instabilidade do lítio metálico, em especial durante o carregamento, reorientou a investigação para soluções com iões de lítio

A bateria recarregável lítio-cobalto-óxido, que atualmente é líder no mercado, ficou a dever-se à investigação pioneira de John B. Goodenough. As baterias de iões de lítio utilizam um cátodo (elétrodo positivo) fabricado em óxido metálico de lítio, um ânodo (elétrodo negativo) de carbono poroso e um eletrólito líquido como condutor, sendo que este último é inflamável em certas condições. Durante a descarga destas baterias, os iões fluem do ânodo para o cátodo através do eletrólito separador, enquanto, no carregamento, os iões fluem em direção contrária, fluindo do cátodo para o ânodo (vd. figura seguinte).

Figura 3

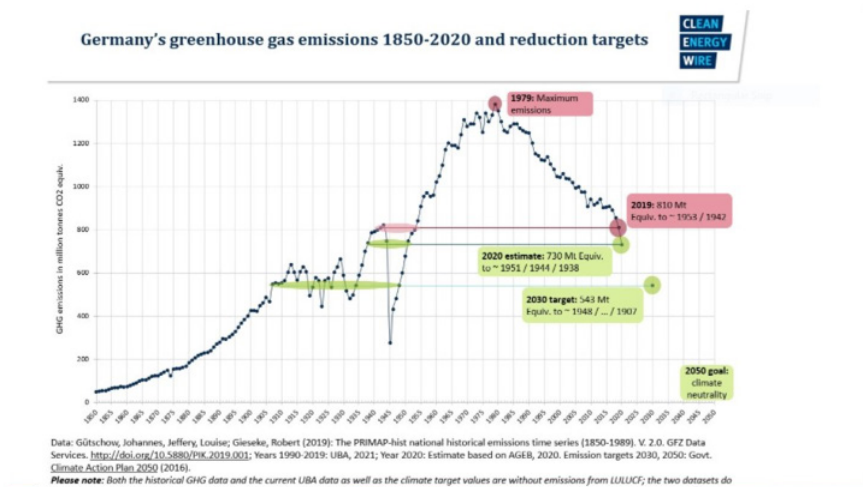
Fluxos de iões de lítio numa bateria



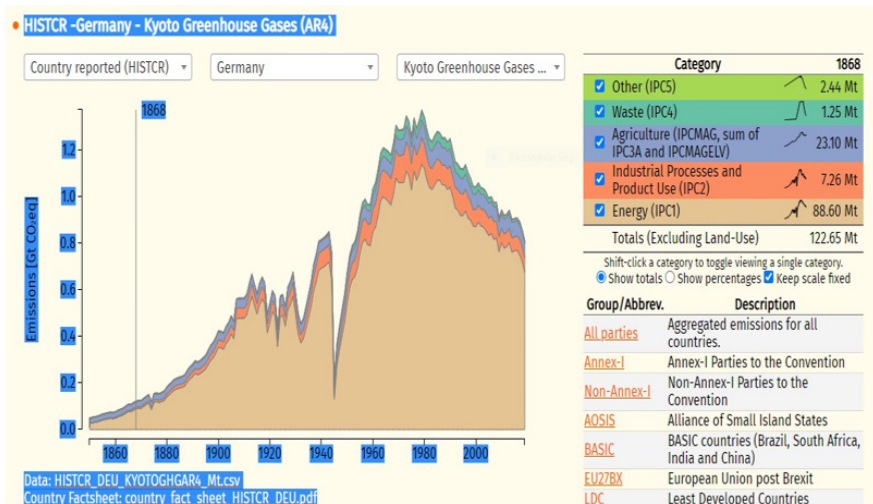
Fonte: <https://lithiumhub.com/understanding-lithium-ion-batteries/>

2.9. A emissão de gases com efeito de estufa ao longo de quatro sistemas técnico económicos num país industrializado-o caso da Alemanha

Gráficos 1 e 2



Fonte: [CLEAN ENERGY WIRE](https://www.cleanenergywire.com/) Journalism for the energy transition



A observação dos Gráficos I e II com a evolução da emissão de gases com efeito de estufa na Alemanha revela:

a) Duas vagas de crescimento pronunciado dessas emissões:

- Uma de 1850 até aos anos 20 do século XX, correspondendo à implantação do IIº sistema Técnico Económico, altamente gerador deste tipo de gases que marcou a ascensão da Alemanha ao estatuto de grande economia industrial na Europa, só ultrapassada pelo Reino Unido
- Uma segunda vaga posterior à 2ª guerra mundial correspondendo à generalização do IIIº sistema técnico-económico de que a Alemanha foi já concorrente dos EUA, tendo ultrapassado o Reino Unido

b) O início de uma quebra acentuada das emissões pós 1979, centrada no setor da Energia –muito possivelmente devido:

- À entrada do electrónuclear em que a Alemanha investiu apoiando-se na compra de tecnologia aos EUA e na endogeneização da capacidade industrial de fabrico dos equipamentos
- Ao recurso ao gás natural importado, que contribuiu – com o electrónuclear –para a substituição de parte do consumo de carvão
- A avanços na eficiência energética do automóvel, exigido também por uma opinião pública mais mobilizada pelo combate à poluição urbana

Ao avanço no consumo por parte da sua população de massa de equipamentos do audiovisual, da comunicação e da informação, muito menos consumidores de energia. Mas nos quais a Alemanha não se conseguiu afirmar, no pós-2º guerra mundial, como um ator de 1º plano

2.10. Transição de sistemas técnico económicos – o fim da guerra fria e os seus impactos tecnológicos

Como já pudemos referir, o IVº Sistema Técnico Económico foi muito influenciado na sua dinâmica pela competição estratégica entre os EUA e a URSS e pelo papel da Ciência e Tecnologia no desenvolvimento das armas e dos sistemas de Defesa que caracterizaram o período da “guerra fria”

A implosão da URSS o fim da guerra fria e as decisões que fossem tomadas pelos EUA nos anos imediatamente posteriores iriam influir na futura dinâmica das tecnologias. Seguidamente iremos referir algumas destas decisões tomadas durante as duas Administrações Clinton

2.10.1. EUA - Desvalorizando a iniciativa de defesa estratégica (SDI)

Quando a Administração Clinton tomou posse, em Janeiro de 1993, herdou da Administração anterior uma revisão da Iniciativa de Defesa Estratégica (SDI) já adaptada ao mundo pós Guerra Fria, ou seja, a um mundo após a implosão da URSS mas com a Rússia como herdeira única do arsenal nuclear da URSS e com 2/3 do complexo militar industrial soviético (o restante 1/3 estava localizado na Ucrânia), mas com Estados potencialmente

adversários a construir arsenais nucleares estratégicos (ex: China) e outros Estados a ganhar capacidade de fabrico e disponibilização de armas nucleares (ex: Paquistão e Índia) e outros ainda que se presumia estarem a iniciar programas nucleares militares (ex: Coreia do Norte, Irão, Iraque e Líbia).

Essa versão revista da SDI, desenhada durante a Administração republicana de George Bush, foi designada por GALPS (Global Protection Against Limited Strikes), ou seja, já não se tratava de uma SDI para responder a eventuais ataques nucleares por parte de uma potência com centenas de mísseis - considerando-se na altura que seria possível avançar numa relação menos conflitual e mais cooperativa com a nova Rússia (como era a orientação da referida Administração), mas sim para proteger o território dos EUA de possíveis ataques de potências com reduzidos arsenais nucleares. Esta nova versão da SDI fora aprovada no Congresso onde a maioria era democrata. Supunha a GALPS que fosse instalada uma primeira bateria de mísseis interceptores no território continental dos EUA, nos anos finais da década de 90.

“GUERRA DAS ESTRELAS” - POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS- GPALS & “Brilliant pebbles”

GPALS *Global protection Against Limited Strikes*

GPALS would consist of surface - and space-based elements to ensure continuous global detection, tracking, and intercepting of ballistic missiles and their associated warheads, including theater missile threats. The defensive elements that would comprise GPALS could be deployed sequentially and need not await the deployment of an entire system. Nor would the deployment of a GPALS system be contingent on the technical maturity of potential follow-on systems.

A GPALS system would consist of surface- and space-based sensors capable of providing continuous, global surveillance and tracking from launch to intercept or impact of ballistic missiles of all ranges. The use of space-based sensors would allow for a reduction in the size, cost, and number of surface-based weapons and sensors, while increasing their performance. In combination, the sensors would provide information to US forces and potentially to those of allies as well.

A GPALS system would also contain interceptors, based both in space and on the surface, capable of providing high-confidence protection to areas under attack. Space-based interceptors could provide a continuous, global interdiction capability against missiles with ranges in excess of 600 kilometers. The surface-based interceptors (located in the US, deployed with US forces, and potentially deployed by US allies) would provide local point and area defense.

To illustrate the GPALS concept, figure 4 depicts an integrated system consisting of three interlocking pieces. The size of each piece reflects the relative investment projected for the three main parts of the GPALS. Specific elements are discussed under the section on GPALS architecture.

Fonte: Global Security

What’s Next for ‘Star Wars’? ‘Brilliant Pebbles’

“RAPID advances in the miniaturization of parts for high-technology weapons have allowed the Pentagon to give its “Star Wars” anti-missile program a major new emphasis. Instead of focusing exclusively on big, bulky, costly weapons, it would now create swarms of small, cheap, brainy rockets to hurl at enemy missiles with deadly accuracy.

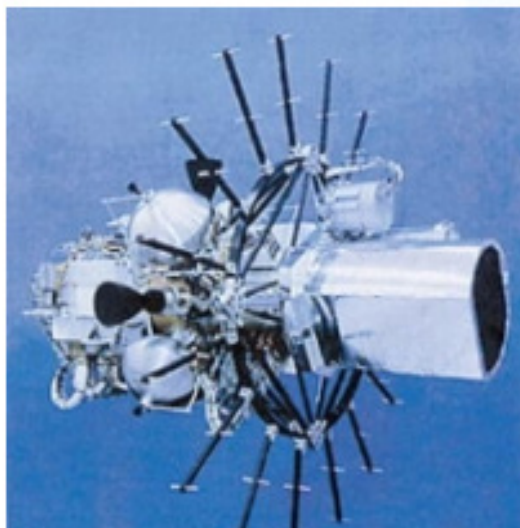
The proposal now at the center of growing excitement and debate is “Brilliant Pebbles.” The idea is to sow space with 10,000 to 100,000 small weapons that would home in on enemy missiles and destroy them by force of impact.

Compact and smart, each weapon would be three feet long and weigh about 100 pounds, with its “brains” in a silicon chip said to be as powerful as a super computer and its “eyes” in an innovative wide-angle optical sensor. These devices would track the fiery exhaust of missiles and pick targets, eliminating much of the need for outside guidance from sensor satellites and ground stations.

Not coincidentally, the system would also be far cheaper than those usually envisioned for space deployment by the Strategic Defense Initiative program. In spirit, if not form, the weapons of earlier systems resembled battle stations from the movie "Star Wars".

Figura 4

"guerra das estrelas" - um "exo-atmospheric kill vehicle" ou ekv



Fonte: WILLIAM J. BRO, Published: April 25, 1989.

Ora, em Maio de 1993, a nova Administração democrata do Presidente Clinton cancelou o programa SDI e o plano de instalação previsto no GALPS e decidiu focalizar a atenção no desenvolvimento e instalação de "sistemas de defesa anti-míssil de teatro" - contra mísseis de alcance mais curto, utilizáveis em "teatro de guerra", ou seja, para finalidades táticas. Desta reorientação resultaram dois sistemas de armas - PATRIOT e THAAD.

Nesse mesmo ano, uma revisão mais detalhada dos programas de defesa antimíssil dos EUA levou a terminar o programa existente de NMD - Defesa Antimíssil Nacional, ou seja, para proteção da totalidade do território dos EUA - como programa destinado à futura aquisição e instalação de sistemas, alterando o seu estatuto para o de um mero programa de demonstração de tecnologias a utilizar eventualmente em futuros sistemas de defesa antimíssil, tendo o financiamento do programa NMD sido reduzido em 80%.

Esta decisão correspondeu à aceitação pela Administração Clinton de que o avanço nas negociações de redução de armas nucleares estratégicas com a Rússia em que estava empenhada só avançaria se os EUA se mantivessem no quadro do Tratado ABM, negociado com a URSS na década de 70 e que:

- Impedia a instalação de sistemas de defesa anti-míssil de âmbito nacional - apenas permitindo a cada um dos signatários (EUA e URSS) dispor de um único sistema localizado para proteger uma determinada região;
- Impunha severas restrições no desenvolvimento e teste de certos tipos de defesas anti-míssil.

Esta decisão foi seguida em 1994 do cancelamento das negociações em curso durante a Administração de George Bush – as Defense and Space Talks –, iniciadas em 1992 por iniciativa do Presidente da Rússia, Boris Ieltsin, que propusera colaborar com os EUA na instalação de um sistema global de defesa anti-míssil - o Global Protection System (GPS).

Em Setembro de 1994, durante uma cimeira Clinton-Ieltsin em Washington, foi elaborada uma declaração conjunta dos EUA e da Rússia em que se reafirmava a importância de manter a viabilidade e a integridade do Tratado ABM.

Em 1995, o Congresso dos EUA aprovou uma autorização de despesa na área da Defesa (H.R.1530) que continha uma disposição exigindo a instalação de um Sistema de defesa Antimíssil Nacional, a começar em 2003. Em Dezembro de 1995, o presidente Clinton vetou esta autorização, com uma tripla justificação: de que não existia a ameaça a que o sistema pretendia responder; de que se estava prematuramente a fazer uma opção por um determinado tipo de tecnologia de defesa antimíssil; de que aceitar a disposição votada pelo Congresso seria inconsistente com manter a adesão ao tratado ABM, o que iria comprometer as negociações START - Strategic Arms Reduction Treaty, de redução das armas nucleares ofensivas em curso com a Rússia.

Em 1996 - e numa iniciativa de aproximação à maioria no Congresso - o Secretário da Defesa declarou que o Programa NMD iria passar do estatuto de "Programa de aceleração tecnológica" para um estatuto de "Programa de aceleração com vista a instalação", o que se deveria traduzir até 2000 em avançar com mais I&D em tecnologias para um Sistema Nacional de Defesa Antimíssil que viessem a permitir a eventual decisão de instalação, de que deveria resultar, três anos depois desta decisão, o início da sua instalação (Plano conhecido por "3 mais 3" que apontaria para 2003 para um eventual início de instalação).

Mas, em Março de 1997, na cimeira de Helsínquia entre Clinton e Ieltsin, é emitida uma nova declaração conjunta que ligava o avanço nas negociações START com a manutenção do Tratado ABM (considerado nessa declaração como "the cornerstone of strategic stability"), aumentando as pressões sobre o Senado para que este aprovasse uma renovação do Tratado ABM.

2.10.2. Eua - prioridade aos sistemas de defesa antimíssil táticos

No que respeita a estes Sistema de defesa Anti Míssil desenvolvidos durante a década de 90, nas Administrações Clinton destaca-se o **THAAD - Terminal High Altitude Area Defense** que é um sistema de mísseis antibalísticos do Exército dos EUA projetado para abater mísseis balísticos de alcance curto, médio e intermédio. O THAAD foi inicialmente desenvolvido para combater os ataques de mísseis Scud do Iraque durante a Guerra do Golfo, em 1991.

O míssil não carrega nenhuma ogiva, mas usa a energia cinética do impacto para destruir o míssil invasor. Um choque de energia cinética minimiza o risco de fazer explodir mísseis balísticos convencionais e mísseis balísticos com ogivas nucleares, já que estas não detonarão após um impacto de energia cinética.

Originalmente, foi um programa do Exército dos EUA, mas posteriormente o THAAD veio a ficar na tutela da Agência de Defesa contra Mísseis. A EUA tem um programa semelhante, o Sistema de Defesa de Mísseis Balísticos AEGIS, baseado no mar, que agora tem um componente de terra também ("Aegis em terra"). A primeira instalação do THAAD ocorreu em Maio de 2008.

THAAD - Terminal High Altitude Area Defense

“Terminal High Altitude Area Defense (THAAD) is a transportable system that intercepts ballistic missiles during their final, or terminal, phase of flight. THAAD uses a one-stage hit-to-kill interceptor to destroy incoming ballistic missile targets. And is able to intercept incoming missiles both inside and just outside of the Earth’s atmosphere at a range of 200 kilometers, which mitigates the effects of weapons of mass destruction before they reach the ground. The ability to intercept both inside and outside the atmosphere makes THAAD an important part of layered missile defense concepts, as it falls between the exclusively exo-atmospheric Aegis interceptors and the exclusively endo-atmospheric Patriot interceptors.

The concept development for the THAAD program began in 1989 and the official program office was chartered in 1992. THAAD reached Program Initiation status in 2000. Since reaching that milestone, THAAD is 14 for 14 in intercept testing. Despite being only two for eight in testing during the Program Definition Risk Reduction stage prior to the year 2000. There are four main components to THAAD: the launcher, interceptors, radar, and fire control:

The launcher is mounted on a truck for mobility and storability. There are eight interceptors per launcher. Current Army configurations of THAAD batteries include six launchers and 48 interceptors, though certain reports indicate that this could be scaled up to nine launchers and 72 interceptors.

The THAAD system utilizes the **Army Navy/Transportable Radar Surveillance (AN/TPY-2)** radar to detect and track enemy missiles at a range of up to 1,000 kilometers.

The fire control system is the communication and data-management backbone and is equipped with an indigenous THAAD Fire Control and Communications system.² **The Command, Control, Battle Management, and Communications (C2BMC)** also provides tracking and cueing information for THAAD from other regional sensors on **Aegis** and **Patriot** systems.

The THAAD system concept combines the hit-to-kill elements from the Extended Range Interceptor (ERINT) with the intercept altitudes of the High Endo atmospheric Defense Interceptor (HEDI) and the Exo atmospheric/Endo atmospheric Interceptor (E2I) previously developed

Figura 5



2.10.3. Plasmas, lasers e fusão nuclear - a national ignition facility

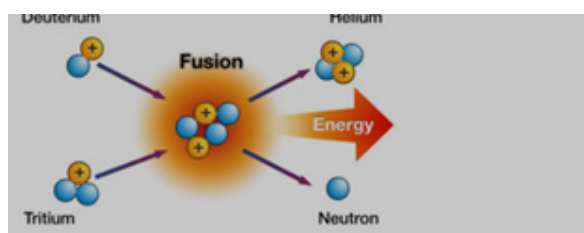
Entre as **Armas e a Energia**, a Administração Clinton contribuiu decisivamente para a construção da National Ignition Facility, que teve como objetivo alcançar a fusão nuclear através da tecnologia de confinamento inercial e, mediante a aplicação de lasers, para concentrar calor e pressão sobre Hidrogénio na forma dos seus isótopos deuterio e trítio.

NATIONAL IGNITION FACILITY

The National Ignition Facility, or NIF, is a large laser-based inertial confinement fusion (ICF) research device, located at the Lawrence Livermore National Laboratory in Livermore, California. NIF uses lasers to heat and compress a small amount of hydrogen fuel to the point where nuclear fusion reactions take place. NIF's mission is to achieve fusion ignition with high energy gain, and to support nuclear weapon maintenance and design by studying the behavior of matter under the conditions found within nuclear weapons. NIF is the largest and most energetic ICF device built to date, and the largest laser in the world.

Figura 6

Fusão de deuterium e tritium para formar helium, neutrão e energia



Construction on the NIF began in 1997 but management problems and technical delays slowed progress into the early 2000s. Progress after 2000 was smoother, but compared to initial estimates, NIF was completed five years behind schedule and was almost four times more expensive than originally budgeted. Construction was certified complete on 31 March 2009 by the U.S. Department of Energy, and a dedication ceremony took place on 29 May 2009. The first large-scale laser target experiments were performed in June 2009 and the first “integrated ignition experiments” (which tested the laser’s power) were declared completed in October 2010.

Bringing the system to its full potential was a lengthy process that was carried out from 2009 to 2012. During this period a number of experiments were worked into the process under the National Ignition Campaign, with the goal of reaching ignition just after the laser reached full power, some time in the second half of 2012. The Campaign officially ended in September 2012, at about 1/10 the conditions needed for ignition. Experiments since then have pushed this closer to 1/3, but considerable theoretical and practical work is required if the system is ever to reach ignition. Since 2012, NIF has been used primarily for materials science and weapons research.

At NIF, 192 high-power laser beams are focused onto a small target which vaporizes and turns into a plasma. This small cylindrical target, known as a hohlraum, contains deuterium and tritium, which, when heated with the 192 laser beams, turns into an x-ray oven. The target implodes and the deuterium and tritium are heated and compressed to incredible temperatures and pressures causing them to fuse. If done correctly, this fusion reaction could be self-sustaining and the energy produced from the reaction will be larger than the losses, a condition known as ignition. Hence why NIF is known as the National Ignition Facility.

Figura 7

National ignition facility



Fonte: Meriam Berboucha “World’s Largest Laser Could Solve Our Energy Problems”

2.10.4. EUA - COLABORAÇÃO NO ESPAÇO COM A RÚSSIA - A ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL

A criação da Estação Espacial Internacional resultou de um **memorando de entendimento entre os EUA e a Rússia**, através das suas Agências espaciais - NASA e ROSTOM - de cooperação em atividades espaciais, memorando assinado em 1998 durante o segundo mandato do presidente Clinton. Posteriormente, aderiram ao projeto três outras agências Espaciais - Europeia, Canadiana e Japonesa.

A Estação encontra-se em órbita baixa (entre 340 km e 353 km), e viaja a uma velocidade média de 27 700 km/h, completando 15,77 órbitas por dia.

A ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL

The International Space Station (ISS) is the most complex international scientific and engineering project in history and the largest structure humans have ever put into space. This high-flying satellite is a laboratory for new technologies and an observation platform for astronomical, environmental and geological research. As a permanently occupied outpost in outer space, it serves as a stepping-stone for further space exploration. This includes Mars, which NASA is now stating is its goal for human space exploration. Five different space agencies representing 15 countries built the \$100-billion International Space Station and continue to operate it today.

Figura 8

Estação espacial internacional



Assim se explica o arranque em 1994 pela NASA do programa do Reusable Launch Vehicle (RLV). Eram objetivos deste Programa:

- Demonstrar tecnologias necessárias para uma nova geração de lançadores espaciais capazes de colocar no espaço cargas úteis a um custo significativamente mais baixo;
- Fornecer a base tecnológica para o desenvolvimento de sistemas de lançamento espacial avançados que tornassem os fabricantes dos EUA de veículos espaciais mais competitivos no mercado global.

Era também intenção da Administração que estes novos sistemas viessem a permitir a transferência para empresas privadas de operações espaciais com fins comerciais, intervindo a NASA como compradora de serviços a essas empresas e não como ofertante direto de operações de lançamento no espaço para fins eminentemente comerciais.

O Programa RLV incluiu dois tipos de projetos:

- O **programa X-33** - programa iniciado pela NASA em 1996 com o objetivo de demonstrar - ainda numa subescala - um lançador não tripulado, reutilizável e do tipo Single Stage to Orbit (SSTO) para voo suborbital, em vez dos tradicionais lançadores de dois andares com o primeiro andar descartável.
- O **programa X-34** foi um veículo de teste de baixo custo construído pela Orbital Sciences para demonstração de "tecnologias-chave" que poderiam ser usado num sistema de lançamento suborbital reutilizável. Ele foi concebido como uma nave sem piloto, alimentado por um motor de foguete de combustível líquido 'Fastrac', capaz de atingir Mach 8, e realizar 25 voos de teste por ano.

Figura 10

Orbital Sciences X-33



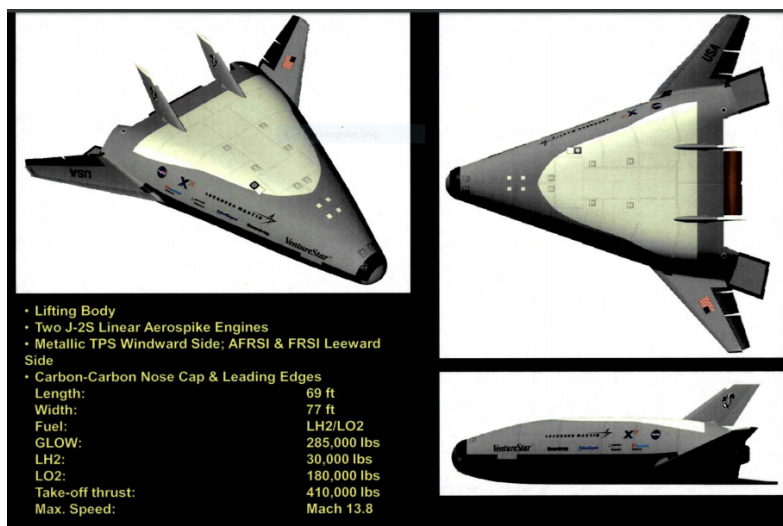
Dos cinco consórcios que concorreram ao programa X-33 foram escolhidos três para apresentação final de soluções em escala reduzida

- A **Lockheed Advanced Development** - propôs um conceito que designou como “Aero Ballistic Rocket” - um lançador em formato espalmado que arrancava verticalmente para o espaço e aterrava na horizontal, utilizando um tipo de motor diferente dos motores foguete até então utilizados - um aerospike engine. Além de incluir outras divisões, a Lockheed contava com a Rocketdyne, Rohr Industries e Allied Signal, entre outros membros do consórcio.
- A **Rockwell International Space Division** - apresentou um conceito de lançador em formato de asa delta com dupla cauda traseira e com cinco motores, que arrancava verticalmente para o espaço e aterrava na horizontal. Na sua proposta defendia que este demonstrador em meia escala não tivesse que atingir a órbita terrestre.
- A **McDonnell Douglas** com a **Boeing** apresentou o conceito de um lançador que arrancava para o espaço e aterrava na vertical como já acontecera com os demonstradores de tecnologia da Douglas - o DC-X e DC-XA -, embora o consórcio também viesse a preparar um modelo de arranque vertical e aterragem na horizontal como era a preferência da NASA.

Em 1996, o consórcio liderado pela Lockheed ganhou e iniciou-se a construção do demonstrador X-33, que seria um lançador com a configuração ilustrada nas figuras seguintes.

Figura 11

○ X-33



A Lockheed concebeu, a partir deste Demonstrador X-33, o conceito de um novo lançador - **Venture Star** - que deveria servir para uma frota comercial para transporte espacial e, eventualmente, constituir uma opção para a Força Aérea.

Ora, um lançador SSTO reutilizável, como o X-33 proposto pela Lockheed, colocava vários desafios tecnológicos:

- Reduzir o peso dos tanques de transporte dos combustíveis e carburantes líquidos utilizados no voo - hidrogénio criogénico e oxigénio, por forma a ganhar espaço para transporte de cargas para colocação no espaço; o que apontava para a utilização de materiais muito mais leves nesses tanques do que os materiais metálicos. A opção foi a de utilizar materiais compósitos nos tanques de hidrogénio a -423 graus Fahrenheit (fabricados em compósito grafite-epóxico) enquanto os tanques de oxigénio foram fabricados em alumínio-lítio. Tanques que, com o volume necessário de hidrogénio e oxigénio para o tipo de viagens a realizar (nunca acima dos 100km de altitude), só podiam existir com o formato em V escolhido para o lançador, como se pode ver na Figura.
- Conceber e fazer funcionar um único tipo de motor que pudesse funcionar na melhor forma possível, quer em ambientes de maior densidade (atmosfera terrestre) quer de muito menor densidade, como no espaço exterior, dispensando assim dois motores distintos como nos tradicionais lançadores - um para o primeiro andar e outro para o segundo andar.
- Utilizar materiais metálicos e soluções que assegurassem a proteção térmica do lançador, que ao reentrar na atmosfera, na sua descida para terra experimentaria um enorme aquecimento exterior devido à velocidade dessa descida.

Figura 12

A propulsão do X-33

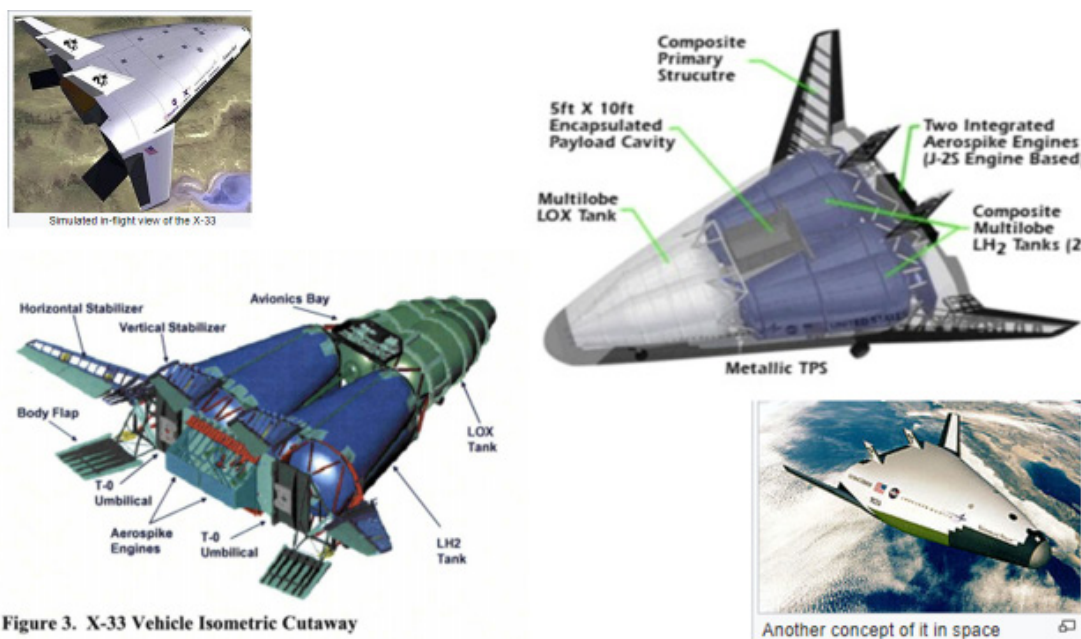
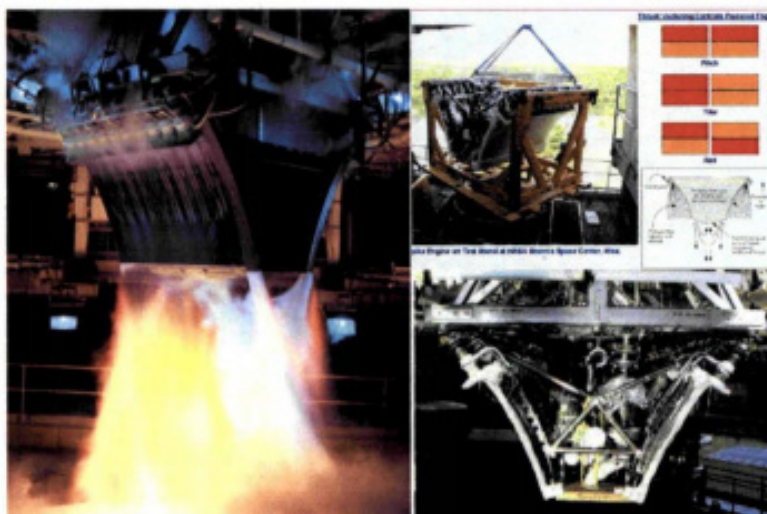


Figure 3. X-33 Vehicle Isometric Cutaway

A observação das figuras revela a pequena dimensão do espaço destinado ao transporte de carga para colocar no espaço, comparada com o volume ocupado pelos tanques de transporte de hidrogénio e oxigénio liquefeitos (por criogenia).

Figura 13

○ motor Airspike Linear



II. The Linear Aerospike Engine

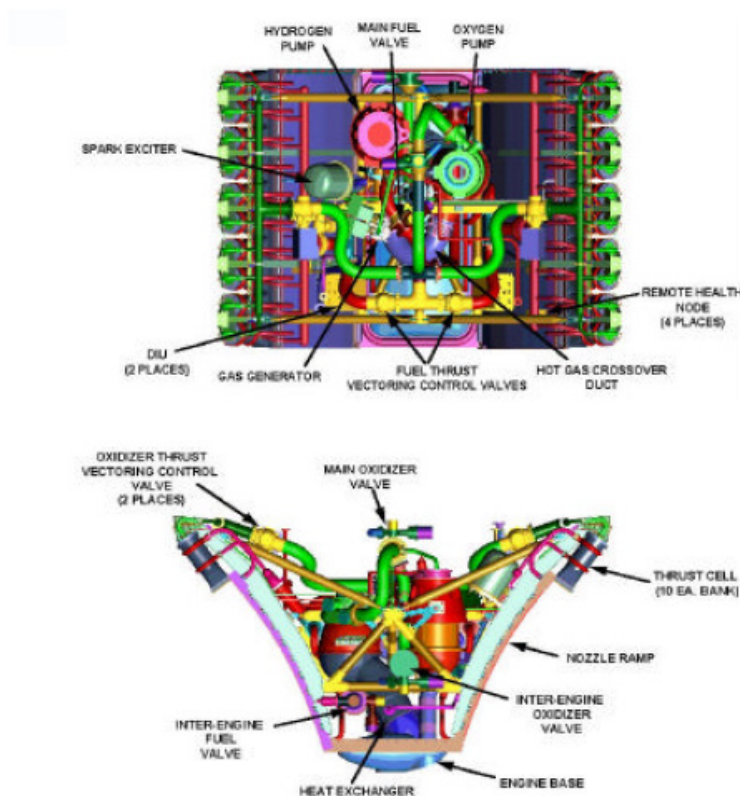


Figure 3: Linear Aerospike Engine, Internal View.

Fonte: NASA-Marshall Space Flight Center

Este motor Aerospike distingue-se dos motores tradicionalmente utilizados nos lançadores espaciais, muito em particular no que respeita ao dispositivo que assegura o escape dos gases a alta velocidade que propulsionam o lançador (nozzle). Assim, em vez de dispor de um único dispositivo em que é concentrada a saída desses gases, no motor Airspike (ver Figura) esse escape realiza-se ao longo de uma superfície extensa na qual vêm terminar

vários motores fazendo com que o escape se realize não só numa superfície maior, como possa ser regulado na sua intensidade e extensão conforme a densidade do espaço envolvente (Ver Figura).

Em 1999 já haviam sido fabricados os componentes da estrutura do lançador, tinham-se iniciados testes fixos do motor, os testes estruturais tinham-se iniciado e a NASA reservara um espaço dedicado no seu Centro de Operações de voo na base da Força Aérea de Edwards.

Mas, o falhanço na construção dos tanques de hidrogénio em material compósito, com as características de segurança imprescindíveis acabou por levar ao cancelamento do programa em 2001. E, só em 2004, a Northrop Grumman e a NASA conseguiriam fabricar um tanque para hidrogénio líquido em material compósito, mas agora de fibra de carbono, que demonstrou a viabilidade da sua utilização em múltiplos enchimentos e em vários lançamentos simulados do X-33.

Traços gerais do Vº sistema técnico económico

Consideramos as seguintes características básicas deste Vº Sistema Técnico económico

a) Renova e amplifica o investimento na exploração do espaço, em quatro patamares:

- A competição /cooperação entre Estados pelo voo tripulado para Marte e o estabelecimento na órbita da Lua de uma estação de apoio (Lunar Gateway- com EUA e possível cooperação da Rússia e da ESA)
- O início da instalação de bases permanentes na Lua (já planeadas pelos EUA, China e Japão) e da exploração de recursos – em que se incluirá o Hélio 3, útil para tecnologias de fusão nuclear
- A mineração dos asteroides, com inovação na forma de exploração dos minérios que deles se podem obter
- A multiplicação de um novo segmento de satélites artificiais em órbitas baixas ciais – micro e nano satélites, integrados em constelações que podem constituir uma infraestrutura para acesso à internet e para observação e monitorização da terra

b) Marca o início em larga escala da exploração sustentável de recursos no oceano profundo-envolvendo:

- Recursos vivos em ambientes extremos – ex. junto de fontes hidrotermais) e que podem vir a ser utilizados pela indústria farmacêutica
- Recursos minerais de alto valor, nomeadamente terras raras existentes em lamas ou depósitos no fundo do mar
- Utilização dos hidratos de metano, como reforço dos recursos em gás natural do planeta com exploração sustentável
- Avanços que permitam a exploração dos sulfuretos- recursos minerais abundantes que rodeiam as fontes hidrotermais - mas com impactos reduzidos ou nulos no macro ambiente marinho

Por sua vez a exploração espacial e a exploração do oceano profundo vão criar um mercado alargado para a robótica móvel, com graus crescentes de autonomia

c) Organiza o funcionamento das economias e das sociedades em torno do ciberespaço como espaço de acesso global para comunicação, informação, transações e entretenimento, tendo como grandes organizadoras as plataformas digitais globais/multifuncionais, que pela primeira vez romperão com as fronteiras dos Estados, para criar as suas próprias “fronteiras” de fidelização de clientes oriundos dos mais diversos Estados do Mundo.

- Este novo funcionamento das economias e da sociedade - que privilegia a personalização dos serviços e dos conteúdos acedidos - assenta na disponibilização de terminais – os smartphones - que foram lançados nos EUA em 2007 e rapidamente se difundiram á escala mundial como bens de consumo de massa que permitem individualmente o acesso permanente e em tempo real à internet bem como o processamento dos dados em várias formas.
- O Ciberespaço funciona assente numa infraestrutura global de que as comunicações em fibra ótica são a espinha dorsal com uma componente de cabos submarinos permitindo as ligações intercontinentais e em que os Data centres são os locais onde se localizam os servidores de armazenamento dos dados que circulam na internet

Figura 13

Infraestruturas da do ciberespaço- Internet backbone e Data Center

The internet Backbone



The internet generates massive amounts of computer - to-computer traffic, and insuring all that traffic can be delivered anywhere in the world requires the aggregation of a vast array of **high-speed networks collectively known as the internet backbone**

The data centers



Fonte: CISCO

At its simplest, a data center is a physical facility that organizations use to house their critical applications and data. A data center's design is based on a network of computing and storage resources that enable the delivery of shared applications and data. The key components of a data center design include routers, switches, firewalls, storage systems, servers, and application -delivery controllers.
Fonte:CISCO

d) Permite aumentar a competitividade do setor dos serviços, tornada possível pela combinação da conectividade digital, com a disponibilização de dados fornecidos à escala global e com algoritmos que, os processando, permitam ampliar as capacidades humanas graças à presença de auxiliares em interação cognitiva (formas de machine learning/ /inteligência artificial); exigindo inovação nas arquiteturas de computação, nos componentes eletrónicos e nos materiais com que são fabricados; para tornar possível a difusão da Inteligência Artificial.

e) Permite organizar a produção física de forma descentralizada - ultrapassando a organização atual em cadeias de produção lineares mono setoriais - distribuídas no espaço global de acordo com a combinação de qualidade/custos do trabalho humano - em favor de cadeias de produção multi sectoriais - assentes na combinação da fabricação aditiva com a robótica, aproximando produção e consumo e podendo alterar por completo o padrão do comércio internacional.

f) Coloca os materiais derivados do carbono e os polímeros no centro do novo sistema técnico económico, quer em termos de materiais estruturais quer de materiais funcionais (fibras de carbono, nanotubos de carbono, grafeno), a que se adicionam plásticos técnicos e seus compósitos; marcando o fim gradual das eras dos metais.

g) Permite organizar um período de transição no paradigma energético mundial, em que – não obstante o crescimento das energias renováveis (nomeadamente eólica e solar) e dos avanços na armazenagem da eletricidade produzida, imprescindíveis à sua difusão - os hidrocarbonetos continuarão a ser dominantes na base dos sistemas energéticos mas deixarão de ser diretamente utilizados como combustíveis. Para o que contribuirá o papel crescente do hidrogénio como produto intermédio com uma utilização cada vez mais diversa. E das três formas sustentáveis de obtenção do hidrogénio- hidrogénio verde, hidrogénio azul e hidrogénio turquesa será este último que melhor se integrará neste Sistema já que a partir do gás natural esta tecnologia de extração permite obter hidrogénio, mas também carbono em estado sólido, respondendo assim à procura crescente de materiais em carbono que irá caracterizar este Sistema técnico -económico. Nessa transição energética integram-se igualmente a IVª geração de reatores nucleares de fissão, obedecendo a novos conceitos que permitem limitar vários das desvantagens associadas às anteriores gerações, além de reduzirem a dimensão de cada reator e permitir até a sua fabricação modular em série

h) Altera o padrão de utilização e as soluções de mobilidade. Reduz necessidades de mobilidade pela utilização maciça de comunicações móveis em banda larga e ciberespaço e, simultaneamente, introduz novas soluções de mobilidade inter metropolitana (ex: Hyperloop - utilizando motor elétrico linear) e novas formas de mobilidade autónoma aérea para utilização no transporte em espaço metropolitano de que destacaríamos os drones e os táxis aéreos (com propulsão elétrica, fabricados em materiais ultraleves e muito resistentes e com uma capacidade de autonomia e de operação em swarms), aviões para ligações intercontinentais hipersónicas, utilizando novas formas de propulsão (motores scramjet com utilização de hidrogénio) e novas configurações de aviões com propulsão a hidrogénio (*)

i) Renova a forma de organizar os cuidados de saúde no triplo sentido de predomínio do paradigma de prevenção (ex: doenças oncológicas, doenças neuro degenerativas), de monitorização permanente e automática de parâmetros clínicos, de personalização dos tratamentos e do recurso mais frequente à substituição de órgãos (e não apenas a corretores de funcionamento de órgãos), cujo fabrico se tornará mais facilitado. E inclui uma componente de investigação sobre as possibilidades de extensão significativa da longevidade.

j) Acelera uma mudança na alimentação, começando no recurso à engenharia genética para melhoramento de plantas - em termos de rendimento produtivo; capacidade de suportar stresses naturais e resistência a agentes patogénicos (sobretudo utilizando a engenharia na modalidade CRISPR); e envolvendo também a produção de tecidos nutricionais obtidos “em laboratório” (ex: tecidos para substituição de carne de origem animal) e a fabricação aditiva de alimentos confeccionados.

2.12. Vº Sistema técnico económico - zoom sobre energia e materiais

2.12.1. Energia

Considerámos que os hidrocarbonetos continuarão no horizonte 2040 a fornecer a base de energia primária a nível mundial, mas com o claro reforço da importância do gás natural. Por sua vez, o modo de utilização dos hidrocarbonetos evoluirá numa dupla direção: produção de combustíveis mais ricos em hidrogénio e de mais materiais ricos em carbono.

Por sua vez, a organização das economias e das sociedades em torno do ciberespaço vai condicionar fortemente a direção da inovação tecnológica na energia. Com efeito:

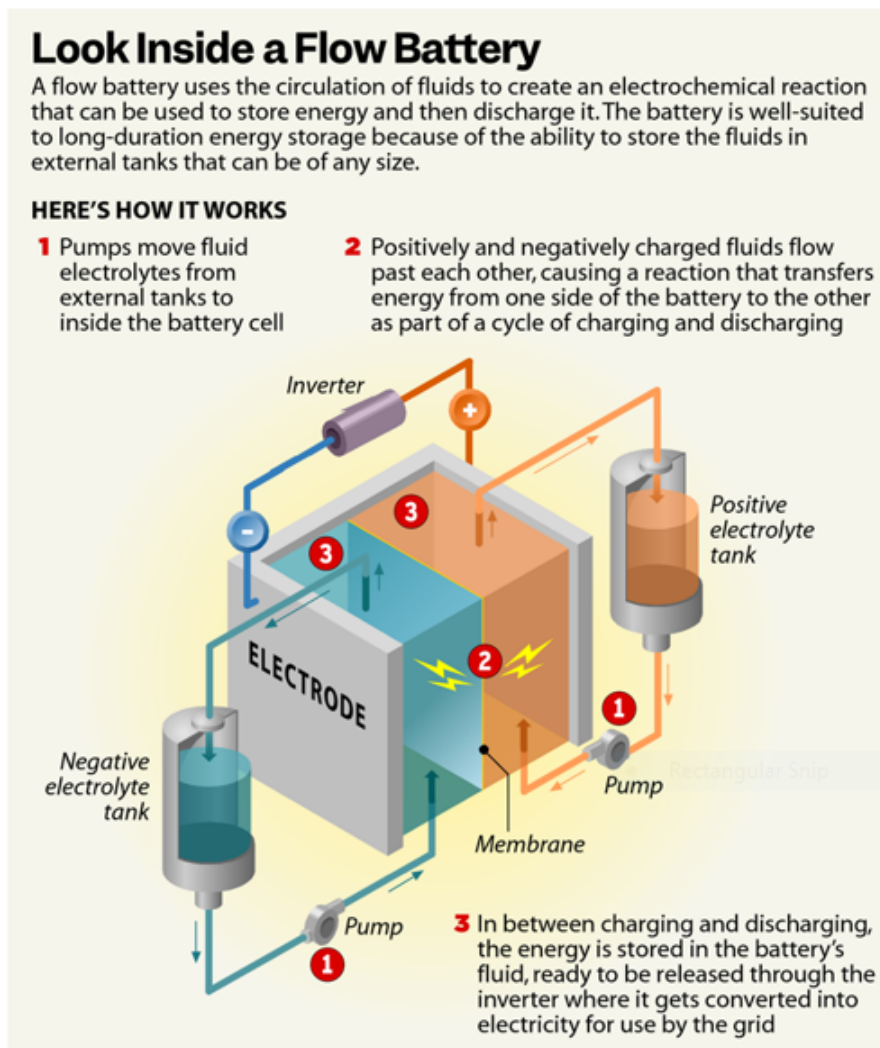
- A centralidade do ciberespaço em economias terciarizadas exige uma qualidade da eletricidade muito superior à que era exigida aos sistemas elétricos (centrais de produção, redes de transporte e redes de distribuição unificadas a nível nacional) na fase industrial das economias desenvolvidas - como aconteceu nos IIIº e IVº Sistemas Técnico-Económicos.
- A vulnerabilidade extrema a ciberataques das grandes redes de eletricidade centralizadas, hoje ainda dominantes - patente no lugar de topo que ocupam na lista dos setores económicos mais vulneráveis a esses ciberataques

A conjugação destas duas características aponta para que, em termos de tecnologias energéticas inovadoras suscetíveis de larga difusão na fase de maturação deste Sistema, se refiram:

- a) A aplicação de formas mais descentralizadas de produção de eletricidade - garantindo qualidade de eletricidade e menor vulnerabilidade a ciber-ataques do que as atuais redes elétricas centralizadas; estão nesse caso a produção descentralizada de eletricidade, calor (e água) a partir da transformação - sem queima - do gás natural graças à utilização de células de combustível estacionárias;
- b) O desenvolvimento de baterias com capacidade para armazenar em larga escala eletricidade obtida a partir de fontes renováveis, alterando no futuro o acesso desta eletricidade às redes elétricas nacionais, que passaria a ser intermediada por estas instalações de armazenagem, utilizando flow batteries.

Figura 14

As flow batteries e a armazenagem da eletricidade com origem renovavel



SOURCES: NREL; PNNL

PAUL HORN / Inside Climate New

Fonte: NREL;PNNL. Paul Horn/ Inside Climate Now

Figura 15

Uma exemplificação- as soluções de flow batteries da ESS, nos EUA



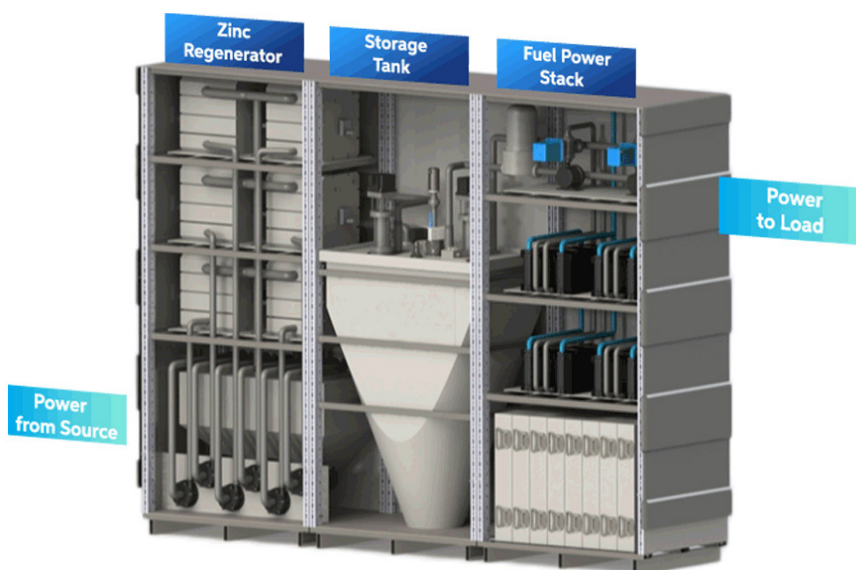
UMA NOVA ABORDAGEM DA ARMAZENAGEM DE ELETRICIDADE RENOVÁVEL-AS BATERIAS DE ZINCO

“The **Zinc 8** technology resolves intermittent and unpredictable nature of renewable energy sources while completely decoupling the linkage between power and energy.

Figura 16

O funcionamento das baterias de Zinco (Zinc 8 Technology)

1
Power from the grid or renewable source is used to generate zinc particles in the Zinc Regenerator . Oxygen is released to the atmosphere as a by-product.
2
The zinc particles are flowed to the Storage Tank and maintained in potassium hydroxide (KOH) electrolyte until required.
3
Whenever power is needed, the zinc particles are delivered to the Power Stack , recombining them with oxygen to generate electricity. The zinc oxide (ZnO) by-product is returned to the storage tank for later regeneration.



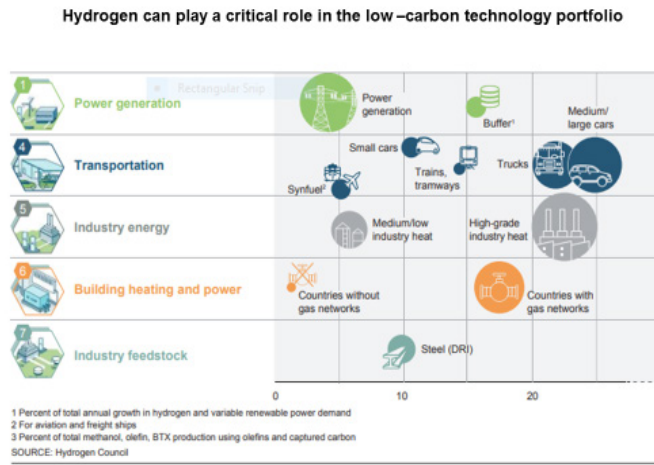
Fonte: ZINC 8 site

c) A maior diversificação no uso de formas de armazenamento de energia com elevada portabilidade - que começou com os terminais de telecomunicação, de informática e de audiovisual e exigiu um avanço nas tecnologias energéticas centrado nas baterias – nomeadamente, com a difusão no IVº Sistema Técnico-económico das baterias de iões de lítio que também encontraram aplicação na primeira geração de veículos elétricos que esta em difusão. Mas possivelmente uma nova geração de baterias -as baterias de estado sólido - será característica deste Vº Sistema Técnico Económico para este tipo de aplicações

d) A expansão da utilização do hidrogénio na fase de transição para um paradigma energético mais compatível com mitigação das alterações climáticas no longo prazo. As células de combustível em aplicações estacionárias ou móveis constituem uma tecnologia que se insere nesta expansão.

Figura 17

Múltiplas funções que o hidrogénio pode desempenhar na transição energética



Fonte: Hydrogen Council

Mas a difusão na utilização do hidrogénio vai depender do modo como for obtido e do respetivo impacto na futura emissões de CO₂- Destacamos 3 modos

- O Hidrogénio “Verde” obtido através da eletrólise da água- solução tecnológica com uma longa tradição , como se pode recordar da experiência portuguesa em que “primeiro hidrogénio” obtido para a produção dos adubos azotados foi por eletrólise da água realizada em instalações fabris da CUF em Alferrade utilizando a água excedentária da barragem de Castelo do Bode
- O Hidrogénio Azul, obtido a partir de hidrocarbonetos com captura e armazenagem do CO₂ obtido no processo de transformação
- O Hidrogénio Turquesa- cuja tecnologia está em desenvolvimento , centrada na utilização do gás natural e na sua decomposição alta temperatura em Hidrogénio e carbono em estado sólido, sem emissão de CO₂. Esta solução ao produzir Hidrogénio e um base para fabrico de múltiplos materiais com base no carbono parece ser a solução mais típica deste V-Sistema Técnico Económico

Figura 18

A Alemanha e o hidrogénio turquesa

A Alemanha e o hidrogénio turquesa

Hydrogen from Natural Gas without CO2 Emissions



Methane pyrolysis by means of a bubble column reactor allows for the climate-friendly use of fossil natural gas. (Graphics: Leon Küster, KIT)

Turquoise hydrogen is produced by methane pyrolysis, a technology which is in its infancy but promising, according to some industry players, including Wintershall Dea (WINT.UL), which works on pyrolysis with gas grid firm VNG, majority owned by EnBW (EBKG.DE), and British firm Hiroc, based in Hull.



HYTE: pilot plant turquoise hydrogen at BASF in Ludwigshafen
 BASF - O maior grupo químico da Alemanha e o desenvolvimento do Hidrogénio Turquesa

- The turquoise route to making hydrogen also seems to be an interesting route for BASF
- Via methane pyrolysis, hydrogen can be produced with carbon black and not CO2 as a residual product
- The first pilot is being built
- Partners in this field are ThyssenKrupp and Inde
- This route is being further developed in various places around the world
- The Dutch research institute TNO is also developing this turquoise route

JOSÉ FÉLIX RIBEIRO

11

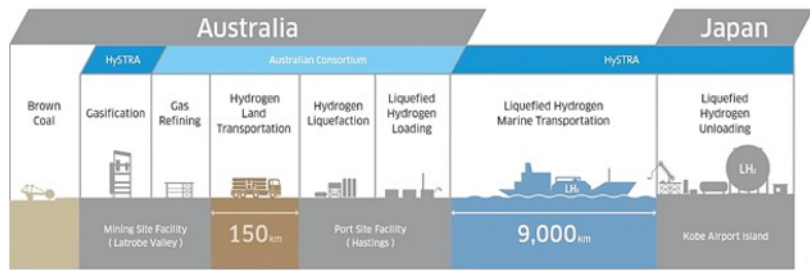
Sendo de referir que o Japão que reorganizou o seu sistema energético com base no hidrogénio optou por combinar Hidrogénio Verde com hidrogénio azul, como evidenciada nas parcerias que estabeleceu com a Austrália para obter hidrogénio a partir do carvão da Austrália, posteriormente transportado por navio para o Japão.

Figura 19

Austrália e Japão-Hidrogénio sem CO₂, a partir do carvão

AUSTRÁLIA E JAPÃO-HIDROGÉNIO SEM CO₂, A PARTIR DO CARVÃO

- The Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) project in the Latrobe Valley and the Port of Hastings is a world first trial to demonstrate hydrogen production from brown coal and safe and efficient transport of liquefied hydrogen to Japan. Building on more than half a century of resource industry collaboration between Japan and Australia, it could lay the foundations for a new industry built around hydrogen exports, mobility and hydrogen power generation.



Satoshi Okazaki & Andrew Cornell “Hvdrogen - the fuel of the future?” BlueNotes 19 Maio 2020

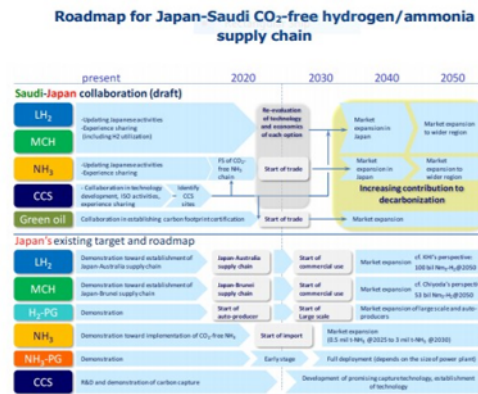
Com Arabia Saudita em que o hidrogenio e o amoniaco vão ser obtido prtir do Petroleo

Figura 20

O Japão investindo no hidrogénio-parceria com a Arábia Saudita

O JAPÃO INVESTINDO NO HIDROGÉNIO PARCERIA COM A ARÁBIA SAUDITA

O Japão integrou na sua Estratégia do Hidrogénio a criação de parcerias com outros Estados para ampliar a base de produção de hidrogénio **sem emissão de CO₂** que pudesse ser utilizada, após transporte marítimo, no Japão. Para além da primeira experiência - em curso - de obtenção de hidrogénio a partir de carvão na Austrália o Japão tem outras parcerias de amplo espectro para o mesmo fim, como por exemplo com a Arábia Saudita para obtenção de hidrogénio e de amoníaco para exportação



Source: METI.

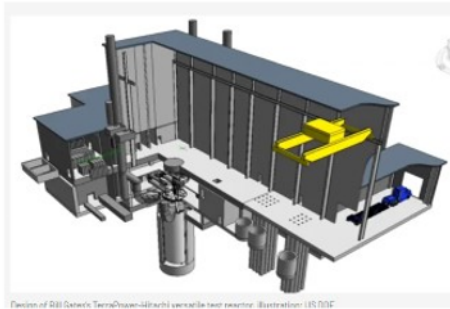
Note: "PG" refers to power generation.

Fonte: NAGASHIMA, Monica “Japan’s Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications” IFRI 2018

- e) Uma nova geração de reatores de fissão nuclear - na sua IV^a geração - que ilustramos seguidamente com soluções em desenvolvimento nos EUA

Figura 21

Novos tipos de reatores nucleares de fissão nos EUA

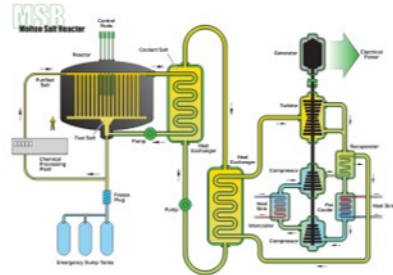


Traveling Wave Reactor

The basic idea is to combine the process of "burning" nuclear fuel, by fission reactions, with the process of breeding new fuel, in such a way that the newly generated fuel contributes in turn to maintaining the fission process. Since 2007, TerraPower in its own laboratories and through multiple partnerships, has carried out design work and experiments, setting the ambitious goal of building a sale demonstrator TWR by 2025, to be followed immediately by a commercial version that could be produced quickly in large numbers. In 2015, after four years of negotiations TerraPower signed an agreement with the China National Nuclear Corporation to build a prototype TWR power plant producing 600 MW of electric power. Intensive cooperation developed between Chinese and US nuclear engineers on the project. The demonstration plant was set to be completed in Fujian province by 2023. Its development has been suspended in the USA.

Molten salt reactor

Among the positive features of this reactor type (MSR) are its intrinsic safety features and its suitability for utilizing thorium as a fuel source. Thorium is vastly more common than uranium, and promises to greatly simplify the problem posed by so-called nuclear waste. Currently private firms, universities and government laboratories around the world are engaged in different aspects of MSR development. Private players include Bill Gates's TerraPower, Moltex Energy, Terrestrial Energy, Kairos Power LLC, ThorCon Power, Transatomic Power, Fluide Energy, ADNA Corporation, Seaborg Technology and Lightbridge. The clear leaders in the field of molten salt reactors are the United States—where the MSR was invented—and China. The MSR has been a significant area of technical cooperation between the two countries.



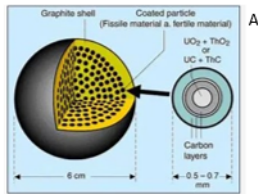
Generators IV webpage published by US Department of Energy

Pebble-bed high-temperature reactors

They get their name from the fact that the nuclear fuel is packed in tennis ball sized spheres ("pebbles"), rather than in the conventional fuel rods.

Each fuel ball consists of thousands of tiny fuel particles, each encapsulated in multiple layers of temperature resistant ceramic material, embedded in a sphere of graphite.

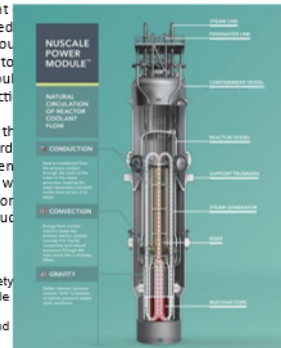
The reactor is designed to operate at high temperatures, with a correspondingly higher efficiency of electricity generation and potential to generate process heat for industrial use. It uses helium—an inert gas—as a coolant, preventing unwanted chemical reactions and further enhancing the system's safety.



Small Modular reactors

The focus is on developing compact standardized reactor modules that can be factory produced and transported to the plant site. The power plant would typically combine 2 or more units to reach the desired output. More could be added over time. "Mass production of reactor modules in centralized facilities would be much cheaper than construction at a site, and standard designs would streamline the licensing process. Also, the starting capital would be a fraction of what is required for a large plant, making this form of nuclear energy much more accessible.

The race is between both established nuclear supplier companies and a variety of newer ones. The SMR players include Westinghouse, GE Hitachi, NuScale, Advanced Reactor Concepts, L.L.C., and Chinergy. Whoever wants to win has to get their first SMR actually built somewhere. In this context China has an obvious advantage insofar as prototype SMR's have already been built there.



Mas, será provavelmente no período de maturação deste Vº Sistema Técnico-Económico (de 2000 até 2045/2050) que se vão dar os desenvolvimentos tecnológicos fundamentais em termos energéticos para se alcançarem dois avanços cruciais, estreitamente relacionados:

- O reator de fusão nuclear, com conversão direta de eletricidade.
- A propulsão por motores de plasma na exploração interplanetária.

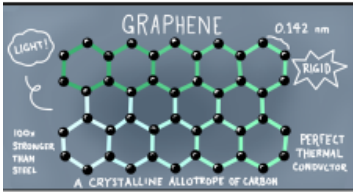
2.12.2. Materiais

Os materiais derivados do carbono vão desempenhar um papel central no Vº Sistema Técnico Económico, quer em termos de materiais estruturais, quer de materiais funcionais, incluindo fibras de carbono, nanotubos de carbono e **grafeno**. Com efeito, em termos de composição química, como elemento, o carbono pode ser carvão, grafite, fibra de carbono, diamante, nanotubos de carbono ou grafeno, consoante a forma como os átomos que o constituem se organizarem.

A importância dos materiais de base em carbono neste Vº Sistema Técnico-Económico resulta também de uma reorientação na utilização dos hidrocarbonetos que caracteriza este Sistema - uma maior utilização dos hidrocarbonetos na produção de materiais estruturais e funcionais com base no carbono, deixando a função energética para o hidrogénio ou para compostos ricos em hidrogénio. Destacamos seguidamente o **grafeno**

Figura 20

GRAPHENE



GRAPHENE properties

The vast amount of products, processes and industries which graphene could create a significant impact all stems from its amazing properties.

No other material has the breadth of *superlatives* that graphene boasts making it ideal for countless applications.

- It is 200 times stronger than steel, yet incredibly lightweight and flexible.
- It is electrically and thermally conductive but also transparent.
- It is the world's first 2D material and is one million times smaller than the diameter of a single human hair.

Graphene is the thinnest compound known to man at one atom thick (a million times thinner than a human hair), the strongest compound discovered (between 100-300 times stronger than steel), the lightest material known (with one square meter coming in at around 0,77 milligrams) and flexible.

It is also impermeable to molecules, and is extremely electrically and thermally conductive – graphene enables electrons to flow much faster than silicon. It is also a transparent conductor, combining electrical and optical functionalities in an exceptional way.


Graphene can be thought of as a giant molecule that is available for chemical modification, with potential for a wide variety of applications, ranging from electronics to composite materials. It is also relatively cheap to produce in comparison with other materials.

Fonte: Graphene Flagship

GRAPHENE

Graphene applications


Graphene is a disruptive technology; one that could open up new markets and even replace existing technologies or materials. It is when graphene is used both as an improvement to an existing material and in a transformational capacity that its true potential could be realised.




Membranes



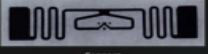
Composites and coatings




Energy



Biomedical



Sensors



Electronics

COMO OBTER GRAFENO A CUSTO MAIS BAIXO - UMA TECNOLOGIA A PARTIR DO GAS NATURAL

Levidian Graphene - Why our Graphene is different

“The Levidian Process delivers Graphene which is of the highest quality and consistency. Our unique process means no batch-to-batch variation, very small number of layers and a positive environmental impact.

Graphene has traditionally been made from graphite, a naturally occurring mineral. However, graphite must be mined and then shipped, or flown, to the manufacturer’s location, which brings inherent costs and has vast ecological consequences. In addition, the process of exfoliation to create graphene from graphite tends to yield inconsistent results leading to variations between batches and to results which do not deliver the impact expected.

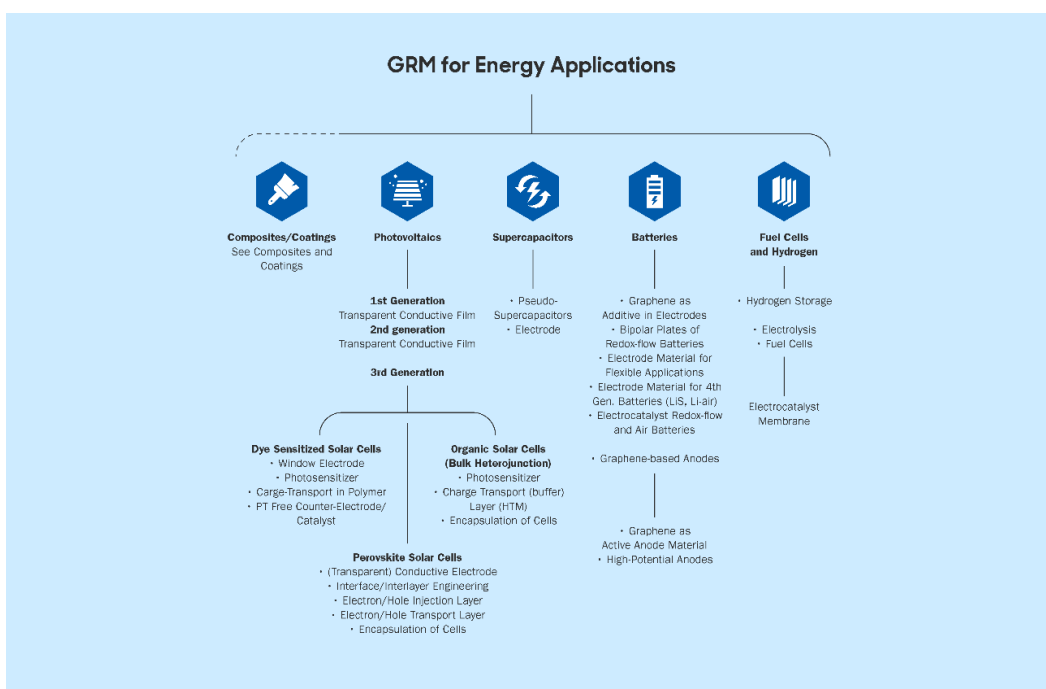
At Levidian, we use plasma chemistry. The Levidian Process uses methane as it’s key input. This methane is cracked which separates the carbon atoms. These carbon atoms then join together to build graphene from the bottom up. This leads to high quality, very thin graphene sheets. It also means we are able to tailor the graphene thickness and specifications by making small changes to the process. This means Levidian graphene is consistently high quality and consistently out performs expectations when applied to different materials.

Levidian Graphene is also carbon negative. By taking methane (the most harmful greenhouse gas) which would otherwise be in the atmosphere and running it through The Levidian Process, the carbon is locked into Graphene, therefore removing its harmful impact from the atmosphere. The result is better than net zero.

Fonte: site da Levidian

Figura 21

o grafeno na mudança do paradigma energético mundial



E é de assinalar também uma muito maior importância no Vº Sistema Técnico-Económico de três tipos de materiais funcionais:

- os materiais funcionais para a eletroquímica, nomeadamente para as células de combustível e novas soluções de baterias.
- os materiais para a fotónica - não só pela importância crucial das comunicações integralmente fotónicas, como na utilização de silício fotónico nos processadores a utilizar em novas arquiteturas de computação, quer ainda pelo papel muito mais relevante em aplicações militares e civis dos lasers.
- os materiais com estruturas heterodoxas vão ocupar um papel mais relevante na eletrónica e na fotónica.

Refira-se que - no futuro - os materiais supracondutores, por sua vez vão ganhar muito maior importância pela sua utilização como magnetos em reatores de fusão nuclear e na propulsão espacial por motores de plasma.

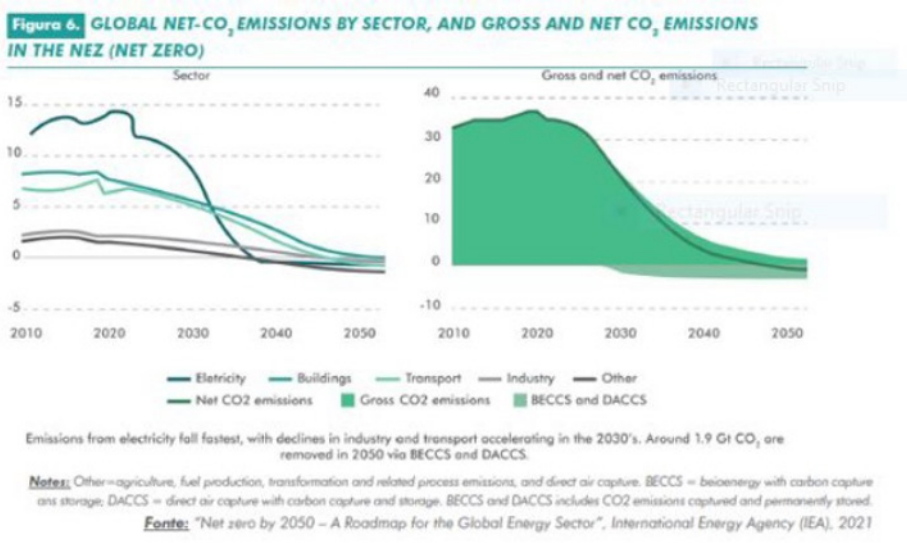
2.13. A mitigação das alterações climáticas e a exigência de uma mudança de paradigma energético

2.13.1. O road map para o setor da energia no horizonte 2050, da agência internacional de energia

A redução das emissões de CO₂ necessárias para que temperatura média do planeta não ultrapasse os 2°C em 2050 vai exigir uma evolução radical nas economias, como se pode compreender observando os Gráfico 1 e 2 extraídos do documento da Agência Internacional de Energia "Net zero by 2050- a Road Map for the energy sector" publicado em 2021.

Gráfico 3

O ROADMAP DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

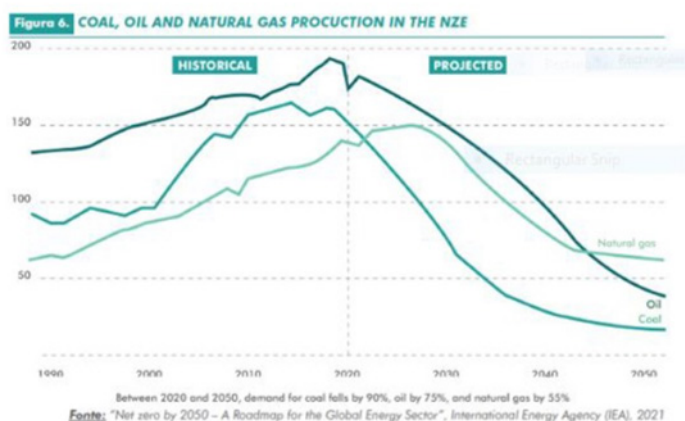


No Gráfico 3 destaca-se o papel principal das reduções de emissões pelo setor produtor de eletricidade que constitui uma infraestrutura base da generalidade das economias. Num segundo grupo – em que são exigidas reduções muito significativas - incluem-se os setores dos transportes e residencial. Reduções muito mais pronunciadas do que as que serão exigidas para o setor industrial

Do Gráfico 4 podem tirar-se conclusões quanto às consequências potenciais destas reduções setoriais de emissões, na produção de carvão, petróleo e gás natural no horizonte 2050. Sencio visível o contraste ente a subida na produção que se verificou de 1990 a 2020 do petróleo e gás natural (o carvão iniciou uma curva descendente a partir de 2010) e a radical redução de produção de petróleo e carvão -tendo o gás natural uma eventual estabilização na década de 2040

Gráfico 4

O ROADMAP DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2



2.13.2. As estratégias nacionais de mitigação das alterações climáticas e as suas opções tecnológicas - ou as “várias cores do verde”

O Acordo de Paris comprometeu a Comunidade Internacional a atuar no sentido de, até 2050, ter em curso um processo de redução drástica das emissões de CO2 que permitisse controlar a elevação da temperatura do planeta, situando-a abaixo dos 2 °C.

O Acordo de Paris deixou a cada Estado a responsabilidade de definir estratégias para atingir a sua quota parte nesse esforço, naturalmente sem qualquer indicação acerca das tecnologias disponíveis e a desenvolver para poder atingir essas metas. Os países vão ter de definir estratégias nacionais, fora de qualquer coordenação em termos do desenvolvimento em parceria de novas tecnologias. E as transformações que as metas definidas exigem e/ou implicam são muito significativas para os diversos tipos de economias mais relevantes no crescimento da economia mundial, em que se distinguem:

- a) As economias desenvolvidas.
- b) As grandes economias emergentes da Ásia.

- c) As economias energéticas – ou seja, as que têm na exportação de hidrocarbonetos a sua principal fonte de receitas externas.

Para cada um desses tipos de economias, a obtenção da neutralidade carbónica terá diferentes exigências e consequências a nível nacional. Assim:

No caso das economias energéticas – da Rússia às economias do Médio Oriente, da Ásia Central ou da África –, poderá significar uma quebra muito significativa de receitas obtidas no exterior, com base nas quais são financiados os respetivos orçamentos nacionais.

No caso de várias economias desenvolvidas, o encerramento de atividades, de instalações industriais e de infraestruturas energéticas exigidas pela redução das emissões traduzir-se-á num processo de destruição de capital numa escala e num intervalo de tempo que só costumava acontecer em guerras entre grandes potências e supõe, ao mesmo tempo, um investimento maciço em novas infraestruturas e novos equipamentos necessários para atingir a neutralidade carbónica, para não gerar uma queda significativa de atividade nessas economias.

No caso das economias emergentes – nomeadamente da Ásia – significará um grande desvio de investimento – que, de outro modo, seria orientado para o crescimento e para a melhoria do nível de vida das populações – em favor da substituição de infraestruturas e de instalações industriais e energéticas já existentes, com destaque para as que envolvam queima de carvão – o recurso energético mais abundante nos seus territórios.

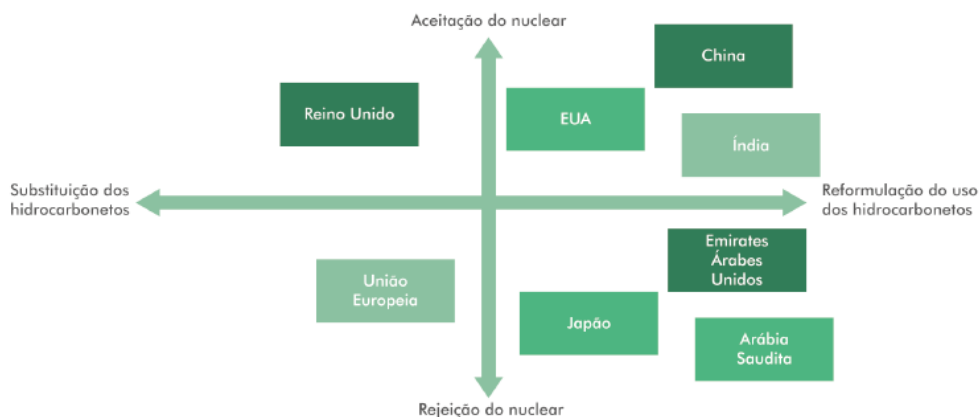
Existirão naturalmente diferentes estratégias nacionais a nível de Estados em cada um destes tipos de economias. Neste contexto:

- d) Considerou-se que todas as estratégias nacionais irão incluir uma componente muito significativa de recurso às energias renováveis e ao avanço na armazenagem da eletricidade produzida pelas energias renováveis.
- e) Considerou-se que as Estratégias irão divergir em torno de duas questões:
 - i. Na abordagem que os países irão fazer quanto à inclusão nesse *mix* da energia nuclear, quer sob forma das novas soluções da 4.ª geração dos reatores de fissão nuclear, quer pela antecipação no tempo da fusão nuclear compacta – Aceitação versus Rejeição.
 - ii. Na abordagem que esses países irão fazer dos hidrocarbonetos – nomeadamente do gás natural – utilizando-os para substituir o carvão em várias das suas presentes utilizações e para a obtenção de hidrogénio e de carbono em estado sólido, sem emissão de CO₂ – permitindo a difusão dos novos materiais baseados no carbono que caracterizam o sistema técnico-económico em desenvolvimento – Substituição versus Reformulação do seu Uso

Numa primeira aproximação às opções de um conjunto de Estados ou de organizações de Estados – EUA, Japão, Reino Unido, UE, China, Índia, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos –, obteve-se a distribuição dos países por quadrantes, constantes da figura 60, no que respeita ao *mix* de energias primárias que esses países incluem nas estratégias de mitigação das alterações climáticas e na mudança para um novo paradigma energético mundial – que designámos como “Os vários caminhos do Verde”

Figura 21

Estratégias de transição energética - distribuição dos países por quadrantes



Da observação da Figura XXI pode concluir-se que:

- Os países do 1.º e 2.º Quadrantes – duas economias desenvolvidas (EUA e Japão), uma economia emergente (China) e duas economias energéticas (Emiratos Árabes Unidos e Arábia Saudita) – estão a optar por incluir no seu novo *mix* a reformulação na utilização do gás natural e do petróleo, nomeadamente utilizando-os para extrair hidrogénio para exportação ou para intensa utilização interna na produção de eletricidade e na mobilidade.
- O que distingue o 1.º e o 2.º Quadrante é a inclusão do nuclear– neste caso, os EUA e as duas economias emergentes da Ásia – China e Índia – partilham da mesma vontade de incluir o nuclear (incluindo os reatores de 4.ª geração), e, no caso dos EUA, de incluir igualmente o avanço para a criação de um setor industrial de Fusão Nuclear, enquanto o Japão não lhe atribui esse papel central no futuro – embora vá ter que fazer pesados investimentos na recuperação da sua anterior aposta – de décadas – no nuclear.
- No 4.º Quadrante, o Reino Unido inclui o nuclear de 4.ª Geração, em combinação com as energias renováveis.
- No 3.º Quadrante, a União Europeia rejeita quer o nuclear quer a extensão e reformulação no uso do gás natural e, desse ponto de vista, contrasta com os restantes quadrantes, centrada como está nas energias renováveis e no hidrogénio – desde que verde – ou seja, obtido por eletrólise da água utilizando eletricidade de fontes renováveis.

A figura SEGUINTE ilustra o contraste entre a União Europeia e os EUA – estes investindo na criação de um setor industrial de fusão nuclear como suporte da eletrificação generalizada da economia.

Figura 22

Em busca de um novo paradigma energético mundial- Os EUA e soluções tecnológicas em competição pela fusão nuclear

1. Members of the fusion industry association



Fonte: "US Fusion Industry Association

2. Companies by location



3. Technical approach taken by global fusion companies

TECHNICAL APPROACH TAKEN BY GLOBAL FUSION COMPANIES

