

PEN 5002: Recursos e Oferta de Energia

Prof. Célio Bermann

10ª aula - Energia Geotérmica / Maremotriz e das Ondas / Hidrogênio (Célula combustível)

- . processos de conversão: aspectos tecnológicos
- . aspectos econômicos e ambientais

- . Grupo de alunos: usinas geotérmicas em operação/potenciais
(mundial, ALC e Brasil)
maremotriz e das ondas (mundial, ALC e Brasil)
hidrogênio / aplicações de células comb. (mundial,
ALC e Brasil)

Energia Geotérmica

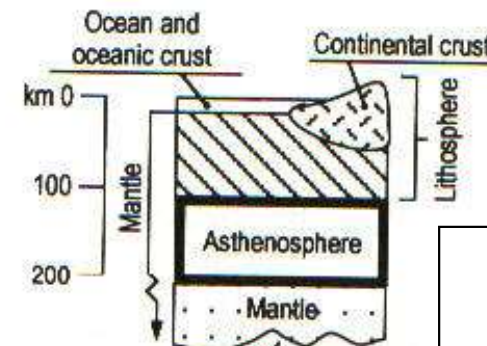
Energia Geotérmica

O núcleo da terra tem um nível térmico superior ao que apresenta na superfície
- pode alcançar até 4000 °C

Gradiente térmico:
denomina-se a
variação da
temperatura
com a profundidade

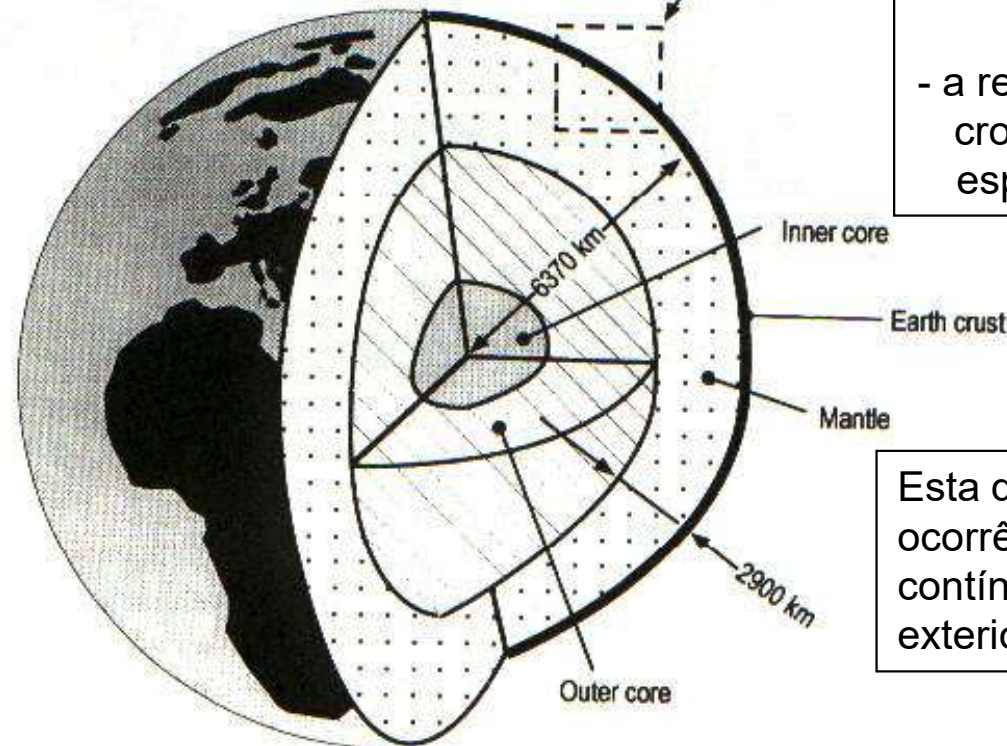
3 °C a cada 100 m

E. BARBIER



Entre o manto e a crosta
podemos encontrar
temperaturas desde
400 a 1000 °C

- a região externa, denominada
crosta terrestre possui uma
espessura média de 32 km



Esta diferença dá lugar à
ocorrência de um fluxo de calor
contínuo, desde o interior ao
exterior da Terra

Energia geotérmica



A energia geotérmica é, em senso lato, o calor contido no interior da Terra. A sua origem é associada à dissipação do calor primitivo originado no processo de formação do planeta e à desintegração de elementos radioativos contidos nas rochas, que continuamente se dissipa para o exterior através de três processos: condução, convecção e radiação.

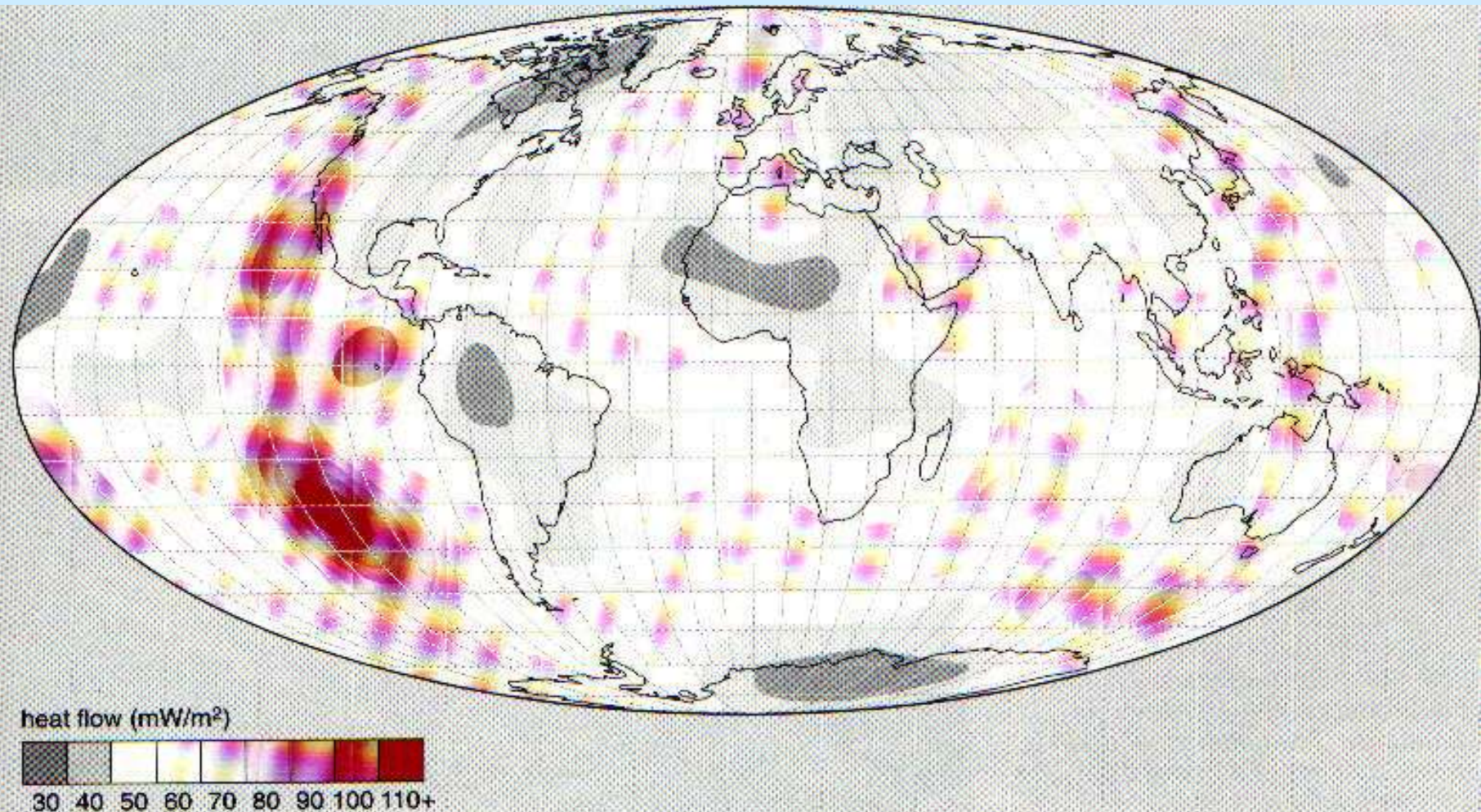
O fluxo de calor libertado à superfície, em termos médios, é de 82 mW/m^2 . Considerando a área da superfície da Terra, o fluxo de calor dissipado para o espaço é de cerca de 42 milhões de MWh. A temperatura estimada para o núcleo é de cerca de 4.000°C .

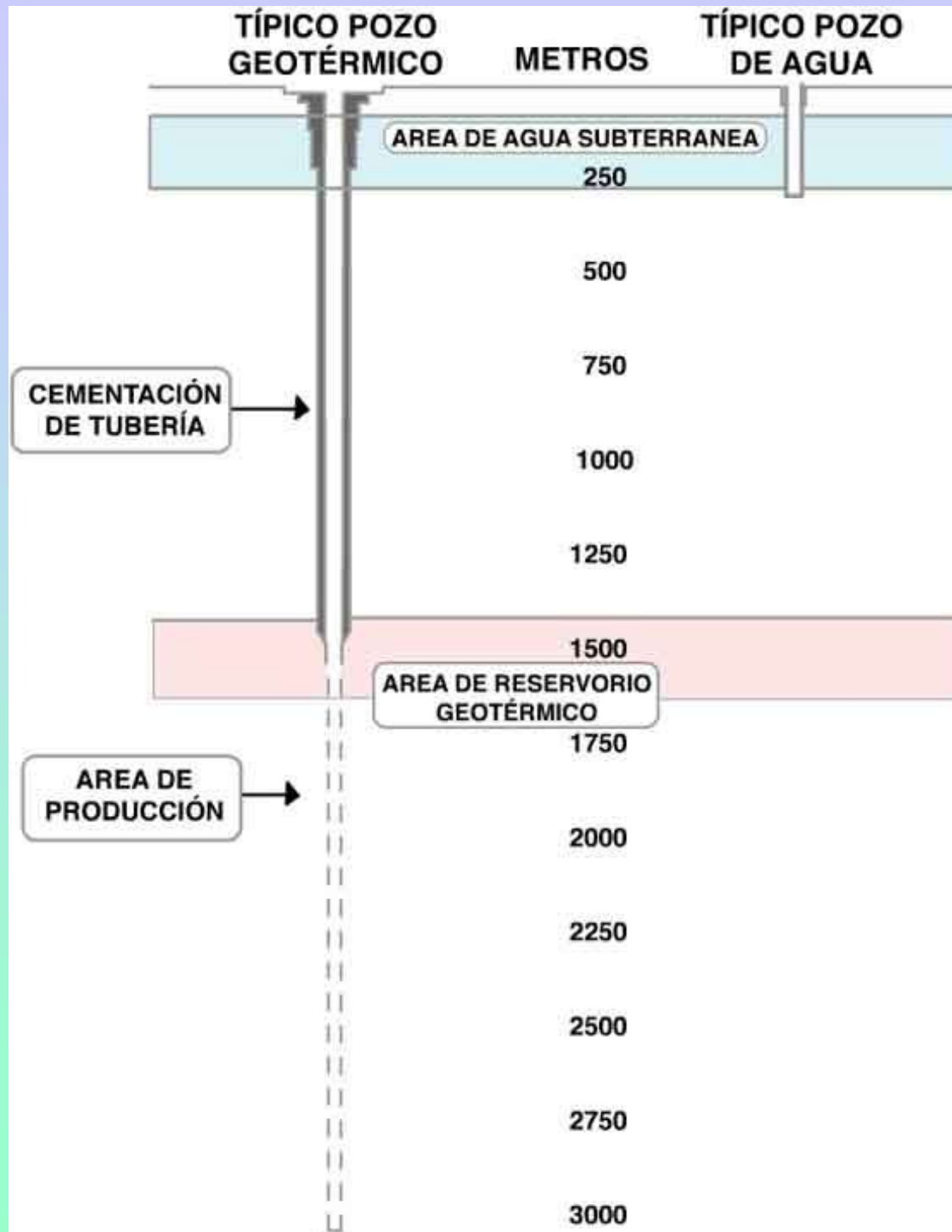
O gradiente geotérmico observado na crosta terrestre em áreas afastadas das zonas de vulcanismo ativo, estima-se geralmente da ordem de 33°C/km , enquanto que nas zonas geotermicamente anómalas este gradiente é muitas vezes superior a 100°C/km .

Algumas substâncias que constituem a crosta terrestre são substâncias radioativas, portanto a energia liberada no processo de desintegração é um dos fenômenos que contribui no mencionado fluxo de calor.

- o valor médio em profundidades passíveis de utilização é 60 mW/m².

As temperaturas que se alcançam no interior da Terra justificam o interesse por utilizar sua energia térmica, entretanto, o baixo fluxo de calor, devido essencialmente a baixa condutividade dos materiais que a constituem, torna muito difícil seu aproveitamento.





Geotermia para geração de eletricidade

Energía geotérmica de alta temperatura:

Existe nas zonas ativas da crosta terrestre (zonas vulcânicas, limites de placas litosféricas, dorsais oceânicas). A partir de aquíferos cuja temperatura está compreendida entre 150 e 400 °C, se produz vapor na superfície que enviando às turbinas, gera eletricidade. Parâmetros requeridos: uma camada composta de uma cobertura de rochas impermeáveis; um depósito, ou aquífero, de permeabilidade elevada, entre 300 e 2000 m de profundidade; rochas fraturadas que permitam uma circulação convectiva de fluidos, e a transferência de calor da fonte à superfície, a partir de uma fonte de calor magmático (entre 3 e 10 km de profundidade a 500-600 °C).

Energía geotérmica de temperaturas médias:

É aquela em que os fluidos dos aquíferos estão a temperaturas menos elevadas (70-150 °C). Por conseguinte, a conversão vapor-eletricidade se realiza com um menor rendimento, e deve utilizar-se como intermediário un fluido volátil (isopentano ou isobutano, que possuem um ponto de ebulição mais baixo que a água). Pequenas centrais elétricas podem explorar estes recursos.

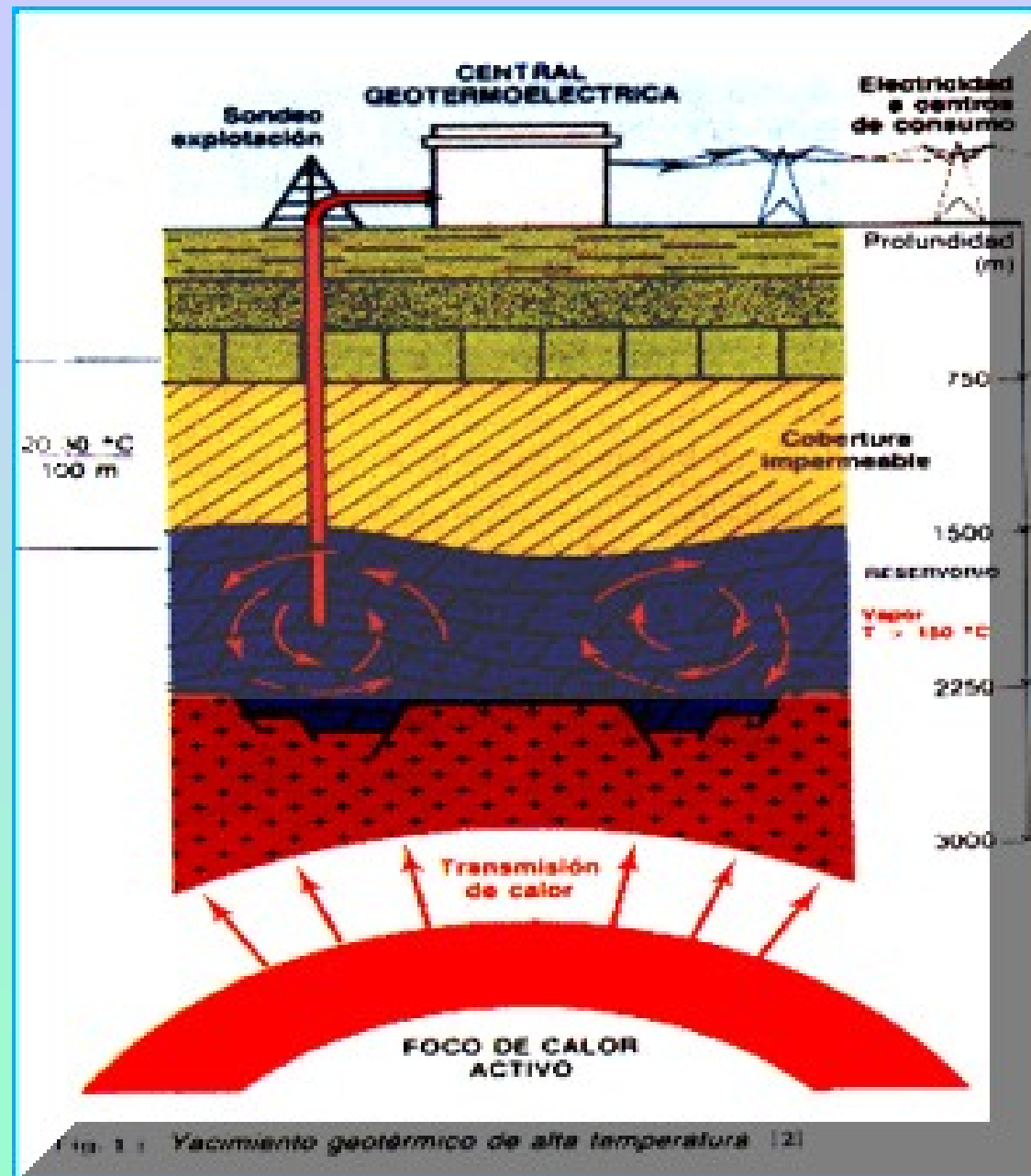
Tecnologias de geração

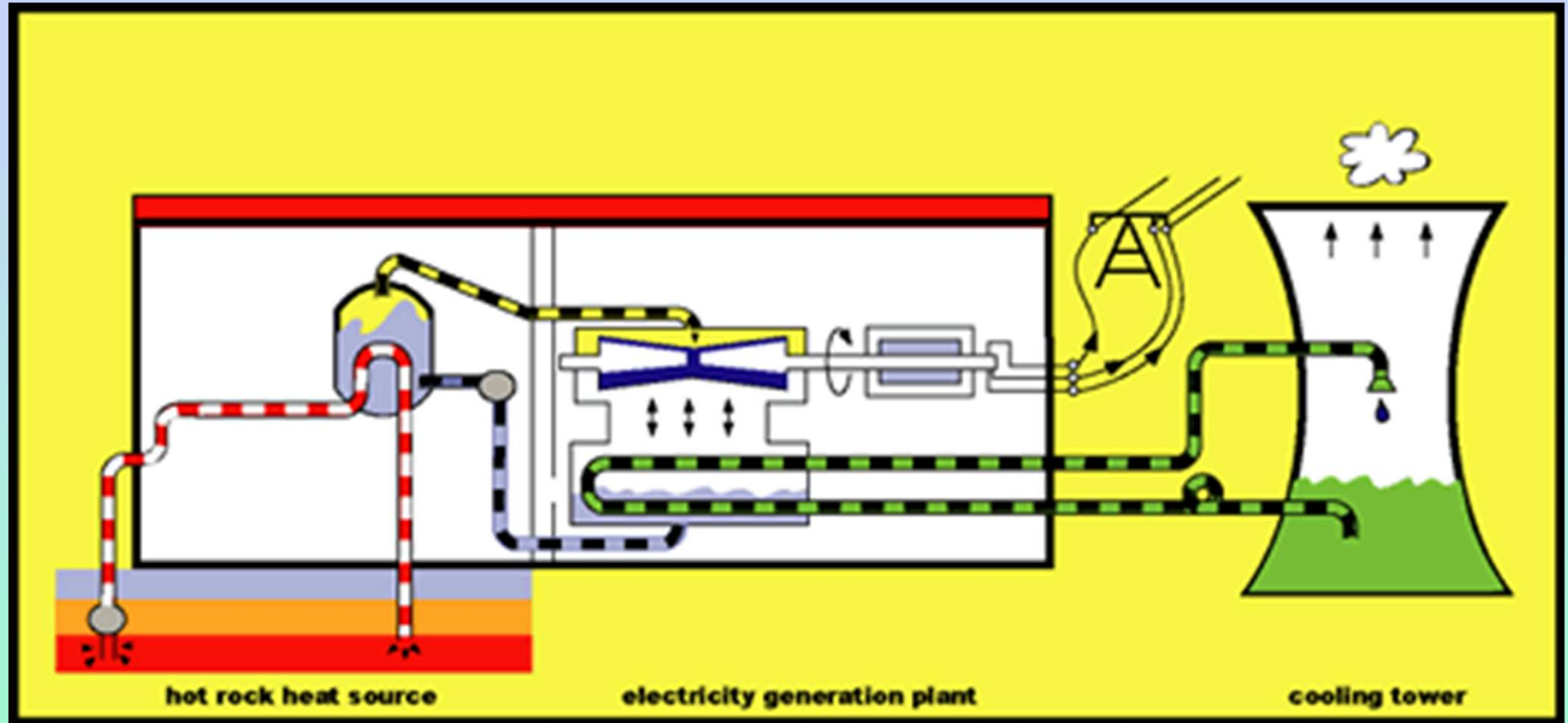
A produção de energia elétrica através do aproveitamento da energia geotérmica pode ser efetuada por vários processos de conversão de calor em electricidade. A tecnologia a adotar, ciclo convencional ou ciclo binário, depende essencialmente da entalpia e da composição do fluido geotérmico.

Nas tecnologias de ciclo convencional, a fase líquida é separada da fase gasosa e apenas é utilizado o vapor geotérmico que é expandido diretamente na turbina e posteriormente libertado para a atmosfera ou condensado em torres de refrigeração, obtendo-se maior rendimento do sistema no segundo caso.

No ciclo binário é utilizado um fluido de trabalho, orgânico ou não, para o qual é transferida a energia do fluido geotérmico. Nesta tecnologia é utilizado um fluido que se encontra num circuito fechado. Ao ser aquecido nos trocadores de calor, vaporiza e expande-se nas turbinas, posteriormente é arrefecido e condensado e por intermédio de uma bomba reinicia o ciclo.

Neste processo não existe contacto entre os fluidos geotérmico e de trabalho e as emissões para a atmosfera são muito reduzidas, visto que a quase totalidade do vapor é condensada e reinjetada com a água.





Dimensionamento de uma usina geotérmica:

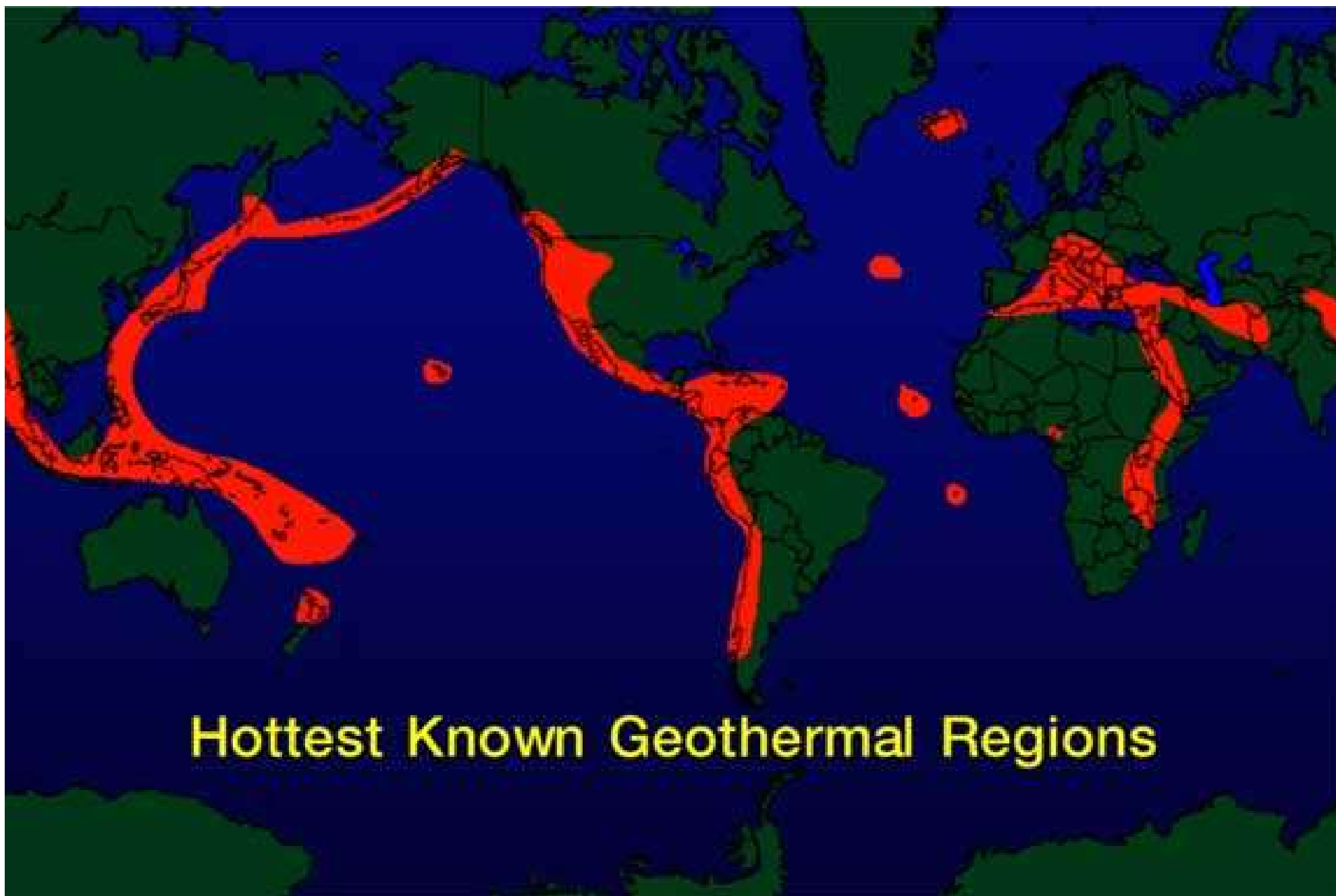
A energia útil de um reservatório depende da taxa do fluxo, temperatura, e calor latente específico do fluido.

A eficiência termodinâmica ideal para um ciclo recebendo calor a uma temperatura T_2 , rejeitando calor a uma temperatura T_1 e operando a uma temperatura de condensação T_0 é dada por:

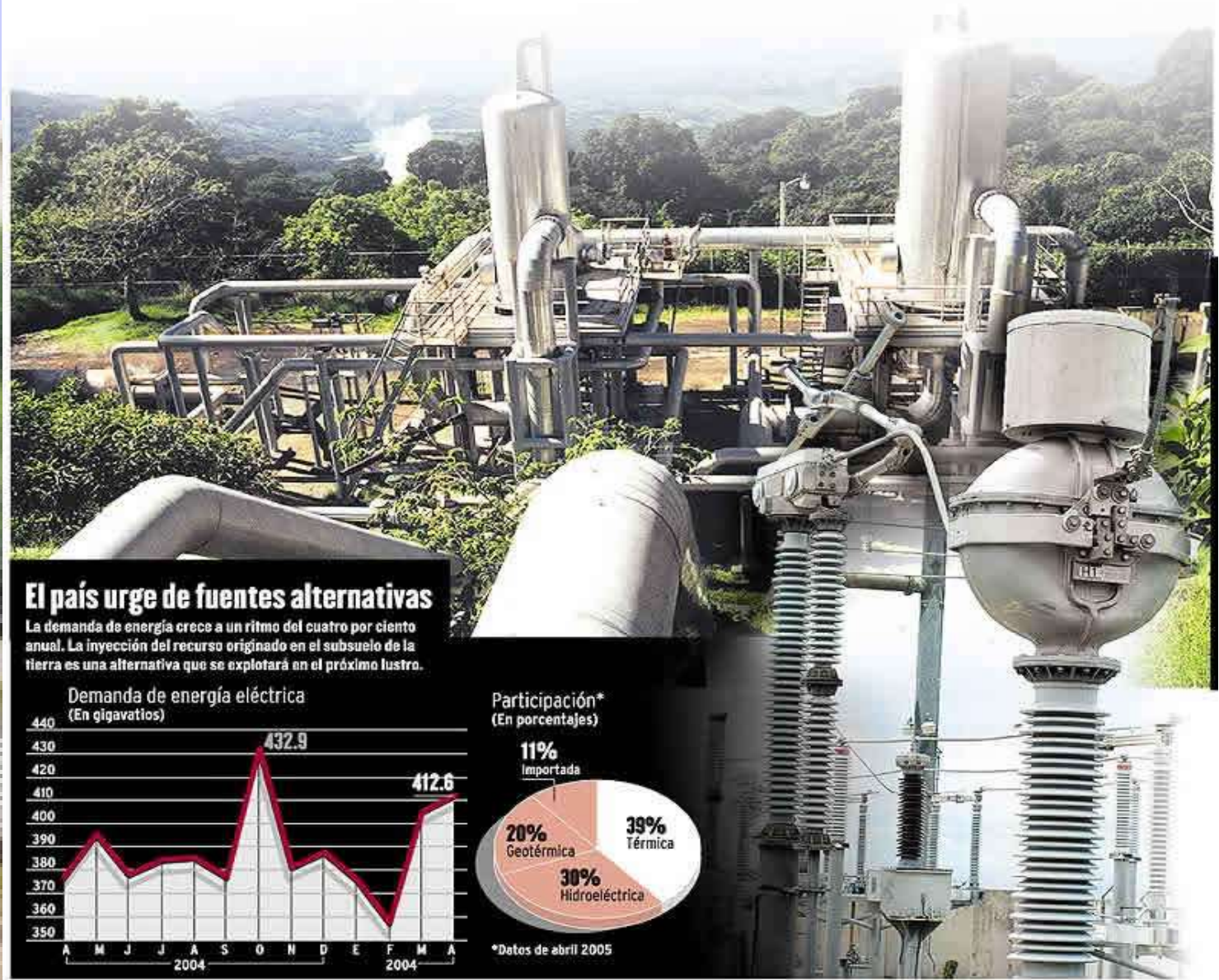
$$\eta_i = 1 - \frac{T_0}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Na prática, no entanto, para temperaturas na casa de 150-200 °C, eficiência de 60% de η_i são obtidas. Esse valor não leva em conta a energia requerida para fazer funcionar aparelhos auxiliares.

O tamanho da fábrica é então limitado pela saída termal e pela eficiência.



Regiões mais propícias para aproveitamento da energia geotérmica. Fonte: Geothermal Education Office, disponível em <http://geothermal.marin.org/GEOpresentation/sld015.htm>



El Salvador – Cap. Inst. Geotérmica: 204 MW, 26% da oferta



Figure 14: Location of Ahuachapán [A, 95 MW], Berlín [B, 109 MW] and Chinameca [C].

Fonte: Bertani, 2010



Berlín (109.4 MW)



Ahuachapán (95 MW)

Fonte: Lageo, 2011



Usina Geotérmica de Larderello (Itália)

**Location of Larderello [A, 594 MW],
Travale/Radicondoli [B, 160 MW], Bagnore [C,
20 MW] and Piancastagnaio [D, 68 MW].**



Fonte: Bertani, 2010



Usina Geotérmica de Larderello (Itália)

Usinas Geotérmicas

Custo de investimento:

O capital requerido para o desenvolvimento de um campo geotérmico varia de campo em campo, entre US\$ 2,000 a 8,000 por kW instalado*, incluindo o desenvolvimento completo do campo, tanto dos poços, separadores, vapordutos, turbina, gerador, transformadores, terreno, entre outros.

A vida útil de uma planta é de 30 a 45 anos

* O custo por megawatt instalado coloca as usinas geotérmicas entre as mais caras em termos de investimento inicial. [<https://renovables.blog/pt/energia-geotermica/>]

Custos de Operação e Manutenção:

Os custos de operação e manutenção de uma planta geotérmica variam entre US\$ 0.015 a US\$ 0.03 o kWh, dependendo do tipo de planta. As usinas geotérmicas operam entre 97 a 95% do tempo.

Avaliação econômica:

Com um preço de geração em torno de 30 mills/kWh, se calcula uma taxa de retorno de 17% para um projeto sem financiamento. Considera-se um investimento da ordem de US\$ 220.000.000 para uma usina geradora de 100MW. O desenvolvimento dos poços exige um custo médio de US\$ 2.7 milhões cada.

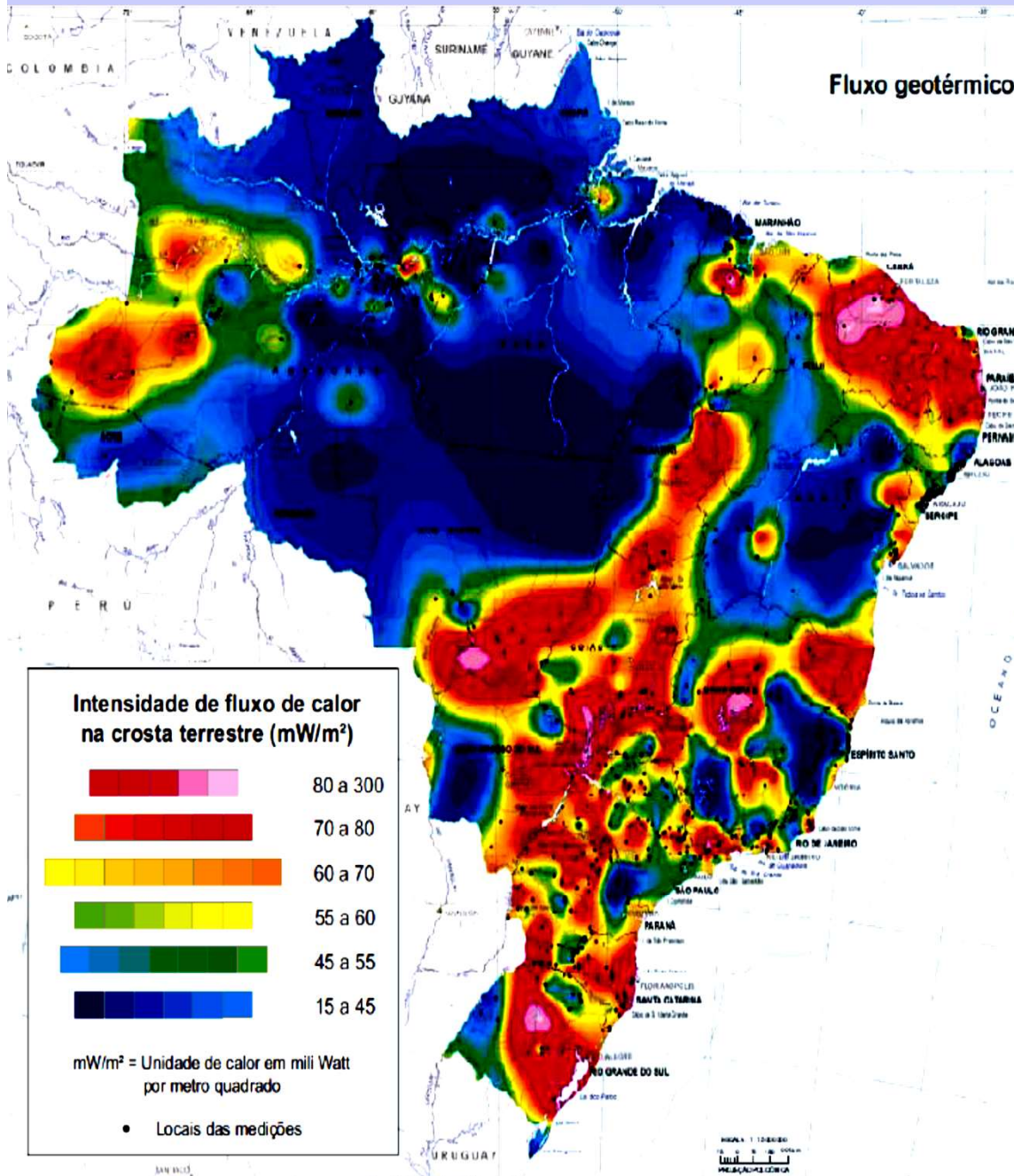
Usinas Geotérmicas

- ▶ A energia geotérmica é restrita, não sendo encontrada em todos os lugares, o que dificulta a implantação de projetos em determinadas localidades.
- ▶ Por causa dos altos índices de desperdícios que ocorrem quando o fluido geotérmico é transmitido a longas distâncias através de dutos, a energia deve ser posta em uso no campo geotérmico ou próximo deste . Dessa maneira o impacto ambiental é sentido somente nos arredores da fonte de energia.
- ▶ Geralmente os fluxos geotérmicos contém gases dissolvidos, e esses gases são liberados para a atmosfera, junto com o vapor de água. Na maioria são gases sulfurosos (H_2S), com odor desagradável, corrosivos e com propriedades nocivas à saúde humana.
- ▶ Há a possibilidade de contaminação da água nas proximidades de uma usina geotérmica, devido a natureza mineralizada dos fluidos geotérmicos e à exigência de disposição de fluidos gastos. A descarga livre dos resíduos líquidos para a superfície pode resultar na contaminação de rios, lagos.

Usinas Geotérmicas

- ▶ Quando uma grande quantidade de fluido é retirada da terra, sempre há a chance de ocorrer um abalo, e nesses lugares deve ser injetado água para não ocorrer o aluimento da terra.
- ▶ Os testes de perfuração das fontes são operações barulhentas, geralmente as áreas geotérmicas são distante das áreas urbanas. O calor perdido das usinas geotérmicas é maior que de outras usinas, o que leva a um aumento da temperatura do ambiente próximo à usina.

Mapa Geotérmico do Brasil



- 6.430.000 km² de bacias sedimentares
 - 4.880.000 km² terrestres (60% do total)
 - 1.550.000 km² na plataforma continental.
- Podem ser alvo de interesse para exploração do uso indireto pelas dimensões e especialmente pela presença de grandes províncias ígneas (inclusive do tipo geopressurizado*)

* Com água salobra quente localizada *em áreas grandes* (não em pontos quentes pequenos e localizados, próximos a superfície), *profundas* (3.000 m a 6.000 m) e normalmente *submetidas a pressões de até 10.000 psi*. A energia potencialmente recuperável desses reservatórios é imensa, porém a tecnologia para explorá-la ainda precisa ser desenvolvida.

Fontes:

IBGE, Observatório Nacional, Coordenação de Geofísica, Laboratório de Geotermia ([link](#))

CORRÊA, Adriana. "Energia geotermal – o que é, usos e presença no Brasil". IGEO ([link](#))

HINRICHS, R. A., KLEINBACH, M., REIS, L. B. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Cenage Learning, 2014, p. 723.

Energia Geotérmica no Brasil

- Principal obstáculo: alto investimento inicial de capital necessário para perfuração e instalação de sistemas de produção e distribuição, além dos custos de operação e manutenção do campo (HAMZA et al., 2005).
- O potencial de exploração em larga escala de água geotérmica de baixa temperatura para uso industrial e aquecimento espacial é considerado significativo nas partes centrais da bacia do Paraná onde as estações frias de inverno prevalecem sob condições climáticas subtropicais. (VIEIRA et al., 2015)

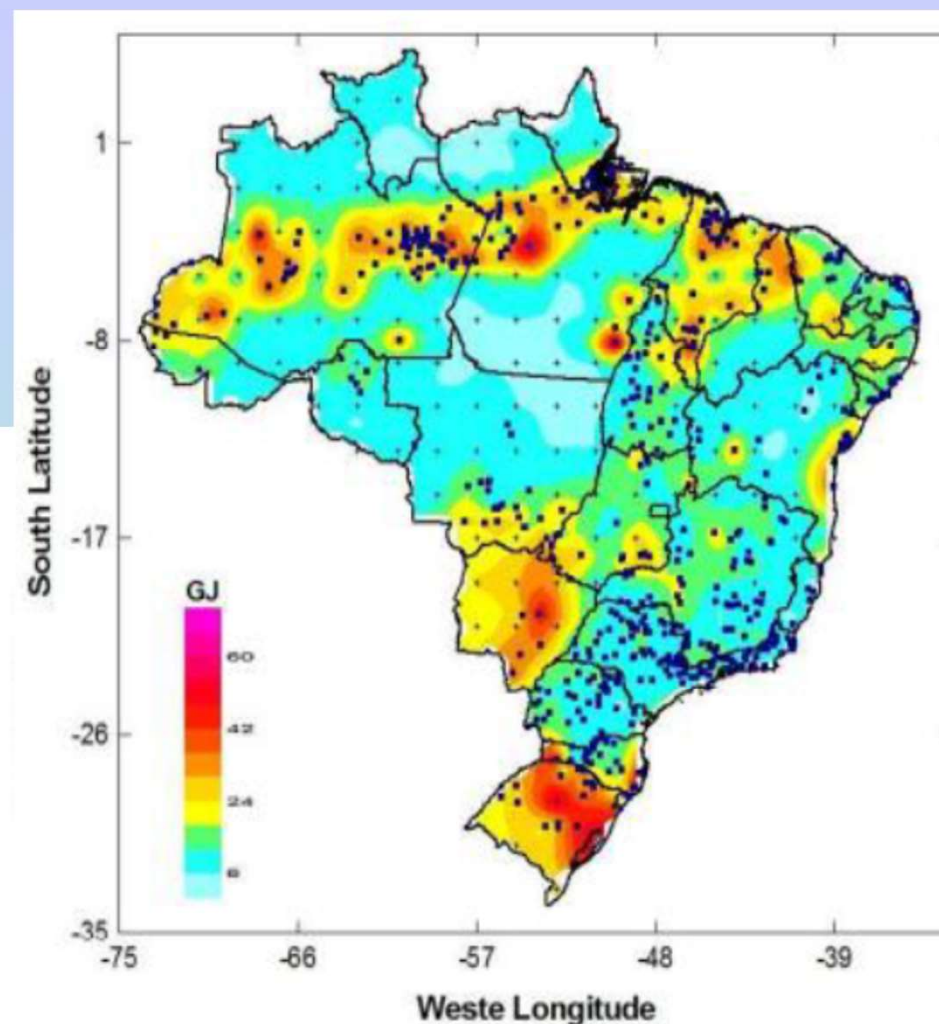


Figure (4). Map of recoverable resource (in GJ) referred to depth of 3 km

Fontes: HAMZA, V. M.; GOMES, A. J. L.; FERREIRA, L. E. T. Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil. *Proceedings World Geothermal Congress*, Turquia, abril 2005. ([link](#))

VIEIRA, F. P.; GUIMARÃES, S. N. P.; HAMZA, V. M. Updated Assessment of Geothermal Resources in Brazil. *14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro, agosto 2015. ([link](#))

Energia Maremotriz e das Ondas

Tipologia de aproveitamentos energéticos no Mar:

- Energia Térmica dos Mares
- Energia dos gradientes de salinidade (Osmótica)
- Energia Maremotriz
- Energia das Correntes
- Energia das Ondas

Potencial e participação na oferta energética

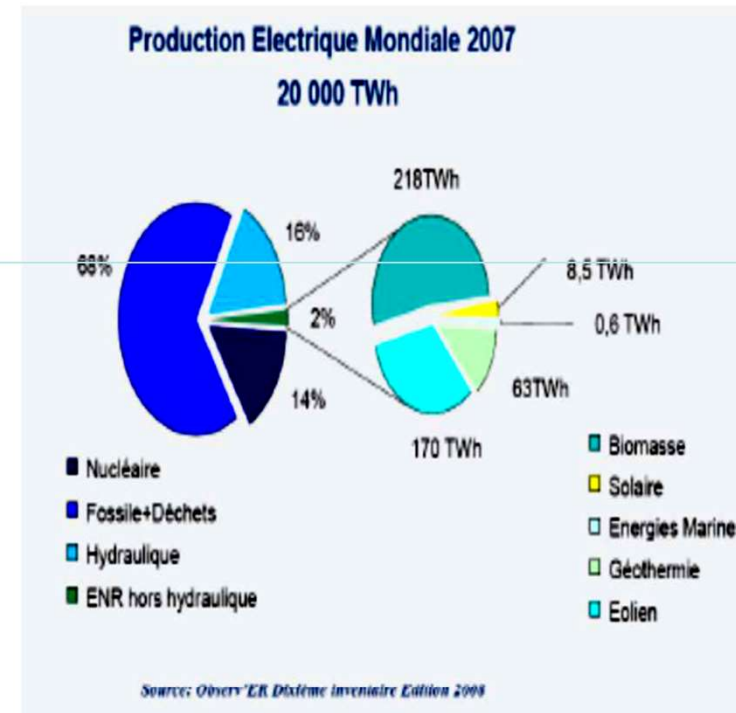
Enorme Potencial...

- Energia térmica dos mares: ~10.000TWh/ano
- Energia dos gradientes de salinidade (osmótica): ~2.000 TWh/ano
- Energia maremotriz: ~400TWh/ano
- Energia das correntes: ~450-800TWh/ano
- Energia das eólicas offshore: ~20.000TWh/ano
- Energia das ondas: ~8.000 a 80.000TWh/ano



No mínimo ~40.000TWh/ano

mas participação ainda modesta



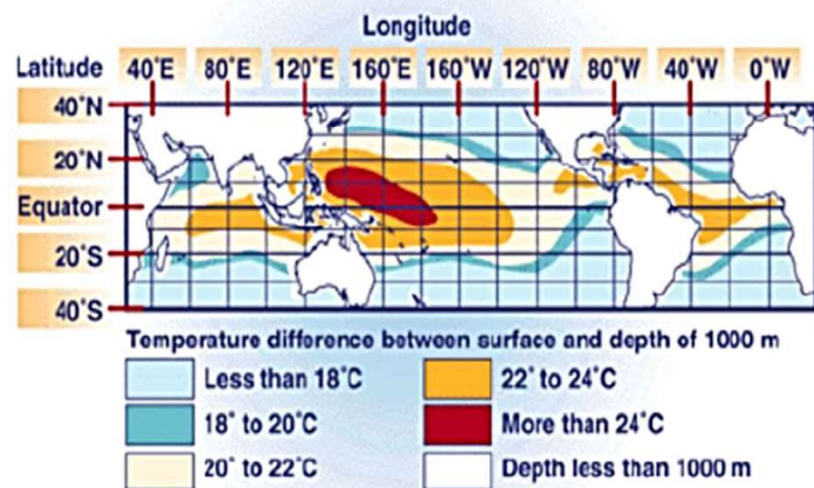
Fatores favoráveis ao desenvolvimento

- Muitos pontos de grande concentração populacional na costa
- Meta europeia de 20% em renováveis na matriz energética até 2020

Energia térmica dos mares

Princípio

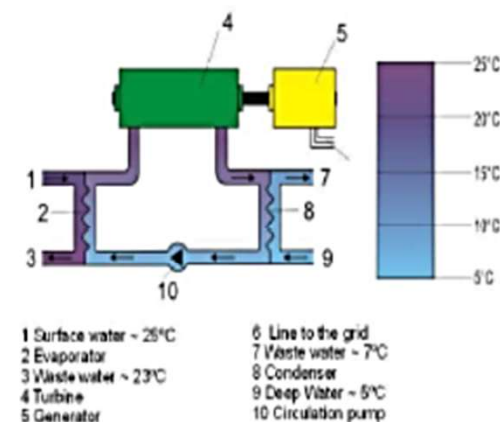
- Explorar a diferença de temperatura entre as águas da superfície e de grandes profundidades (~1000m)



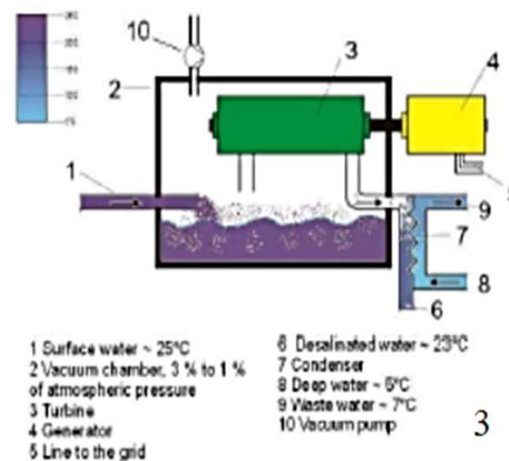
- Vantagem em relação às outras fontes:
 - Fonte contínua de energia
 - Associação a outros serviços (dessalinização, refrigeração...)

Tecnologias

Ciclo fechado



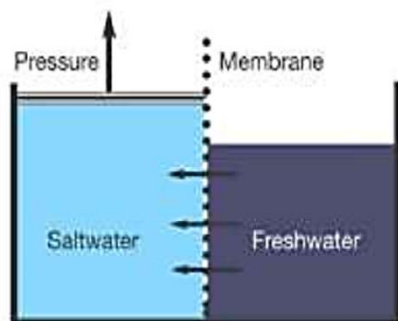
Ciclo aberto



Energia dos gradientes de salinidade (osmótica)

Princípio

- Explorar as diferenças de salinidade



- Os locais mais propícios são os encontros de rios com o mar

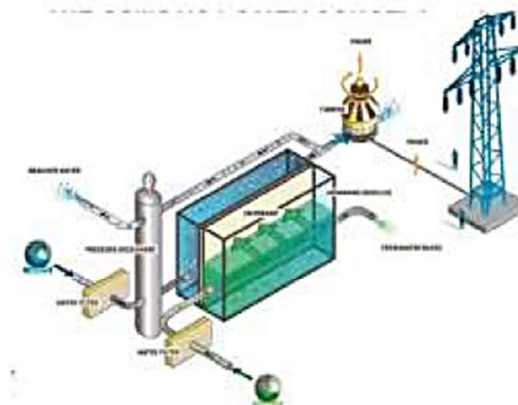


Obstáculos ao desenvolvimento:

- elevados custos de produção
- baixa capacidade das membranas

Tecnologias

Pressure retarded osmosis



Planta piloto na Noruega



Energia maremotriz

Princípios

- Derivada do movimento da água criado pelas marés, causadas pelas forças combinadas gravitacionais da lua e do sol
- Pode ser capturada de duas formas:
 - energia potencial (explorando mudanças no nível do mar)



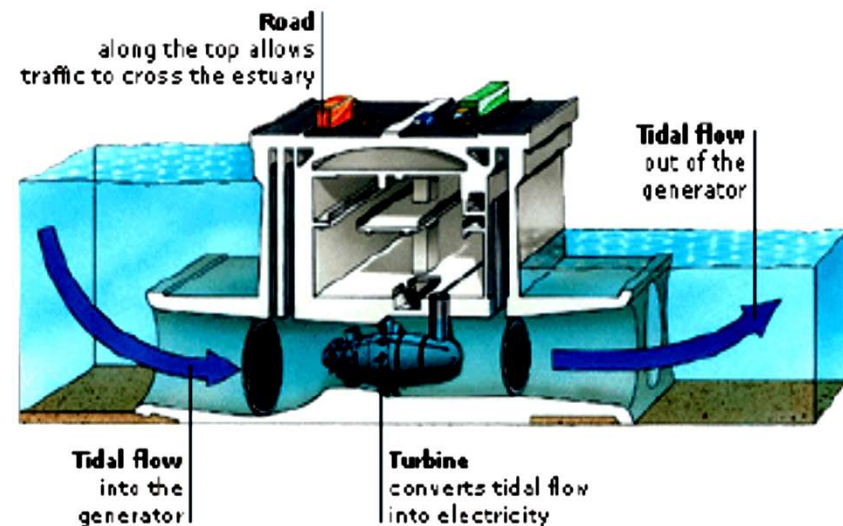
Barragens de maré

- energia cinética (explorando as correntes de maré)



Geradores a fluxo de maré

Tecnologia

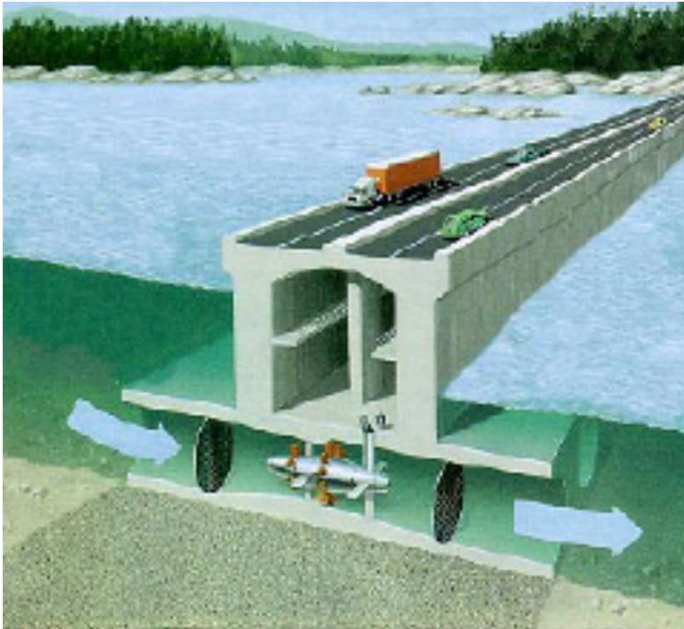


Energia Maremotriz

As ondas do mar possuem energia cinética devido ao movimento da água e energia potencial devido à sua altura. Energia elétrica pode ser obtida se for utilizado o movimento oscilatório das ondas. O aproveitamento é feito nos dois sentidos: na maré alta a água enche o reservatório, passando através da turbina, e produzindo energia elétrica, na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica.

A desvantagem de se utilizar este processo na obtenção de energia é que o fornecimento não é contínuo e apresenta baixo rendimento. As centrais são equipadas com conjuntos de turbinas bulbo, totalmente imersas na água. A água é turbinada durante os dois sentidos da maré, sendo de grande vantagem a posição variável das pás para este efeito. No entanto existem problemas na utilização de centrais de energia das ondas, que requerem cuidados especiais: as instalações não podem interferir com a navegação e têm que ser robustas para poder resistir às tempestades mas ser suficientemente sensíveis para ser possível obter energia de ondas de amplitudes variáveis. Esta energia é proveniente das ondas do mar. O aproveitamento energético das marés é obtido através de um reservatório formado junto ao mar, através da construção de uma barragem, contendo uma turbina e um gerador.

Sistema Maremotriz - *com reservatório*



Fonte: www.unisanta.com.br /Diretoria de Ensino/Santos

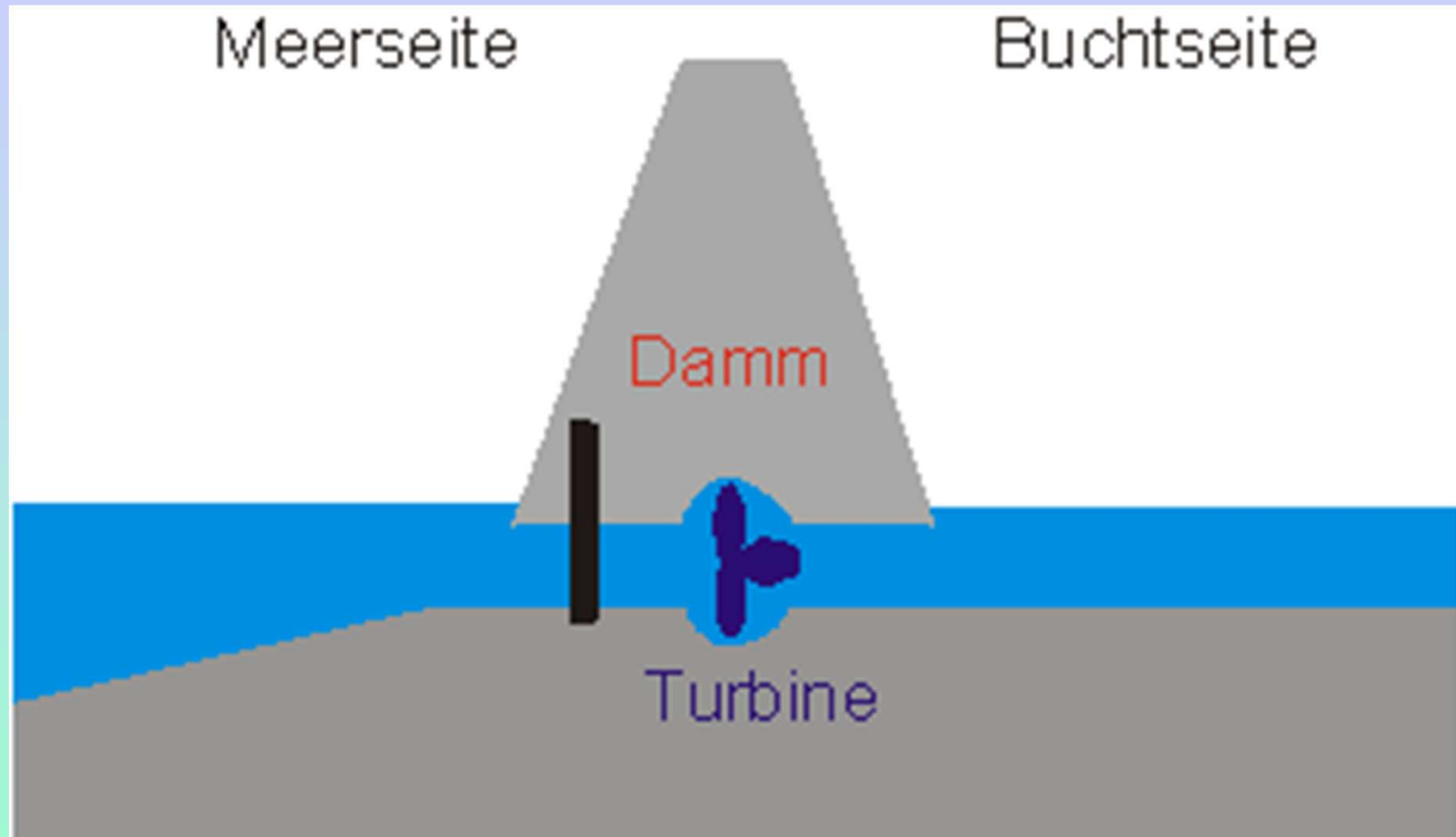
Aproveitamento energético:

- Reservatório junto ao mar - barragem;
 - Turbina (s) imersa (s) e gerador;
 - Sentido único ou sentido duplo;
-
- Movimento de fluxo das marés;
 - Movimentação comporta ligada a um sistema de conversão;
 - Geração de eletricidade



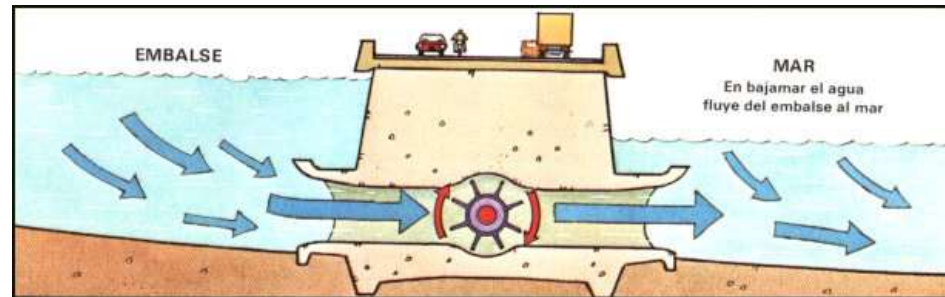
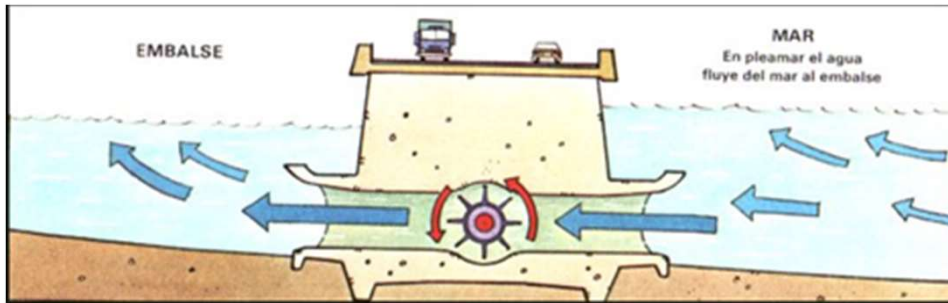
Fonte: www.unisanta.com.br /Diretoria de Ensino/Santos

Sistema Maremotriz - *com reservatório, sentido duplo*



Fonte: www.geocities.com.br

Sistema Maremotriz - *com reservatório*



Os Impactos das barragens

- ✓ Bloqueio / Redução da navegação;
- ✓ Reservatórios interferem em ciclos biológicos, impactos na biosfera;
- ✓ Impede a migração de peixes;
- ✓ Interferência na localização e tamanho das zonas intertidais;
- ✓ Alterações na turbidez da água - afetando fauna e flora locais;



Usina Maremotriz La Rance – França: 240 MW

A Usina de La Rance começou a ser construída em 1960, na costa da Bretanha (França). O sistema consiste em uma barragem de 332,5 m de comprimento que se estende por 750 m no estuário, e 22 km² de área da bacia, com o aproveitamento de um desnível de 8 m. A construção foi completada em 1967 com 24 turbinas tipo bulbo, de 5,4 m de diâmetro e capacidade de 10 MW cada unidade, conectada à rede de transmissão numa tensão de 225 kV.



Custo de geração: 18 cents €/kwh
contra 25 cents €/kwh da energia
nuclear.

Detalhe da turbina da Central Maremotriz La Rance (França)

FC = 40% (Geração anual: $240.000 \times 8760 \times 0,4 = 840.960.000$ kWh)



Project Name	Annapolis Royal Tidal Generating Station
Location	Annapolis River, Nova Scotia
Installed capacity	20MW
Technology Type	Tidal Impoundment Barrage
Project Type/Phase	Full scale experimental power plant
Year	Operational since 1984

Cálculo da Energia de uma Usina Maremotriz:

$$E_{\max} = \eta \times \rho \times g \times R^2 \times S$$

onde:

η = eficiência da conversão da energia mecânica em eletricidade

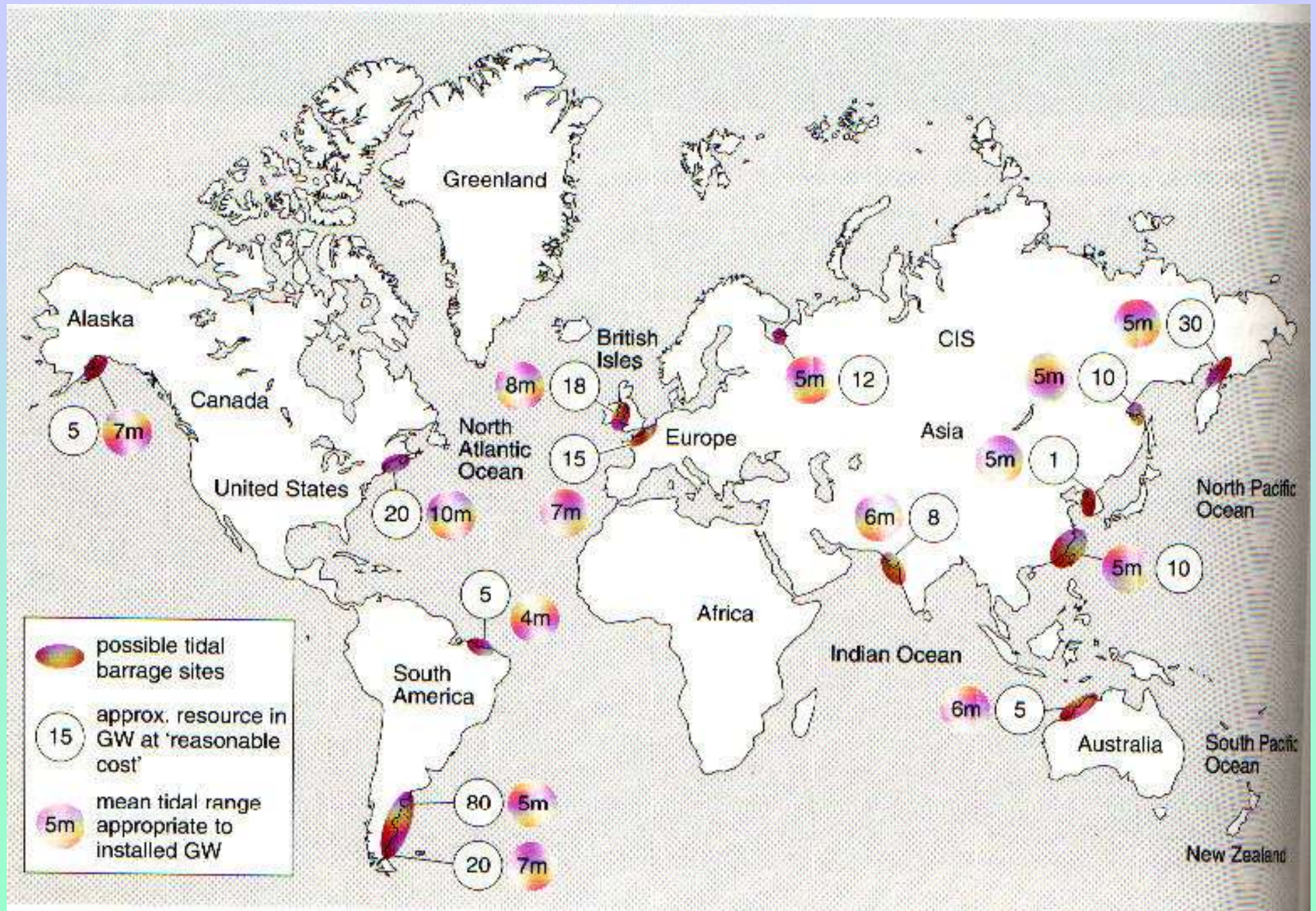
ρ = densidade da água do mar

g = aceleração da gravidade

R = altura da maré

S = área total da baía

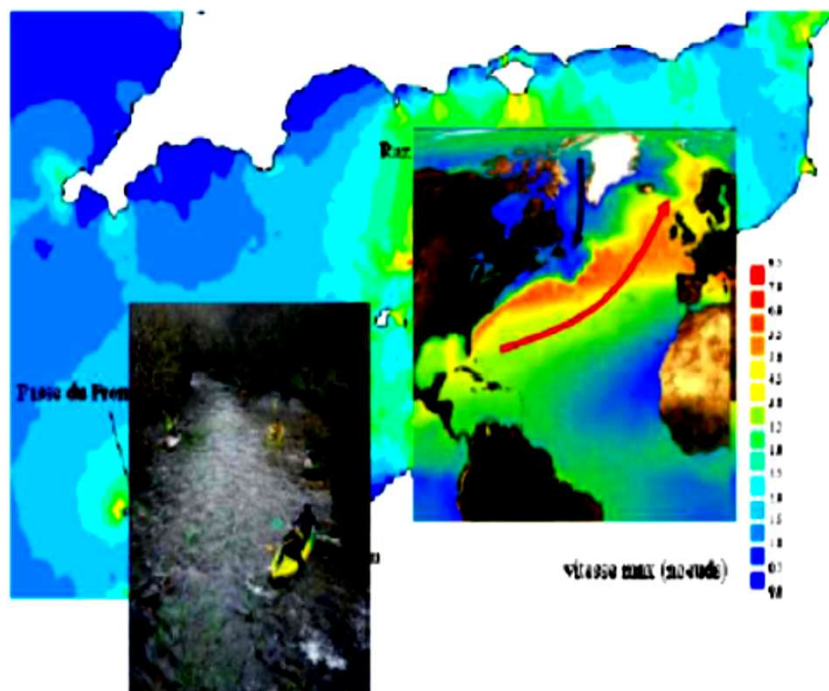
Energia das Marés



Energia das correntes

Princípio

- Semelhante às eólicas (energia cinética do fluido → energia mecânica → energia elétrica)
- Correntes de maré
- Correntes oceânicas
- Correntes fluviais



Tecnologias

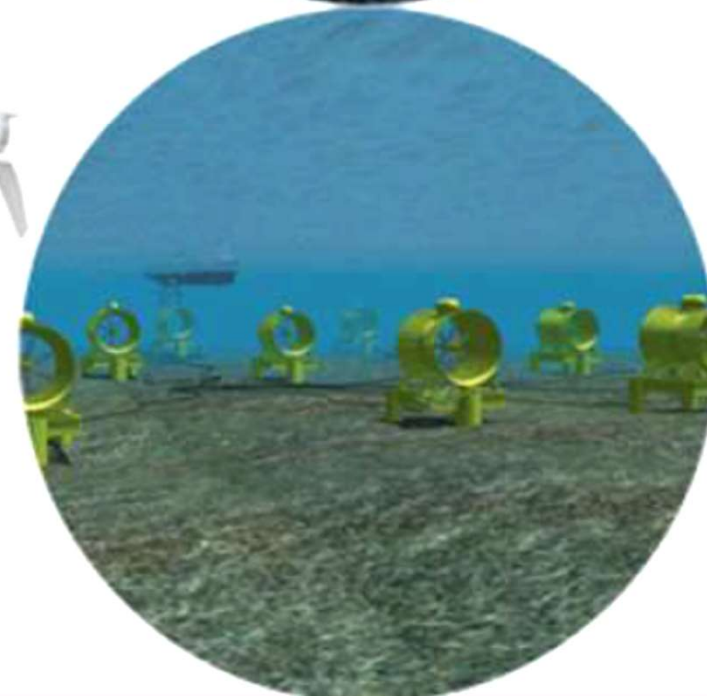
Conceito	Construtor e país	Potência e estado de desenvolvimento
Seagen	Marine Current Turbines Ltd País : R.U.	2X600kW : já instaladas no estreito de Strangford
Open Hydro	OPENHYDRO Group Ltd País : Irlanda	500kW : em testes e conexão à rede prevista para 2012 (projeto Paimpol-Bréhat, EDF)
Tidal Generation	Tidal Generation Ltd País : R.U.	500kW : em testes no EMEC (European Marine Energy Centre) desde dez 2010.
HS1000	Hammerfest Stroem País : Noruega	300kW: Protótipo instalado e operando 1 MW: deve ser colocado em testes em breve no EMEC (previsão verão 2011)
Sabella D10	Sabella SAS País : França	200-500kW : em busca de financiamento
Pentland Firth (semi-submersible turbine)	TidalStream País : R.U.	Até 10MW por instalação (6 rotores – 1,67MW por rotor) Protótipo pequeno em testes no rio Tâmesa (Londres)

Correntes de Marés

Tal como acontece com as centrais de energia de contenção de água das marés, as tecnologias de correntes de marés dependem das marés criadas pela influência gravitacional da lua e do sol nos mares. Contudo, enquanto a tecnologia de contenção de água das marés utiliza a subida e descida do nível das águas do mar e a *energia potencial* das alturas de água num reservatório, a tecnologia de correntes de marés utiliza a *energia cinética* das correntes que entram e saem das zonas de marés.

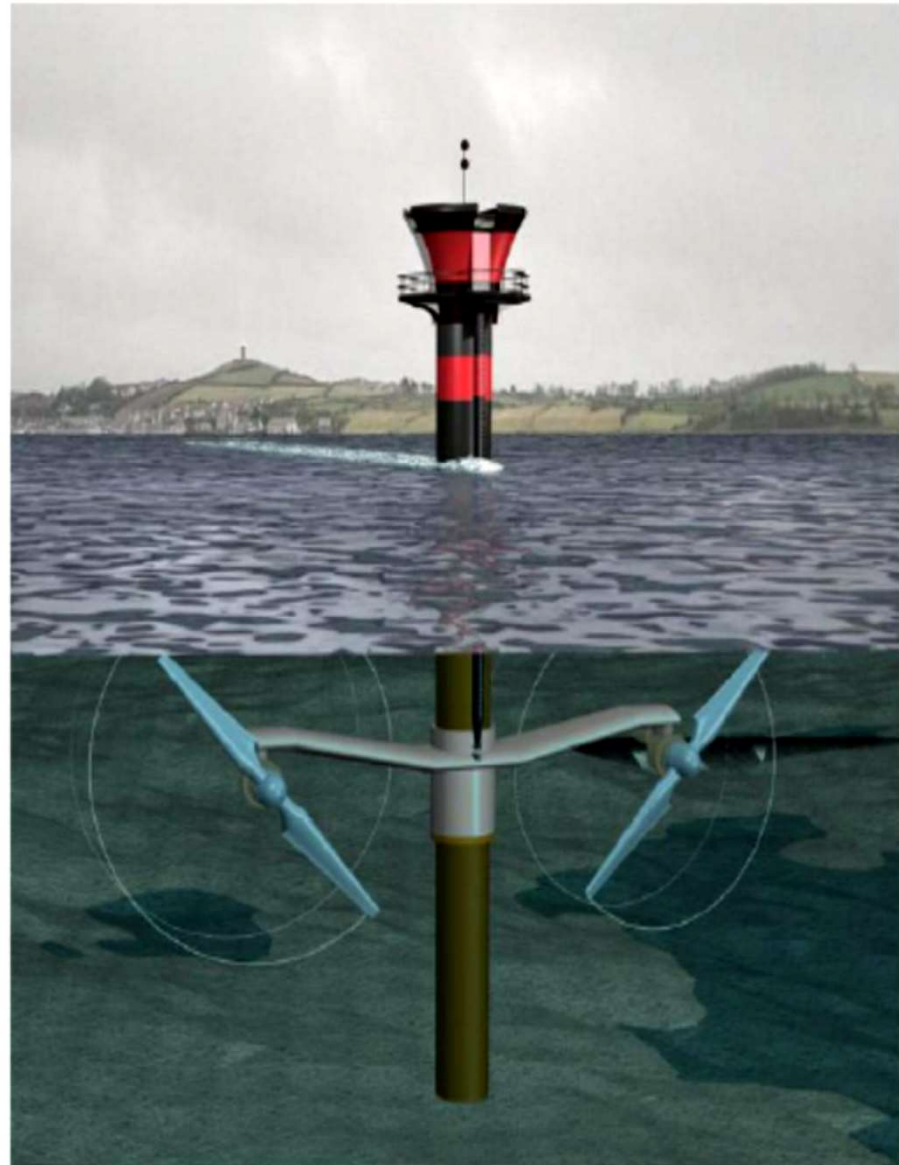
É possível aproveitar a energia das correntes marítimas. As turbinas marítimas têm poucos componentes; engrenagens de posicionamento orientam as lâminas das turbinas na direção da corrente marítima e um gerador acoplado ao eixo da turbina fornece a energia elétrica.

As tecnologias de correntes de marés estão concebidas para extrair a energia de fluxos rápidos nas correntes de marés.



Turbinas

- Sistema duplo de turbinas
- Pilar de suporte de 3m de diâmetro, 9 m acima do nível médio do mar
- Rotores: 8 m de raio e iniciam a geração de energia a 1 m/s de velocidade de corrente



Correntes de Marés

Project Name	Hammerfest Strøm
Location	Norway
Installed capacity	300 kW
Technology Type	Tidal stream horizontal axis turbine (Blue Concept)
Project Type/Phase	Prototype testing
Year	Installation, 17 September 2003

A Hammerfest Strøm desenvolveu a primeira turbina de marés com ligação à rede que foi instalada em Setembro de 2003 em Kvalsundet, ao largo de Hammerfest (Noruega), a uma profundidade de 50 metros. A turbina tem três pás de 10 metros que giram com as marés para produzirem mais de 300 kW de eletricidade e está assentada em tripés de 20 metros ancorados no fundo do mar.

Kvalsund county

- 1.088 habitantes; Consumo de eletricidade: ~ 21 GWh/ano
- Energia fornecida pela turbina 700 MWh/ano para 35 domicílios noruegueses

Meio Ambiente e Condições Naturais

- A parte mais estreita do estreito é de 400 m;
- A velocidade media da localidade é 1.8 m/s;
- a profundidade é de 50 m, permitindo barcos com calado de até 19 m.;
- artéria do trafego de navios;
- mamíferos marinhos são comuns;
- área utilizada para pesca pela população local;

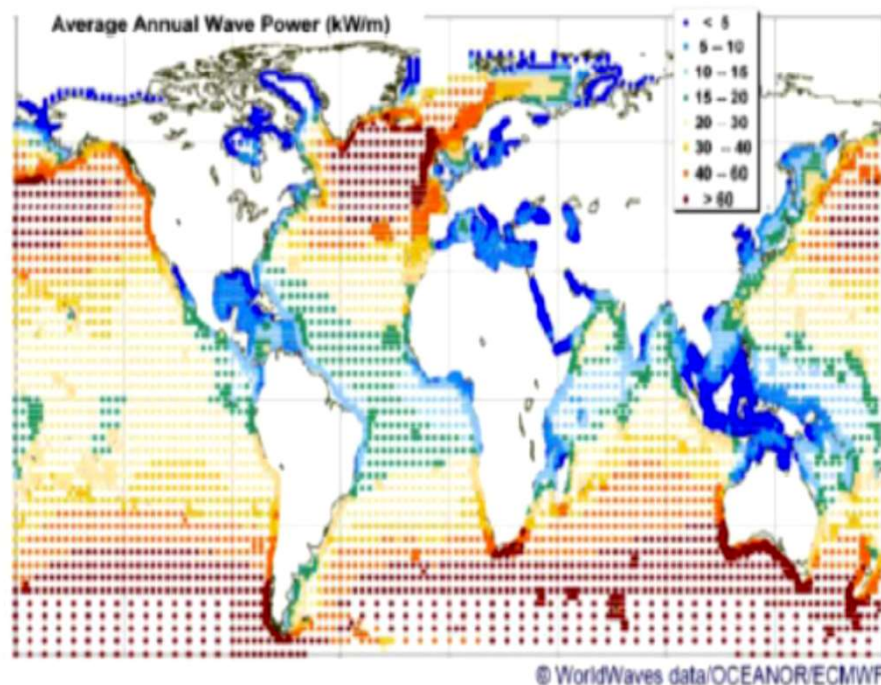


Deployment of the first grid connected marine turbine in Kvalsundet (Norway)

Energia das ondas

Princípio

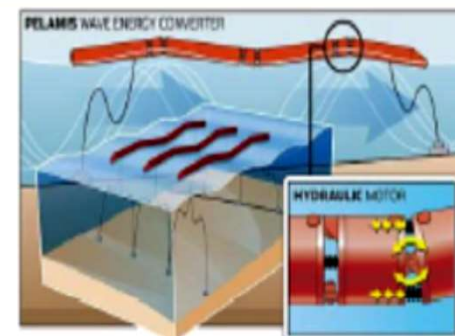
- Sistemas variam muito em forma, tamanho e princípio operacional
- Localidades “complementares” à ETM



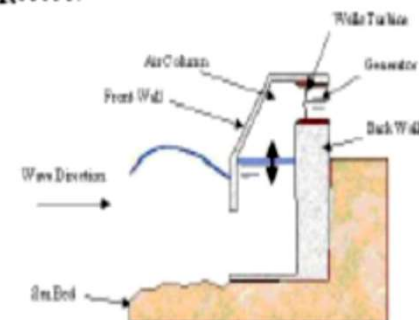
© WorldWaves data/OCEANOR/ECMWF

Tecnologias

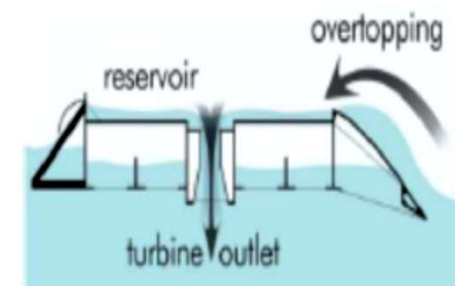
- Corpos oscilantes



- Coluna de água oscilante



- Overtopping

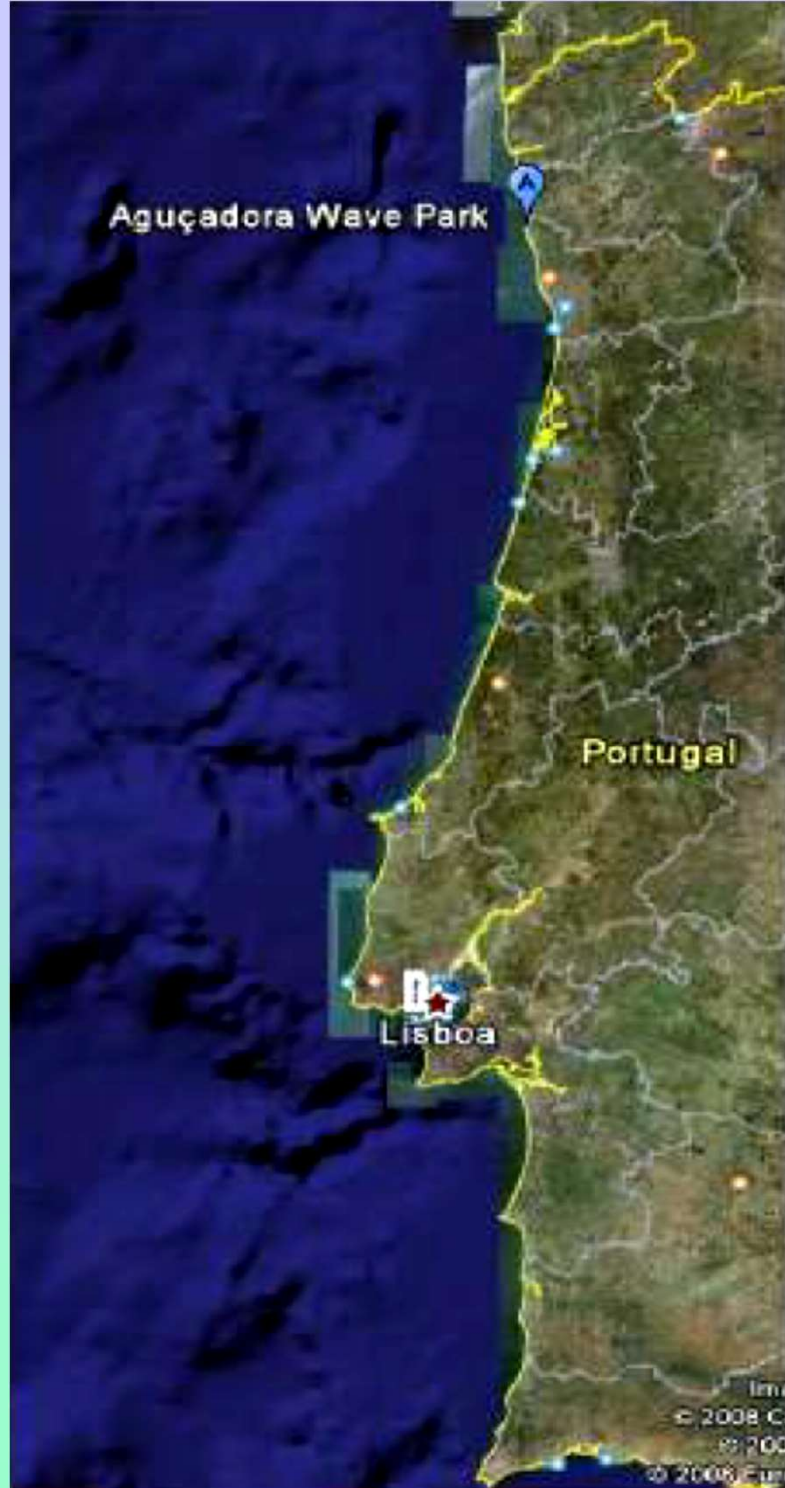


Energia das Ondas:

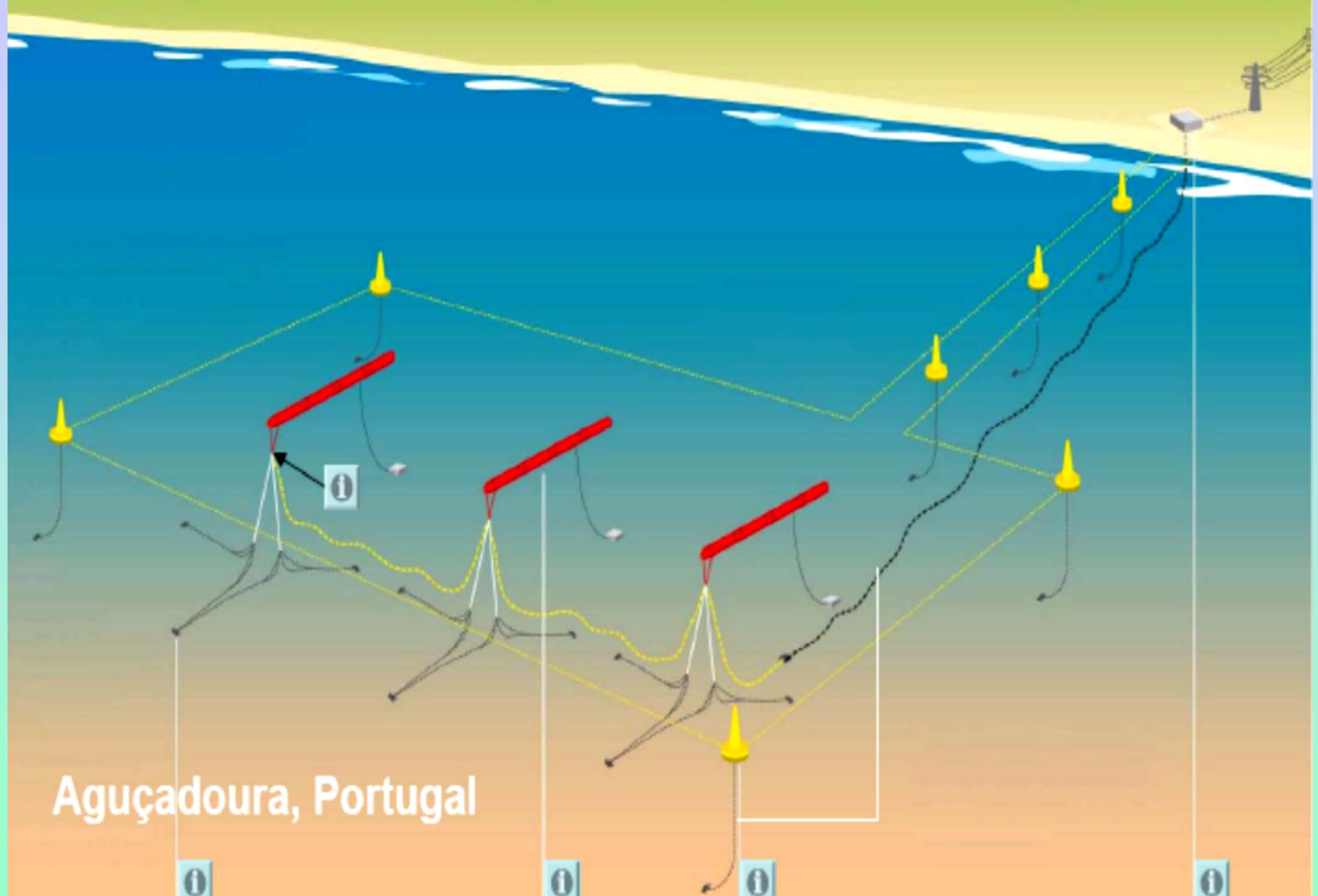
Os geradores utilizam o quase incessante movimento das ondas para gerar energia. Uma câmara de concreto construída na margem é aberta na extremidade do mar de maneira que o nível da água dentro da câmara suba e desça a cada onda sucessiva. O ar acima da água é alternadamente comprimido e descomprimido, acionando uma turbina conectada a um gerador

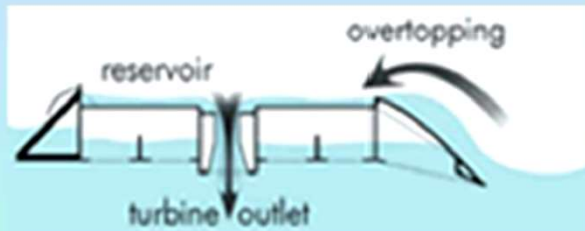
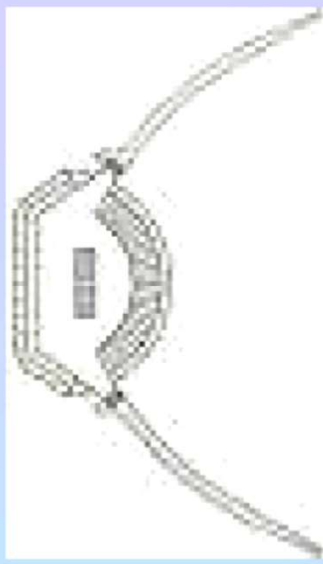
Project Name	Okeanós: Pelamis wave energy farm Portugal Project Three P1-A Pelamis machines
Location	Aguçadoura/ Póvoa de Varzim, Northern Portugal
Installed capacity	3 * 750 kW = 2.25 MW; plans exist to extend to 30 devices (22.5 MW)
Technology Type	Pelamis: Floating articulated attenuator
Project Type/Phase	Commercial contract
Year	Construction of devices terminated in 2006, later assembly and partly testing by early 2008; installation summer 2008

O parque de ondas Aguçadoura utiliza três conversores Pelamis Wave Energy, os quais são estruturas cilíndricas articuladas, semi-submersas e compostas por secções ligadas por juntas articuladas. As máquinas têm um comprimento total de aproximadamente 142 metros e um diâmetro de 3,5 metros, pesando cada uma aproximadamente 700 toneladas. Em cada um dos três módulos de potência existem dois geradores com potência nominal de 125 kW. Cada máquina tem assim uma potência global de 750 kW.



ESQUEMA DO PARQUE DE ONDAS DA AGUÇADOURA





Energia-das Ondas - Wave Dragon (Dinamarca)

A usina Wave Dragon produz energia elétrica a partir das ondas do mar. O protótipo está em fase de ensaio e possui uma capacidade de 4 – 7 MW cada unidade.

Esta construção, que em sua totalidade alcança 250 metros, é composta por dois braços de 126 metros que encaixam a força das ondas até o corpo central, construído em aço de 8 mm de espessura, pesando mais de 150 toneladas, ao que se deve somar outras 87 toneladas de peso da água, obtendo assim o peso ideal para que a plataforma possa trabalhar.

Apesar das aparências seu funcionamento é muito simples. As ondas são dirigidas até o corpo central mediante os braços da plataforma, onde a água recolhida faz girar as turbinas instaladas. É a rotação das turbinas que gera a eletricidade. De modo que a localização da planta, seu tamanho e sua capacidade dependerão, em grande medida, das circunstâncias e da força das ondas em cada lugar.







Usina piloto do Porto de Pecém, Fortaleza (CE).



A **Usina piloto do Porto de Pecém**, Fortaleza, Ceará, desenvolvida pela COPPE/UFRJ, possui dois braços mecânicos com 22 metros de comprimento com duas boias de 10 metros de diâmetro nas pontas. As boias, ao serem movimentadas pelas ondas, provocam a subida e a descida dos braços que acionam uma bomba para pressurizar água doce e armazená-la num acumulador conectado a uma câmara hiperbárica. A pressão na câmara equivale à das colunas d'água das usinas hidrelétricas. A água altamente pressurizada forma um jato responsável pela movimentação da turbina, que, por sua vez, aciona o gerador de energia elétrica. Essa planta tem capacidade para produzir 50 kW de eletricidade.

Energia das Ondas:

Dada uma onda de largura L , a potência disponível em um ciclo de onda é dada por:

$$P = \frac{P}{L} = \rho \times g^2 \times h^2 \times T / 32 \quad \P$$

onde:

ρ = densidade da água do mar

g = gravidade

h = amplitude total da onda (do ponto mais alto para o ponto mais baixo)

T = período da onda em segundos (igual ao inverso da frequência)

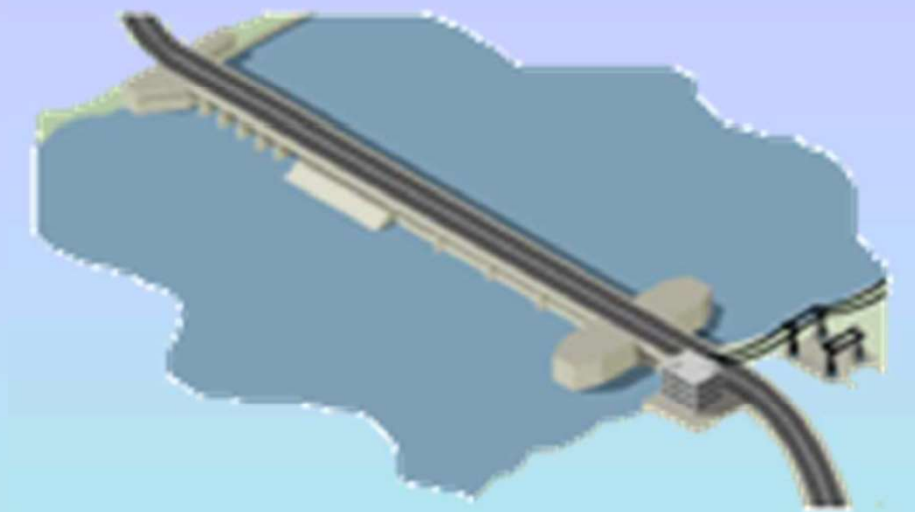
A Energia das Ondas: impactos

As interações ambientais das tecnologias de energia das ondas são limitadas, tendo em conta que a seleção dos locais é feita de modo prudente e que o seu desenvolvimento em locais sensíveis é feito de modo controlado. O ruído pode ter uma interação potencialmente negativa em zonas com cetáceos, mas ainda não existem provas disso e é necessário estudar esta questão mais detalhadamente. Existem outros impactos resultantes da instalação de cabos elétricos e dos sistemas de funcionamento e de ancoragem, mas são controláveis.

A interação mais problemática pode ser a utilização do espaço do oceano, o que pode competir com atividades de pesca e de navegação. A interação visual pode ser significativa para os dispositivos na linha costeira e perto da costa, todavia, espera-se que estes tipos de dispositivos tenham apenas uma contribuição marginal na exploração deste recurso.

Um argumento potencialmente forte para as sinergias entre a energia das ondas e as pescas é que a criação de reservas será um efeito secundário de grandes parques de energia das ondas, que, em geral, estarão fechados ao tráfego marítimo numa área de vários quilómetros quadrados.

A Energia do mar



Energía del Mar

Las mareas y las olas producen fuerzas que pueden utilizarse
para la generación de energía eléctrica

pulsa

Para acesso ao infográfico:

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/02/23/140205.php

Início > Artigos > A energia que vem dos mares

A energia que vem dos mares

Por Célio Bermann, professor do Instituto de Energia e Ambiente da USP

Artigos - <https://jornal.usp.br/?p=512993>

04/05/2022 - Publicado há 2 anos



ESPECIAL | OCEANO



Célio Bermann –
Foto:
Reprodução/IFA-USP

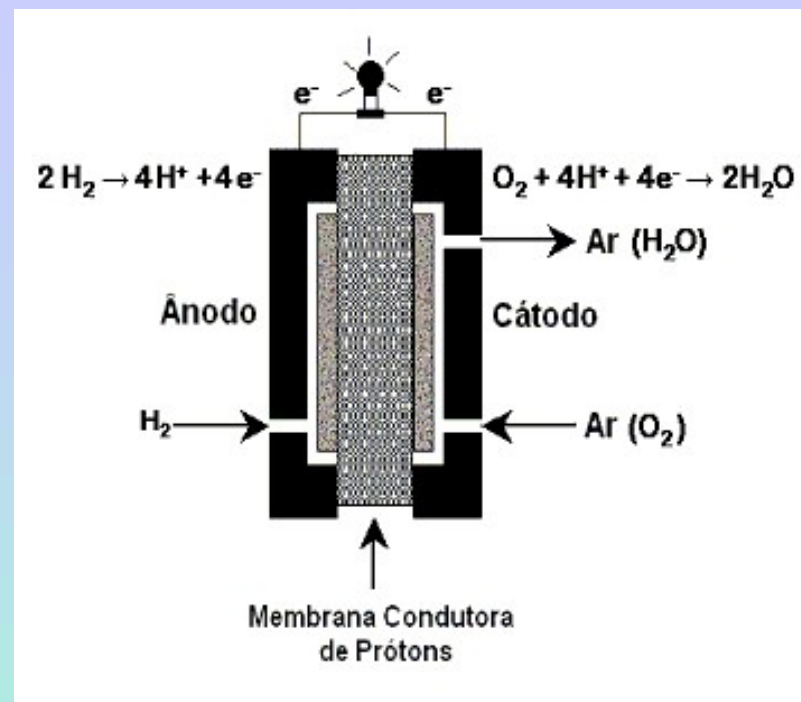
Quando se pensa em fontes de energia e o que o oceano nos oferece, a primeira referência que nos vem à mente é o petróleo e o gás natural que podem ser explorados em águas profundas, como na bacia de Campos, ou em águas ultraprofundas, como o pré-sal na bacia de Santos. A essa produção nos vem também à mente os acidentes nas plataformas marítimas, acompanhados por despejos de grandes volumes de óleo, muitas vezes acompanhados por incêndios e perdas de vidas humanas, além da poluição resultante que atinge toda a biota e os ecossistemas marinhos.



BERMANN, C. A energia que vem dos mares. Jornal da USP, São Paulo, 04 maio 2022.
Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/a-energia-que-vem-dos-mares/#:~:text=A%20energia%20que%20vem%20das,estruturas%20que%20geram%20energia%20el%C3%A9trica>.

Energia do Hidrogênio (Célula Combustível)

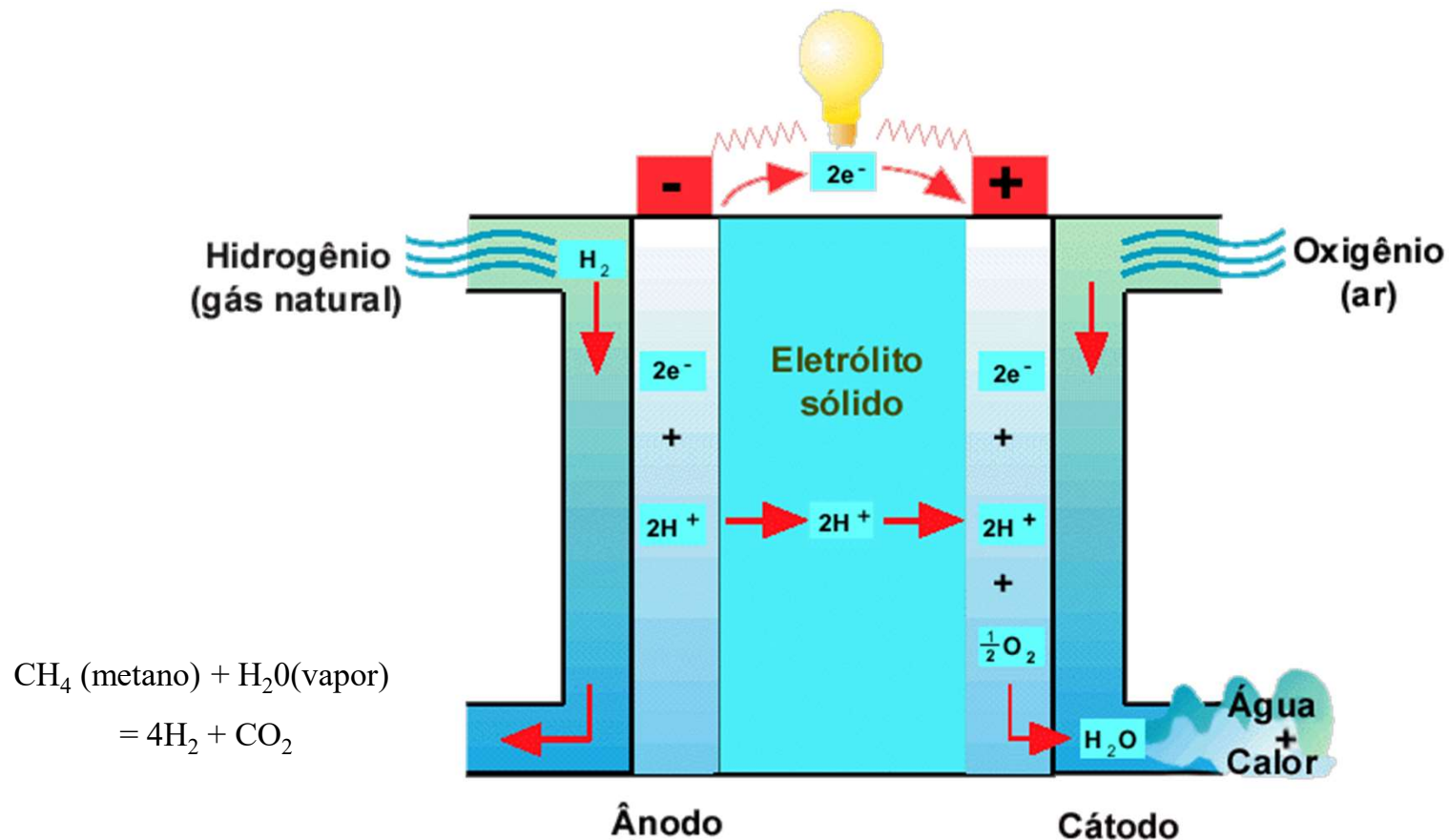
Composição da célula combustível



A célula combustível compõe-se de um anodo (pólo negativo), de um cátodo (pólo positivo), e uma membrana eletrolítica para bloquear o fluxo de elétrons.

Na reação eletroquímica ocorre a oxidação, com o hidrogênio que flui pelo anodo se separando em elétrons e prótons, dirigindo os elétrons para um circuito externo para serem usados como eletricidade, enquanto os prótons fluem pela membrana. O oxigênio é bombeado do lado do cátodo, reagindo com os prótons do hidrogênio para formar água.

Princípio de Funcionamento



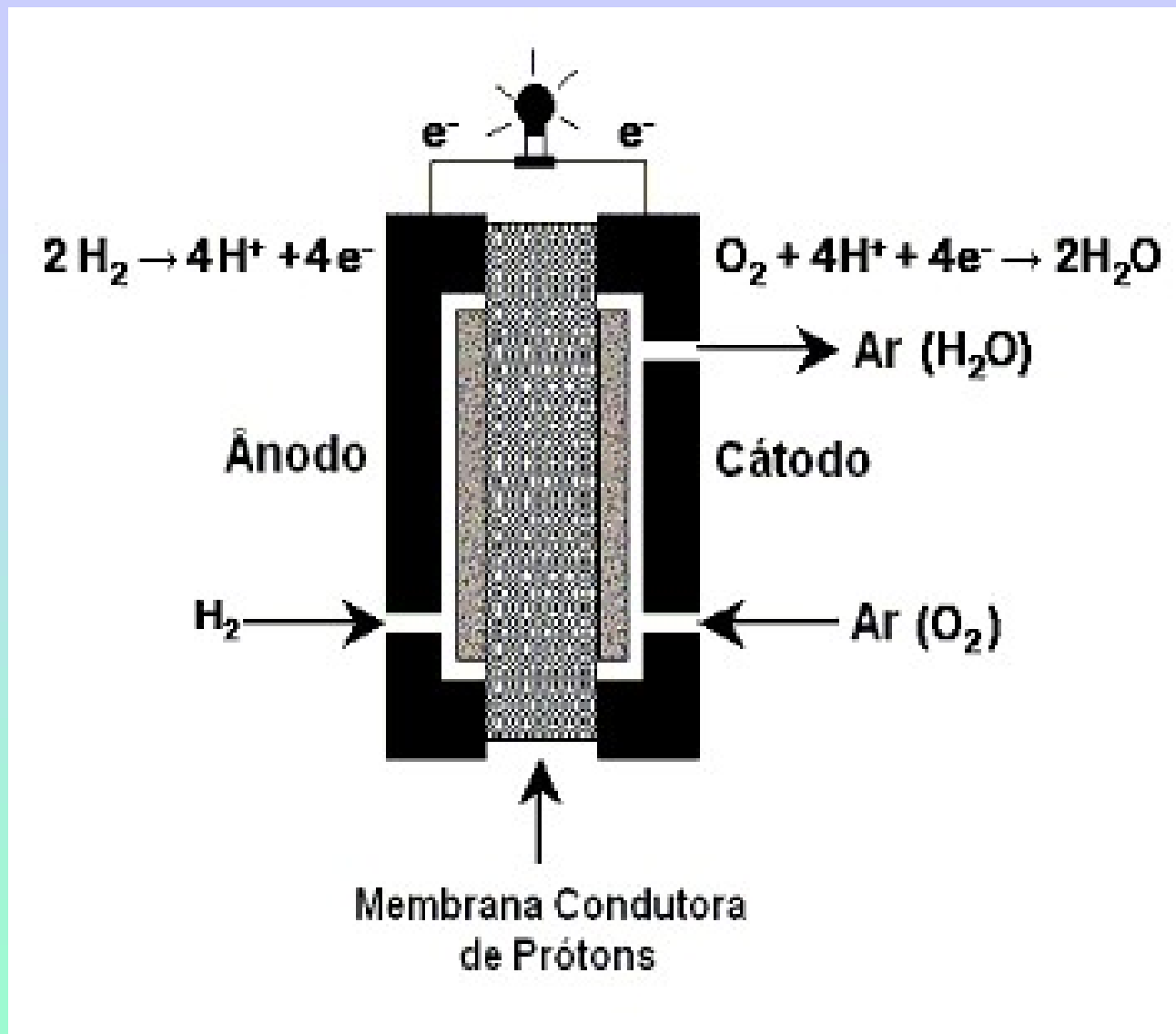
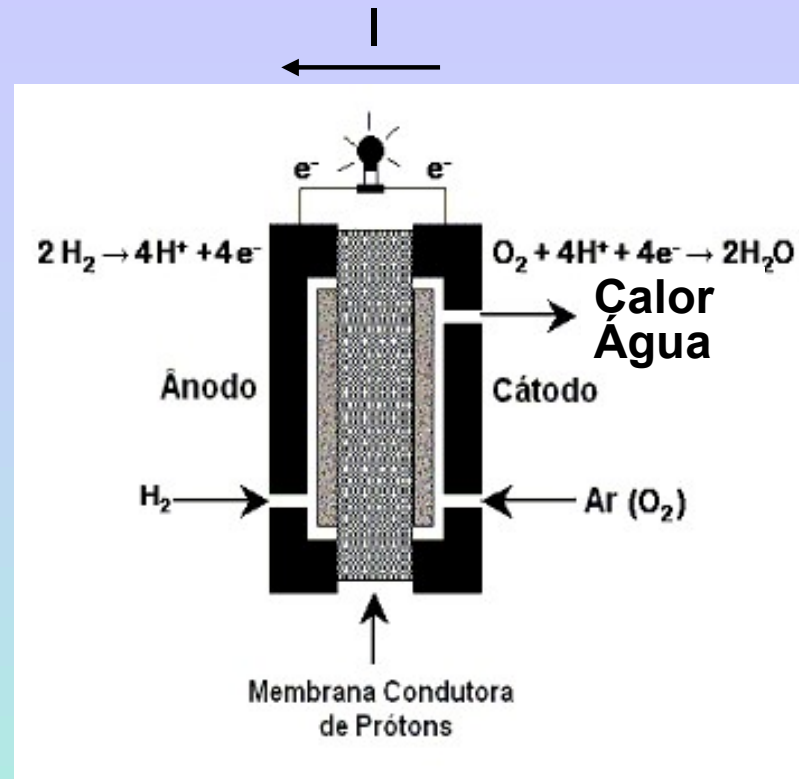
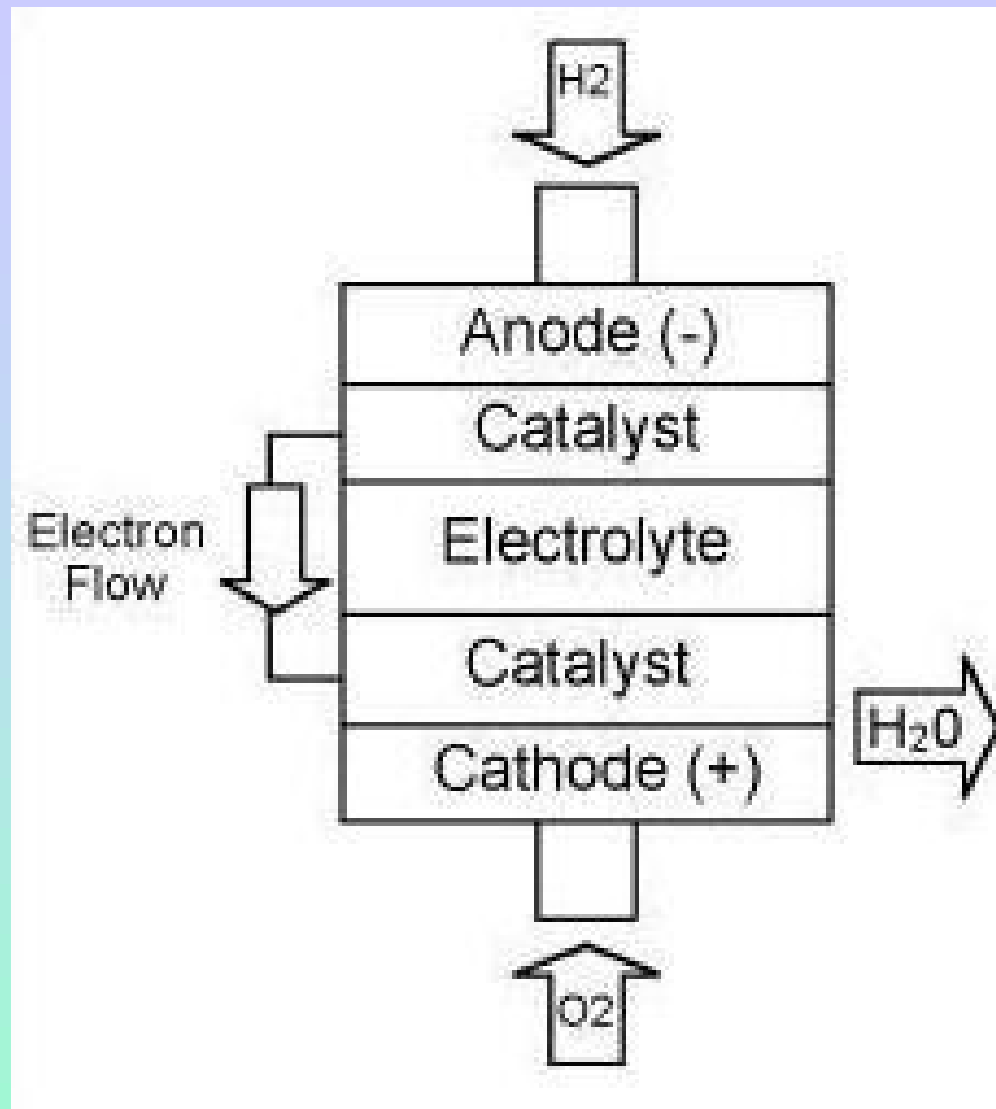


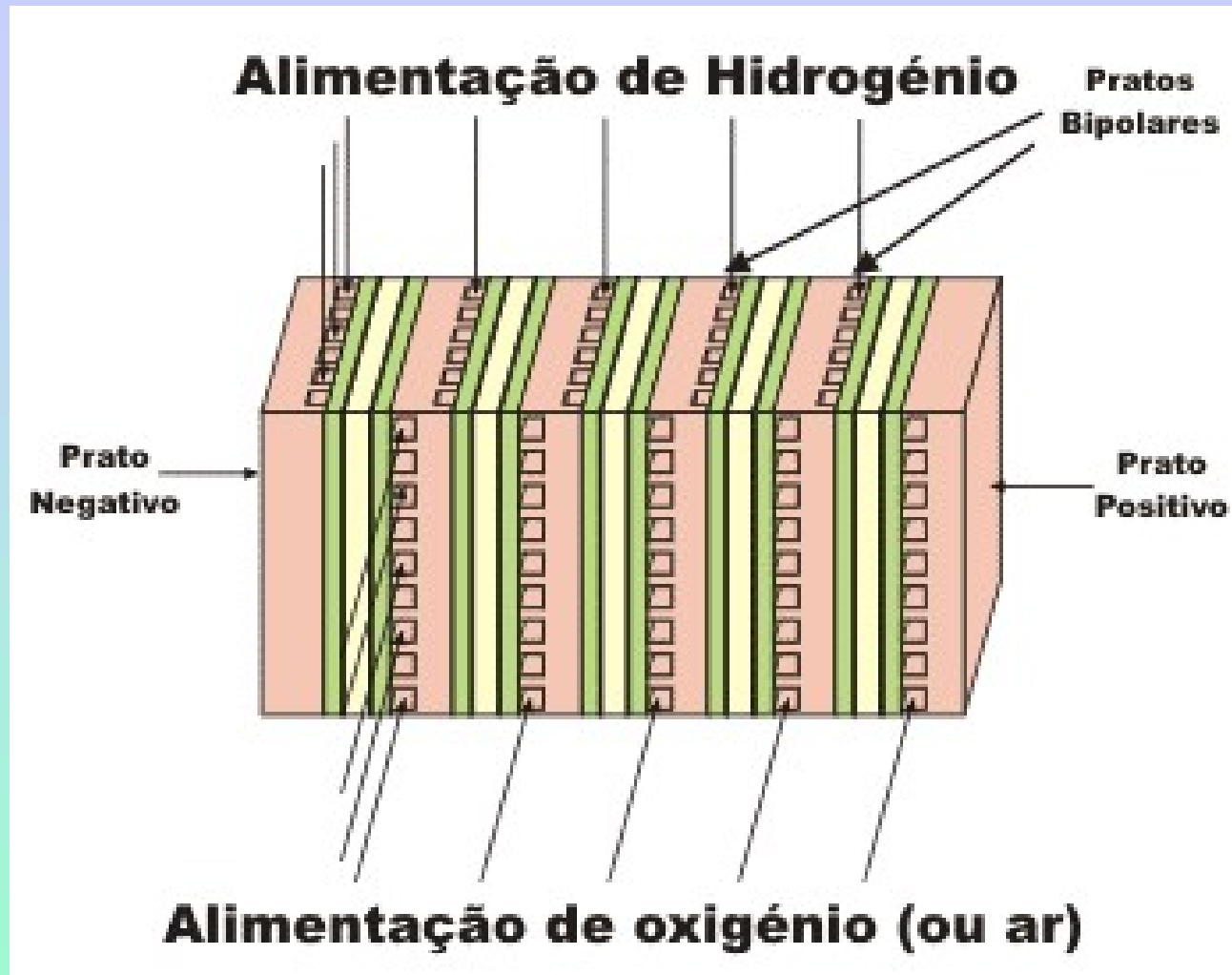
Diagrama de uma célula a combustível



Por convenção, o sentido da corrente elétrica é contrário ao do fluxo dos elétrons. Dessa forma, a corrente elétrica numa célula de combustível sai pelo cátodo e entra pelo anodo.



Para aumentar a eficiência da reação química utiliza-se catalisadores à base de metais nobres (p.ex. platina; níquel).



A tensão obtida por cada elemento da célula combustível é de 0,7 – 1 V. Através do empilhamento de elementos em conjuntos denominados pilhas de células, a tensão pode ser elevada a qualquer valor.

O Desenvolvimento da Tecnologia



Fonte: Smithsonian Institute (2005)
Smith et al. (2002)

A primeira célula de combustível foi construída em 1839 por Sir William Grove, um juiz Galês e cientista.

O interesse nas células de combustível como um gerador prático, começou nos anos 60, quando o programa espacial dos Estados Unidos escolheu a célula de combustível no lugar da energia nuclear (mais arriscada), e da energia solar (mais cara).

As células de combustível abasteceram de energia as naves Apolo e Geminis e ainda fornecem eletricidade e água ao tranbordador espacial.

- > **1839** - Sir William Grove descobre o princípio de funcionamento e monta a primeira célula.
- > **1955** - Willard Thomas Grubb desenvolve uma membrana trocadora de íons (General Electric).
- > **1958** - Leonard Niedrach desenvolveu um processo de depósito de Pt em Titânio e posteriormente colar na membrana polimérica.

Equivalência energética do hidrogênio

Um quilo de hidrogênio libera a mesma quantidade de energia de 4 litros de gasolina ou 3,7 metros cúbicos de gás natural.

Fontes para obtenção do Hidrogênio

➤ hidrogênio puro:

Não é facilmente encontrado na natureza, mas mais freqüentemente encontrado em compostos nos quais os átomos de hidrogênio ligam-se quimicamente a um ou mais dos outros elementos. Separar essas ligações exige energia, diminuindo, assim, a eficiência relativa das células combustíveis.

A forma mais tradicional para produção de hidrogênio puro é pela hidrólise da água.

Processar, armazenar e distribuir hidrogênio puro é demasiadamente difícil em curto prazo para tornar-se viável em escala planetária. O hidrogênio puro é simplesmente difícil de obter-se e, mesmo quando se o tem, são necessários uma grande pressão e um grande volume para armazená-lo, para colher a eficiência da relação energia/peso.

Fontes para obtenção do Hidrogênio

➤ metanol (ou outro hidrocarboneto líquido):

Sua vantagem principal é a similaridade com a gasolina, e, portanto, uma familiaridade mundial com sua produção, transporte e distribuição. Dependendo da fonte, os combustíveis de hidrocarbonetos líquidos podem, também, tornar-se uma fonte de energia renovável. As desvantagens incluem armazenamento, corrosão e desperdício de combustível, devido ao “*cross-over*” na membrana da célula combustível.

A gasolina comum e o etanol são mais duas alternativas disponíveis em termos de hidrocarbonetos líquidos, mas as necessidades de “reformas” do combustível antes da introdução no sistema da célula combustível permanece uma constante em todas as fontes líquidas. O processo de reformar extrai hidrogênio das estruturas moleculares mais complexas; contudo, o fato de que o monóxido de carbono e o dióxido de carbono podem tornar-se subprodutos adicionais do ciclo de produção de energia torna esses sistemas menos atraentes.

Fontes para obtenção do Hidrogênio

➤ metano (gás natural):

O hidrogênio pode ser obtido do gás natural pelo processo de reforma catalítica a vapor. O processo envolve a conversão catalítica do metano em presença de vapor d'água, que libera hidrogênio e óxidos de carbono (CO e CO₂).

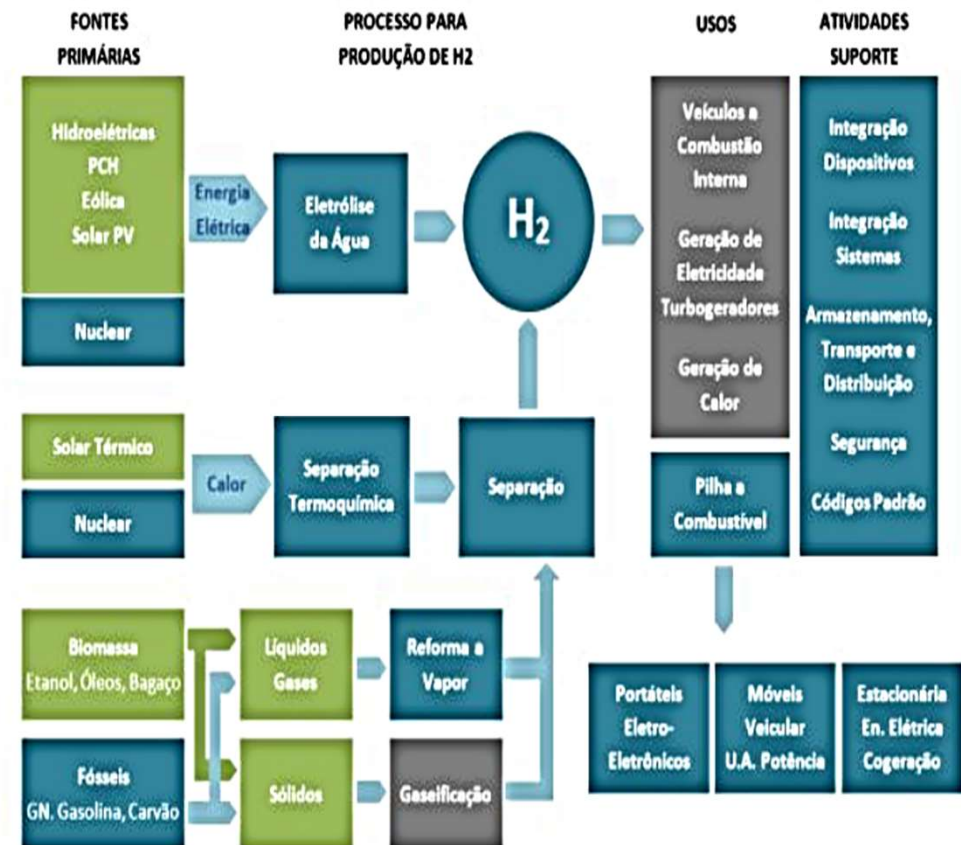
Como potencial fonte de hidrogênio para células combustíveis, o gás natural tem a seu favor uma infra-estrutura de distribuição estabelecida. Além dessa infra-estrutura estabelecida, a necessidade de comprimir o gás natural e de usar um equipamento especial para fornecê-lo reduz sua atração como fonte de hidrogênio.

Classificação das Rotas Tecnológicas

Fontes para obtenção do Hidrogênio

Classificação do hidrogênio em escala de cores

Cor	Classificação	Descrição
■	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
■	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
□	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
■	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS
■	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar).
□	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
■	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
■	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS
■	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear



Representação esquemática de rotas tecnológicas para obtenção de hidrogênio

Fonte: EPE, 2021

Classificação das Células Combustível

Dada pelo tipo de eletrólito usado:

- célula combustível alcalina (AFC);
- célula combustível ácido fosfórico (PAFC);
- célula combustível carbonato fundido (MCFC);
- célula combustível polímero sólido (PEMFC);
- célula combustível óxido sólido (SOFC).

Tipo	Eletrólito	Espécie Transportada	Temperatura de Operação (°C)	Vantagens	Desvantagens	Aplicações	Eficiência (%)
AFC	KOH concentrado	OH^-	60-90	Alta eficiência (83%)	Sensível a CO_2 , remoção da água, Gases ultrapuros, sem reforma.	Espaçonaves, Aplicações militares	> 80
PAFC	Ácido Fosfórico 90-100% (H_3PO_4)	H_3O^+	160-200	Maior desenvolvimento tecnológico.	Vida útil limitada pela corrosão, Controle da porosidade do eletrodo e, Sensibilidade a CO (>2%)	Unidades estacionárias (100kW a alguns MW), Cogeração eletricidade/calor	40 - 50
MCFC	Misturas de Carbonatos fundidos (CO_3^{2-})	CO_3^{2-}	650-700	Tolerância a CO/CO_2 Eletrodos à base de Ni, Reforma interna, alta eficiência terórica	Corrosão do cátodo, Interface trifásica de difícil controle	Unidades estacionárias (100 kW a 1 MW), Cogeração de eletricidade/calor	> 60
PEMFC	Polímero condutor de protons Nafion®	H^+	80-90	Alta densidade de potência, Operação flexível, Mobilidade	Custo da membrana, Contaminação do catalisador com CO	Veículos, Espaçonaves e Unidades estacionárias	45 - 50
SOFC / (pSOFC e tSOFC)	Zircônia estabilizada ($\text{ZrO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$)	O^{2-}	800-1000	Alta eficiência (cinética favorável). Reforma interna	Problemas de materiais; Expansão térmica	Unidades estacionárias (10kW a 1 MW), Cogeração de eletricidade/calor.	> 60

Fonte: Vargas, R. A., Chiba, R., Franco, E. G., Seo, E. S. M. (2006) Uma Visão da Tecnologia de Células a Combustível. IPEN. Acesso: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/eventos/15436.pdf>>

Geração de eletricidade – estágios da tecnologia

- Centrais elétricas de pequeno porte (até 50 kW)
 - tipo: AFC; PEM MCFC; SOFC
 - estágio: comercialização protótipo
- Centrais elétricas ou de co-geração de médio porte (de 50 a 1.000 kW)
 - tipo: PAFC; PEM MCFC SOFC
 - estágio: comercialização protótipo pesquisa
- Centrais elétricas ou de co-geração de grande porte (acima de 1.000 kW)
 - tipo: MCFC SOFC
 - estágio: protótipo pesquisa
- Motores de propulsão para veículos automotores
 - tipo: PEM PAFC AFC
 - estágio: comerc. restrita protótipo pesquisa

Legenda:

células alcalinas - AFC

membrana polimérica - PEM

carbonato fundido - MCFC

ácido fosfórico - PAFC

óxido sólido - SOFC

AFC



- Alkaline fuel cell (AFC)
- Nobreak acionado por H₂
- Fonte ilimitada até 5kW
- Picos de até 100kVA

GenCell G5 UPS

PERFORMANCE

Rated power configurations	5kW
Output voltage configurations	-48 VDC / +48 VDC / 230 VAC / 130 VDC
Emissions	Usable heat, water vapor
Run-time (per set of 6 fuel cylinders)	15 hours at 5kW

FUEL

Hydrogen	99.95% or higher
Fuel consumption	70 g/kWh
Input pressure	300-500 kPa

ELECTROLYTE

Potassium hydroxide	28-32% mass
---------------------	-------------

OPERATION

Startup time	Immediate
Automatic start/stop	Included
Remote control/management (NOC)	Optional

PEMFC

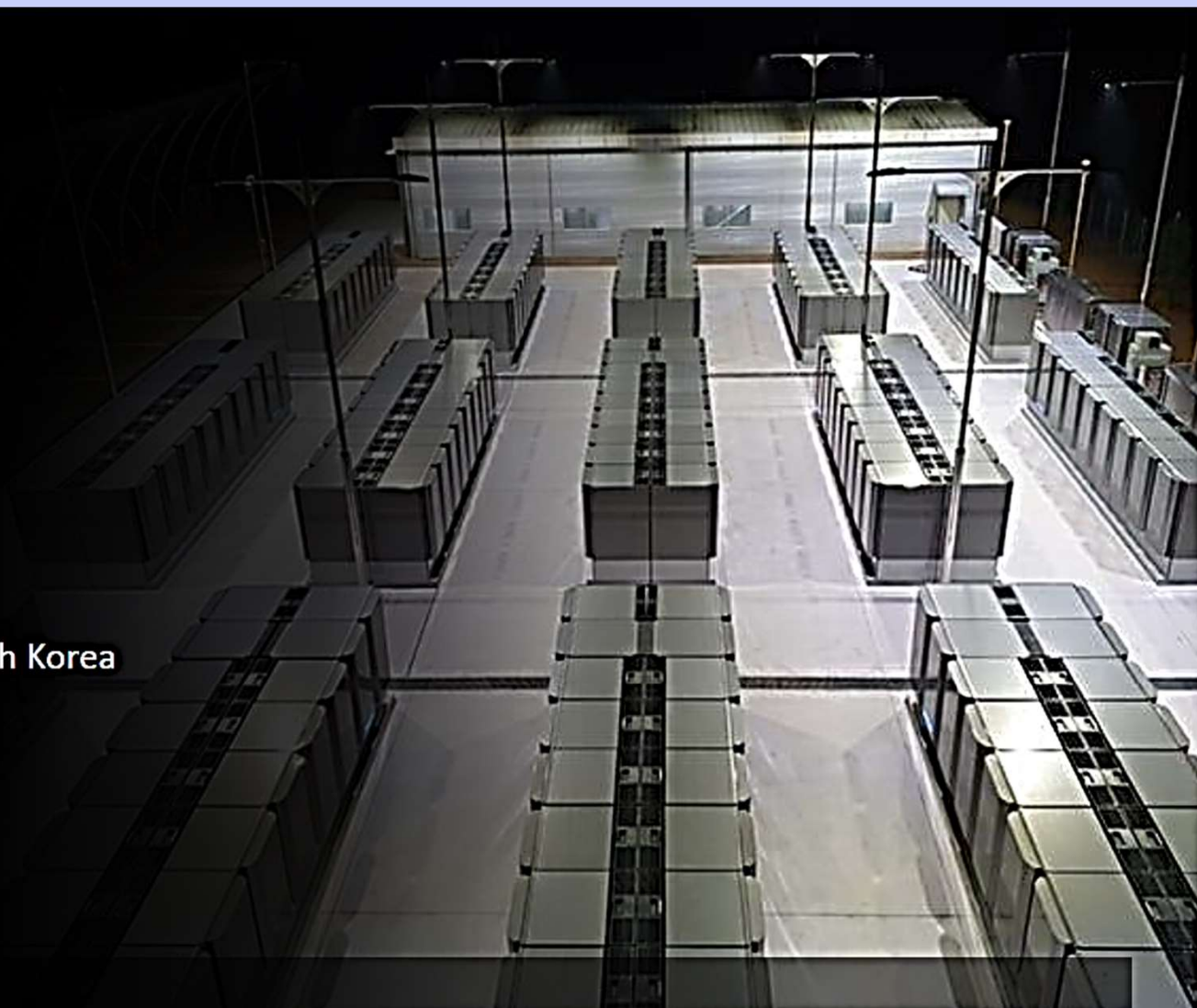


Air Liquide

- Local: Quebec, Canadá
- Tecnologia: *PEM – Polymer Electrolyte Membrane*
- Início operação: jan/2021
- Potência Instalada: 20 MW
- Produção: 3 kt/ano
- Redução de CO₂: 27 Mt/ano

FONTE: Inauguration of the world's largest PEM electrolyzer | Air Liquide

SOFC



Bloom Energy SOFC Solid-Oxid Fuel Cell

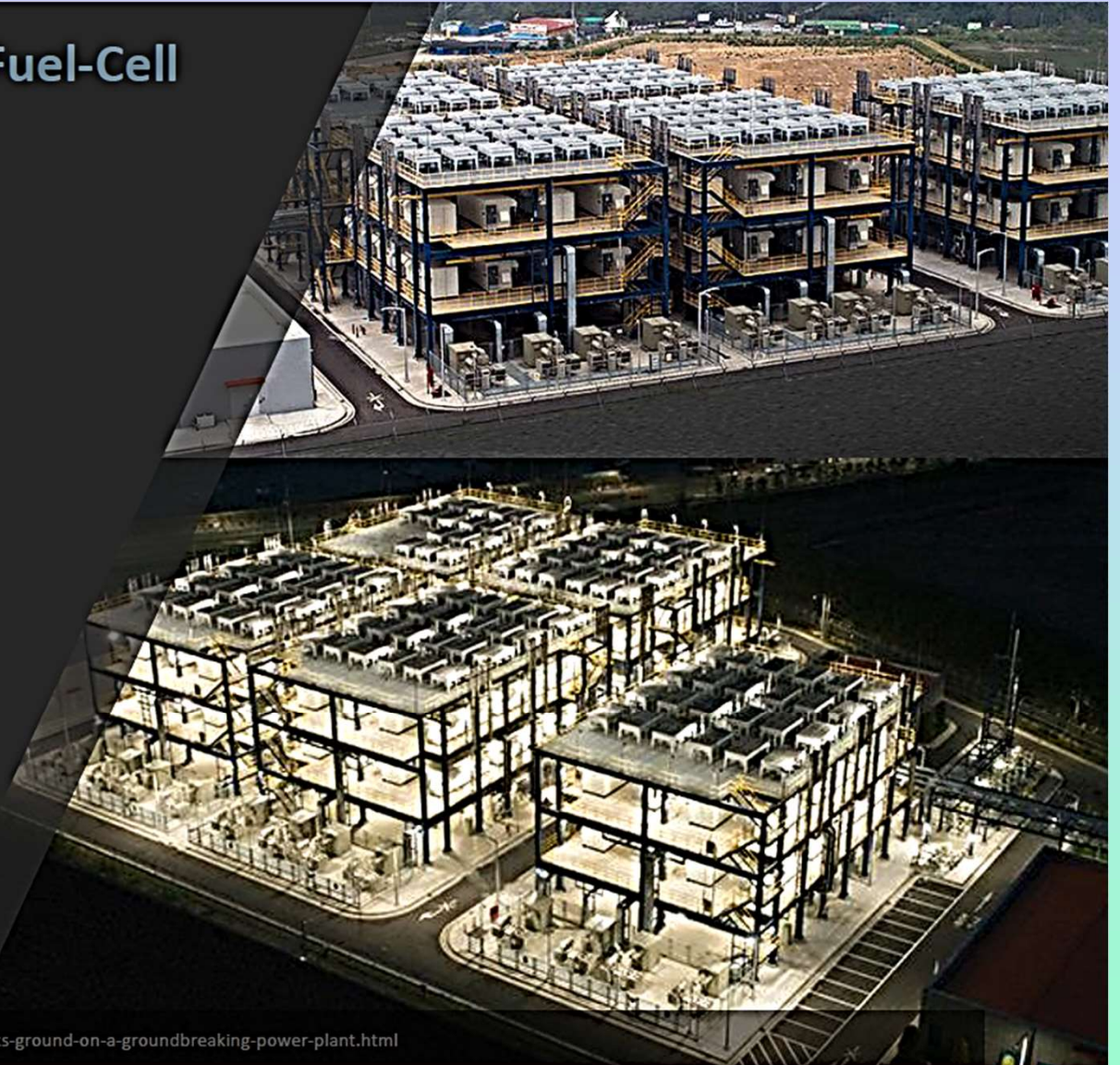
- Hwasung, Gyeonggi Province, South Korea
- Início operação: 2019
- Potência Instalada: 19,8 MW

Fonte: <https://www.bloomenergy.com/hydrogen>

Daesan Green Energy Hydrogen-Fuel-Cell Power Plant

- Local: Daesan Industrial Complex, Korea
- Investimento: US\$ 212 Million
- Início da operação: jun/2020
- Potência Instalada: 50 MW
- Hanwha Total Petrochemical fornecerá 3,4t/h H_2 (subproduto), que gerará 40 kt/ano H_2O como subproduto (devolvendo à refinaria).

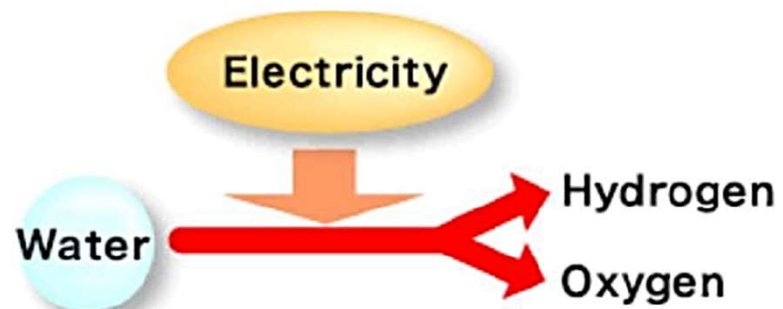
Fonte: https://www.hanwha.com/en/news_and_media/press_release/hanwha-energy-breaks-ground-on-a-groundbreaking-power-plant.html



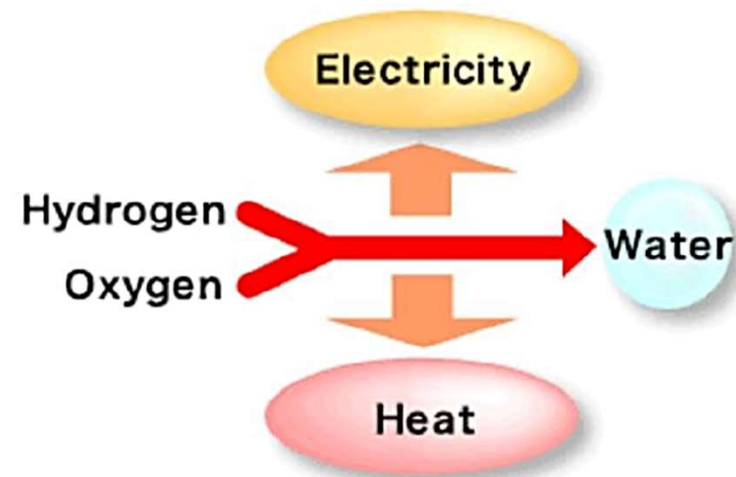
Hydrogen extracted from the byproduct of petrochemical production

Aplicações veiculares

PRODUÇÃO DE H₂



GERAÇÃO DE ENERGIA POR H₂ (FUEL CELL)





Automóvel ix35 Fuel Cell da Hyundai.

Tanque de Hidrogénio

Na parte traseira situa-se uma bateria de alta voltagem. Com depósito H_2

Bateria de Combustível

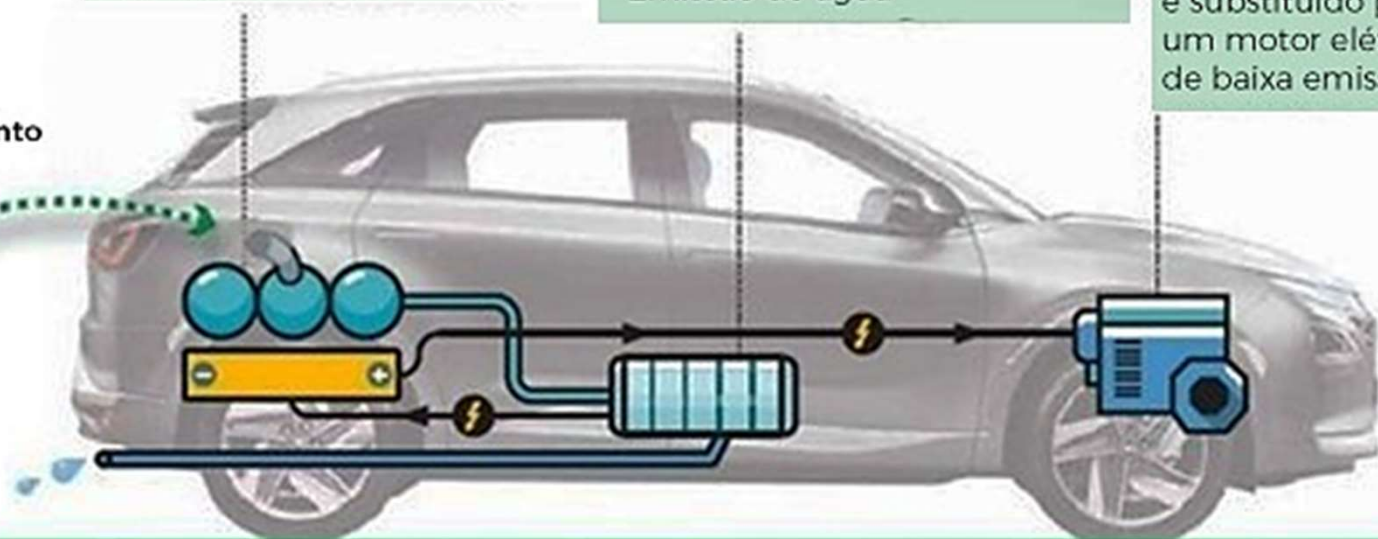
Debaixo do bancos dianteiros situa-se a pilha de combustível

$Ar + H_2 =$ Eletricidade
Emissão de água

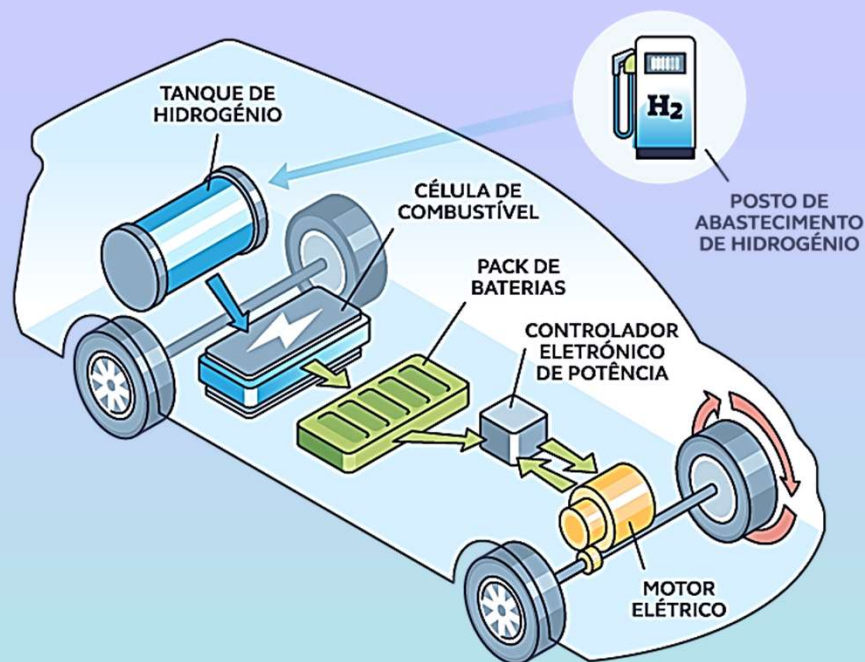
Motor Elétrico

Na parte frontal o motor de explosão é substituído por um motor elétrico de baixa emissão

Tempo de Carregamento
3 -5 Minutos



ABC



Carro a hidrogênio

Os principais componentes do Mirai, da Toyota, que é movido a hidrogênio

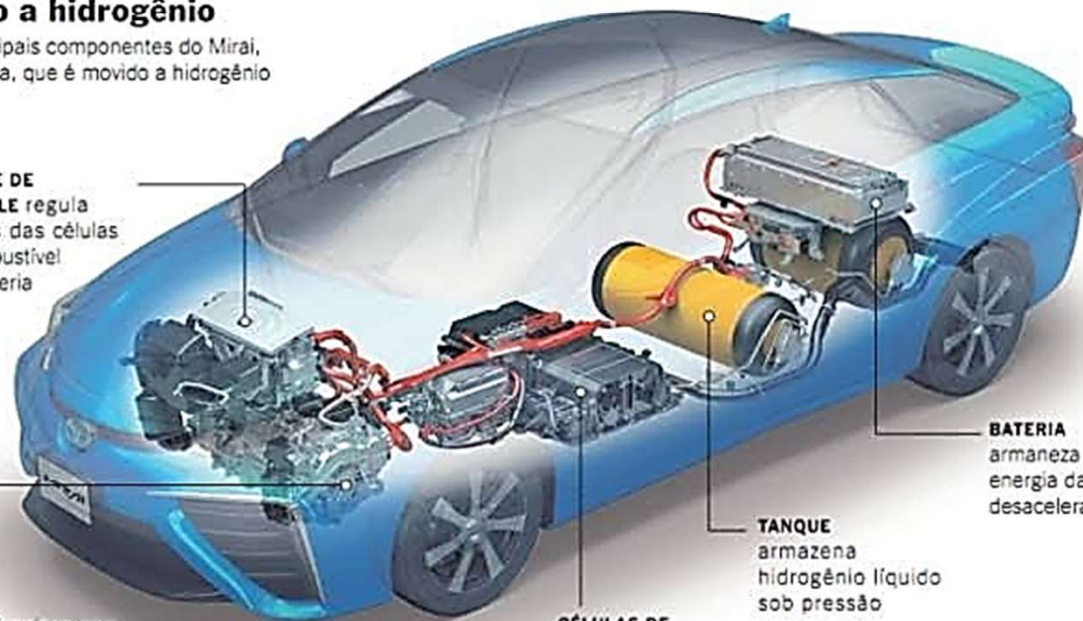
UNIDADE DE CONTROLE regula funções das células de combustível e da bateria

MOTOR funciona com a eletricidade das células de combustível e da bateria

CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL geram eletricidade a partir do hidrogênio

TANQUE armazena hidrogênio líquido sob pressão

BATERIA armazena energia da desaceleração



Vantagens dos carros a hidrogénio:

- **Zero ruído:** A propulsão dos carros a hidrogénio é puramente elétrica. Quando conduz este tipo de veículo, na prática está a conduzir um carro elétrico, o que significa zero ruído de motor durante a condução e zero poluição sonora para o ambiente.
- **Zero emissões poluentes:** Carros a hidrogénio utilizam apenas energia renovável e não produzem emissões nocivas para o ambiente.
- **Tempo de carregamento:** Outra das vantagens dos carros a hidrogénio é o tempo de carregamento. Por norma, estão atestados e prontos para voltar a circular em menos de cinco minutos. Cómodo e bastante mais prático para os consumidores do que os carros elétricos.
- **Maior autonomia:** carros a hidrogénio têm maior capacidade percorrer quilómetros do que um carro elétrico. Um tanque cheio consegue percorrer, em média 480 quilómetros. Contudo, tudo vai depender do modelo e de como este é fabricado e idealizado.
- **Resistência:** Graças ao seu revestimento e material de produção, os carros a hidrogénio tendem a ter um chassi muito mais resistente que um veículo convencional.

Desvantagens dos carros a hidrogénio

- **Rede de postos de abastecimento:** Atualmente poucas estações de serviço estão preparadas para o abastecimento de hidrogénio. Em Portugal, existem apenas 2: uma em Lisboa, outra em V.N de Gaia.
- **Vida útil:** Por lei, têm uma vida útil limitada a 15 anos, o que se poderá traduzir na própria vida útil do veículo. Quer isto dizer que, existe sempre esta condicionante na altura de escolher comprar este tipo de carro.
- **Preço de compra:** O facto de custarem mais a fabricar, sobretudo devido à célula de combustível, são mais caros para aquisição. A **Johnson Matthey (JM)** afirma que, actualmente, as células de hidrogénio de 100 kW **custam um mínimo de 20.000€, mas baixarão para 8.000 a 10.000€ dentro de dois a três anos**, para em 2030 poderem atingir 3.000€ a unidade.



Ônibus híbrido, movido a eletricidade e hidrogênio, usado durante as Olimpíadas do Rio-2016

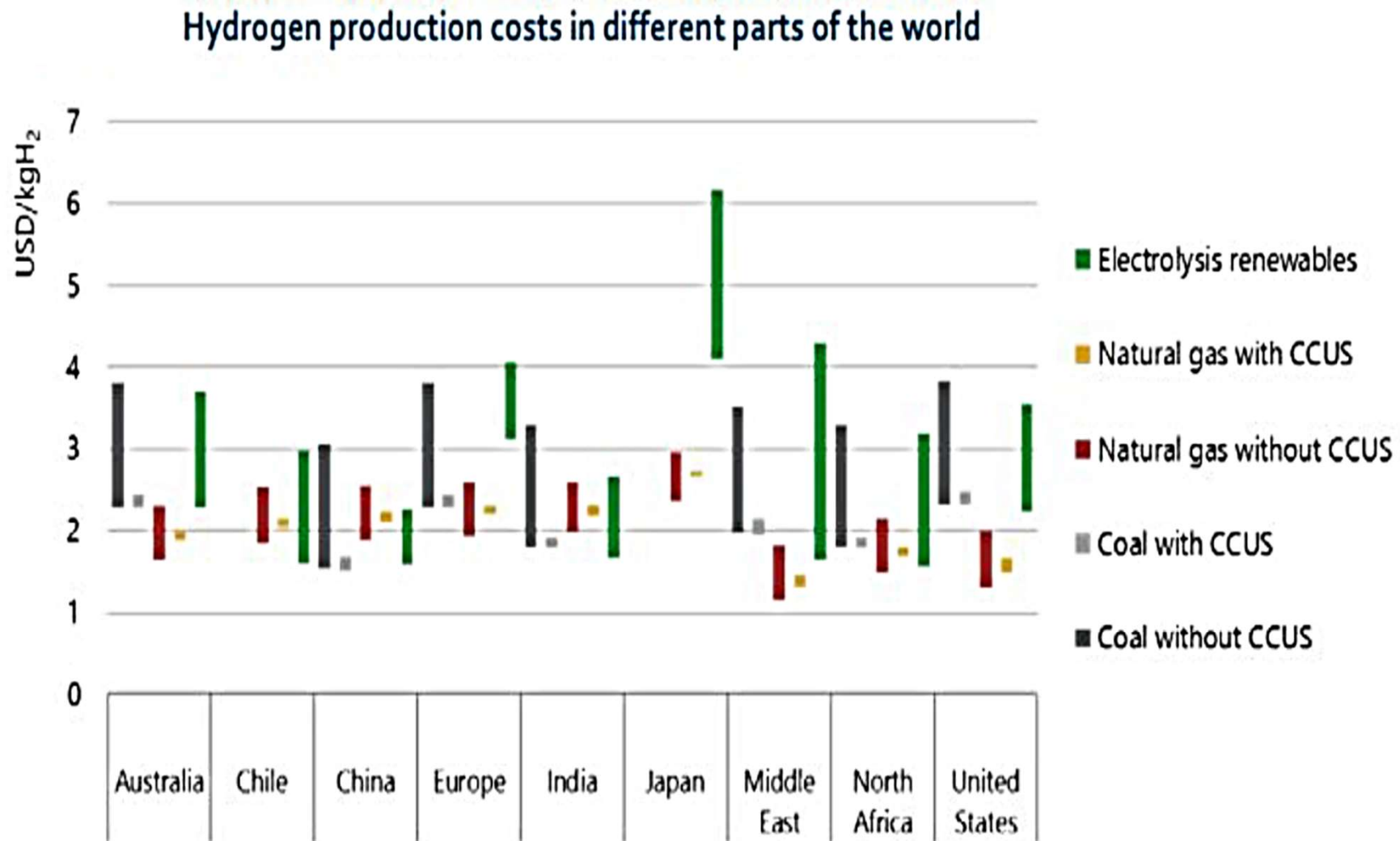
Diego Padgurschi-19.ago.2016/Folhapress



Ônibus a hidrogenio na frota da EMTU no ABC (SP)

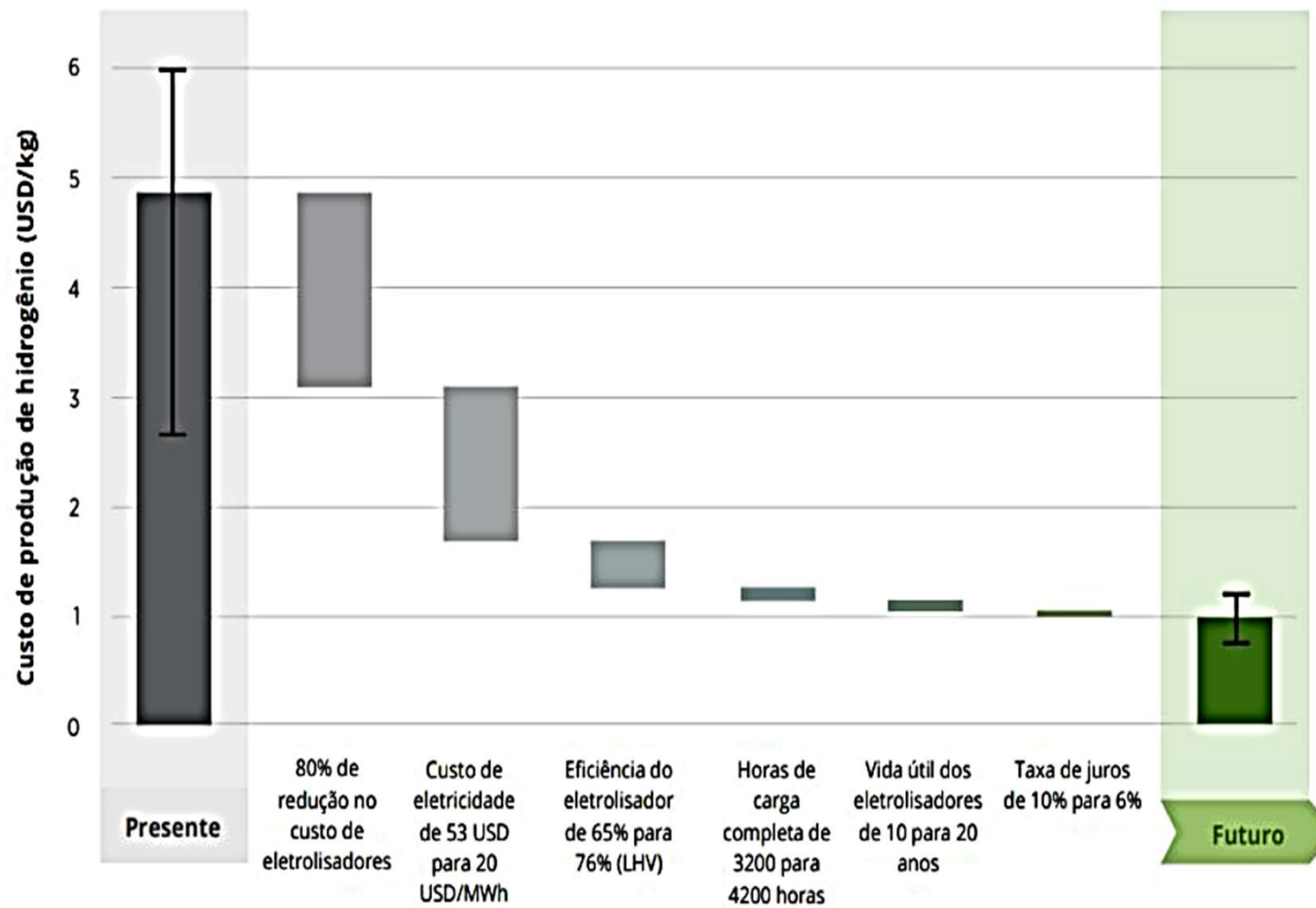
Custos de Produção

Comparativo Global - Presente



Fonte: IEA, 2019

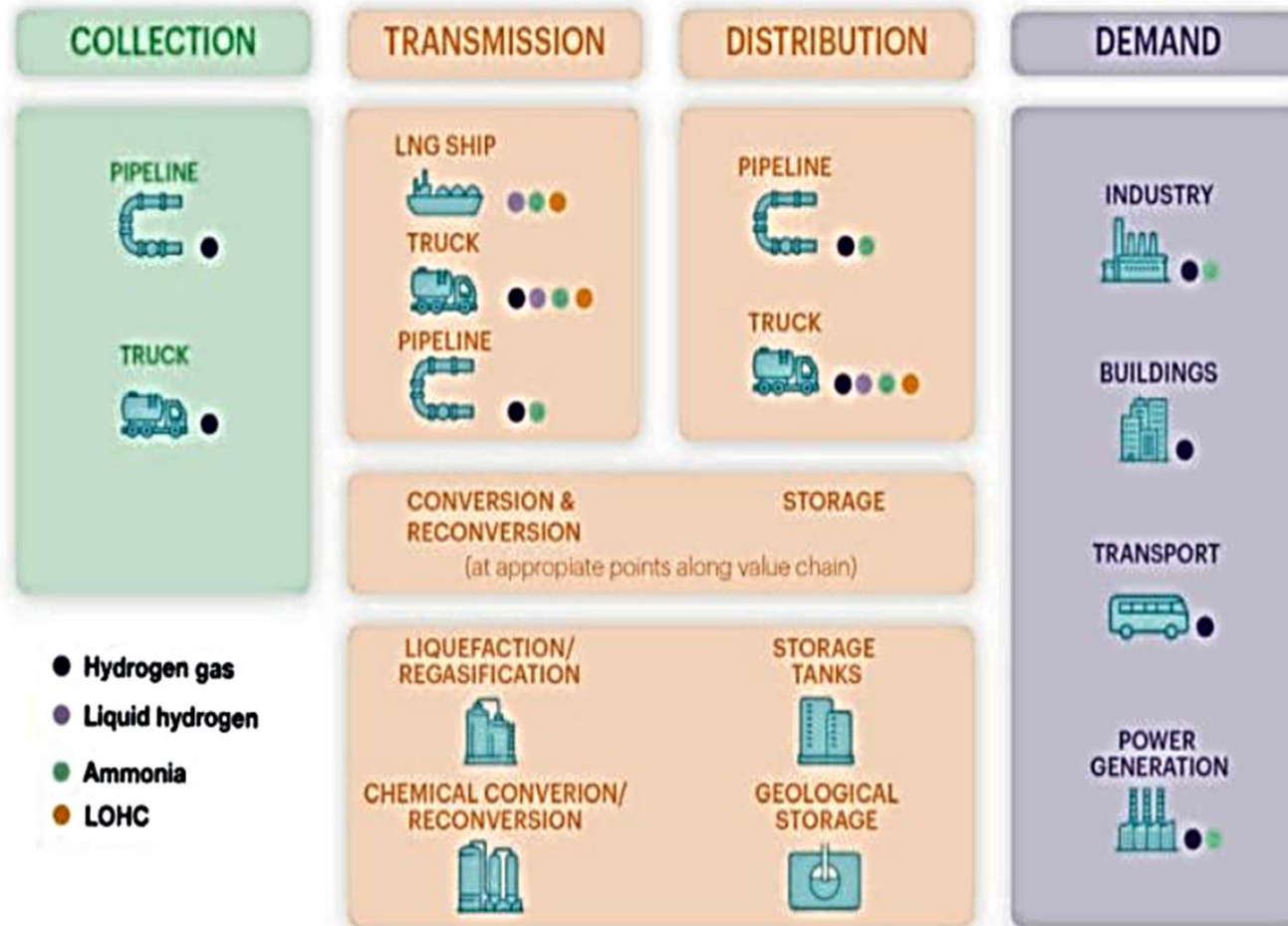
Custos de Produção Comparativo Global - Futuro



Fonte: GIZ, 2021

Desafios Logísticos

Transmission, distribution and storage elements of hydrogen value chains

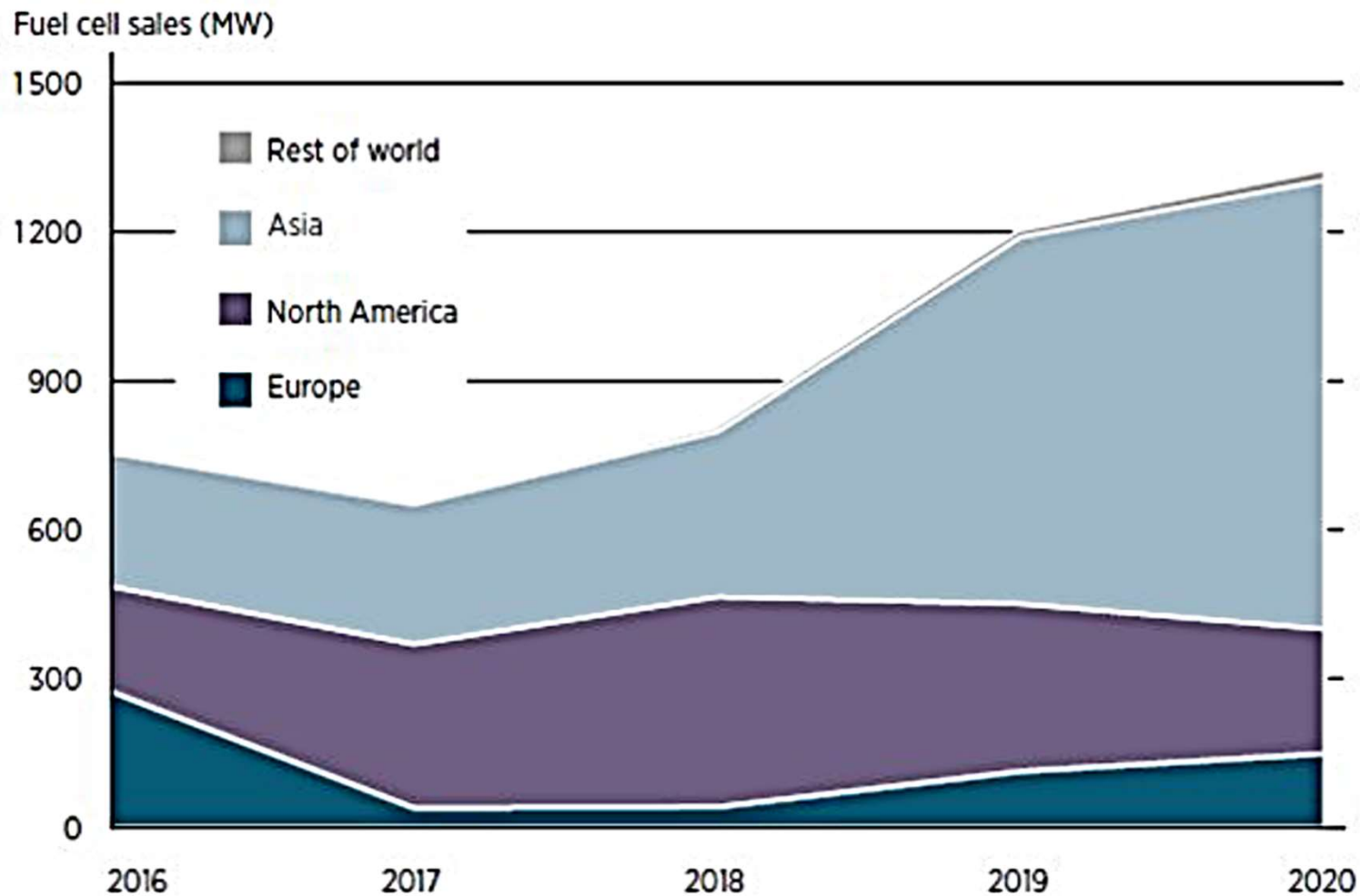


Note: LOHC = liquid organic hydrogen carrier.

Fonte: IEA, 2019

Células de Combustível

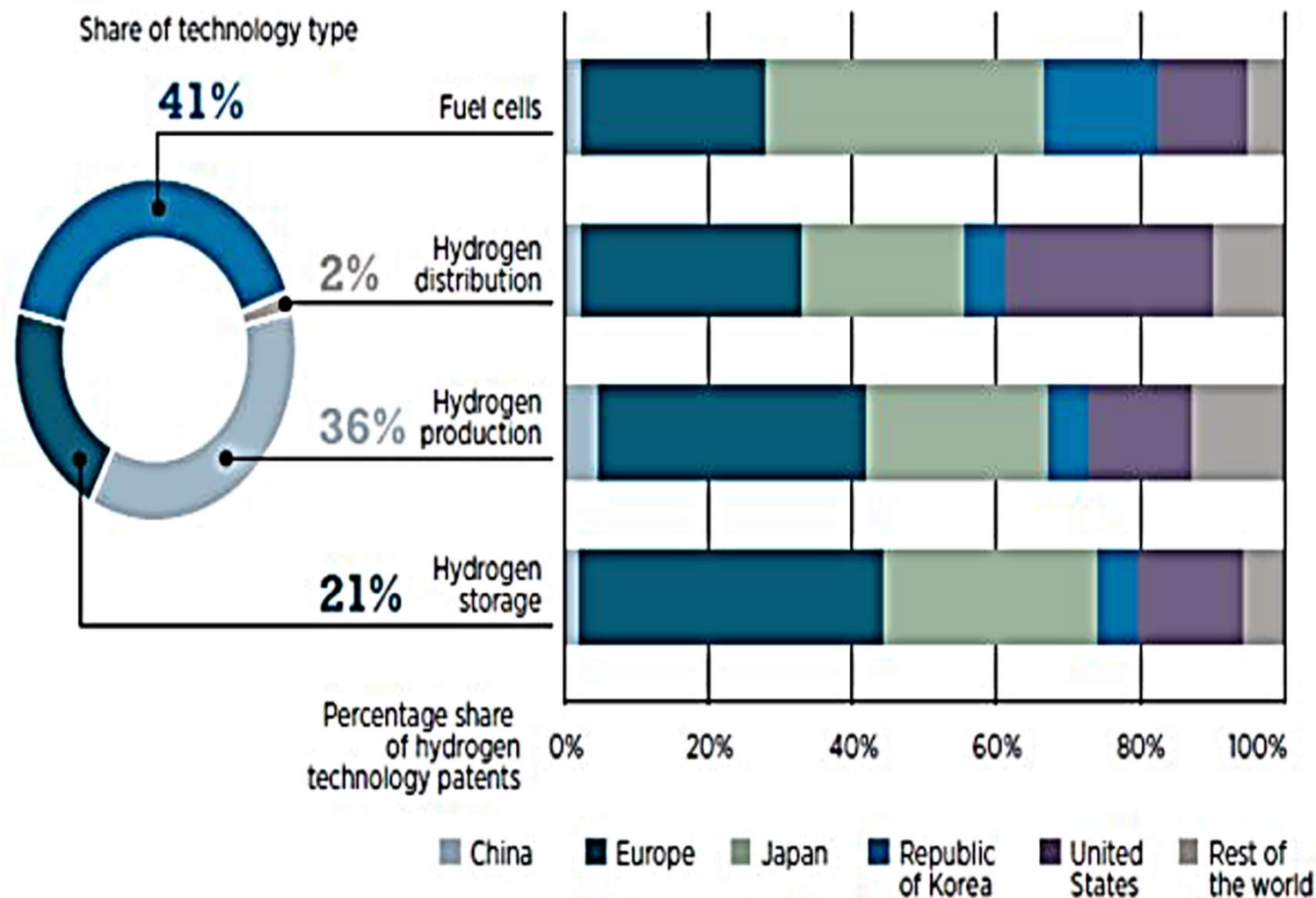
Vendas por região, 2016-2020



Fonte: IRENA, 2022

Patentes de Hidrogênio

Distribuição Geográfica 2010-2020



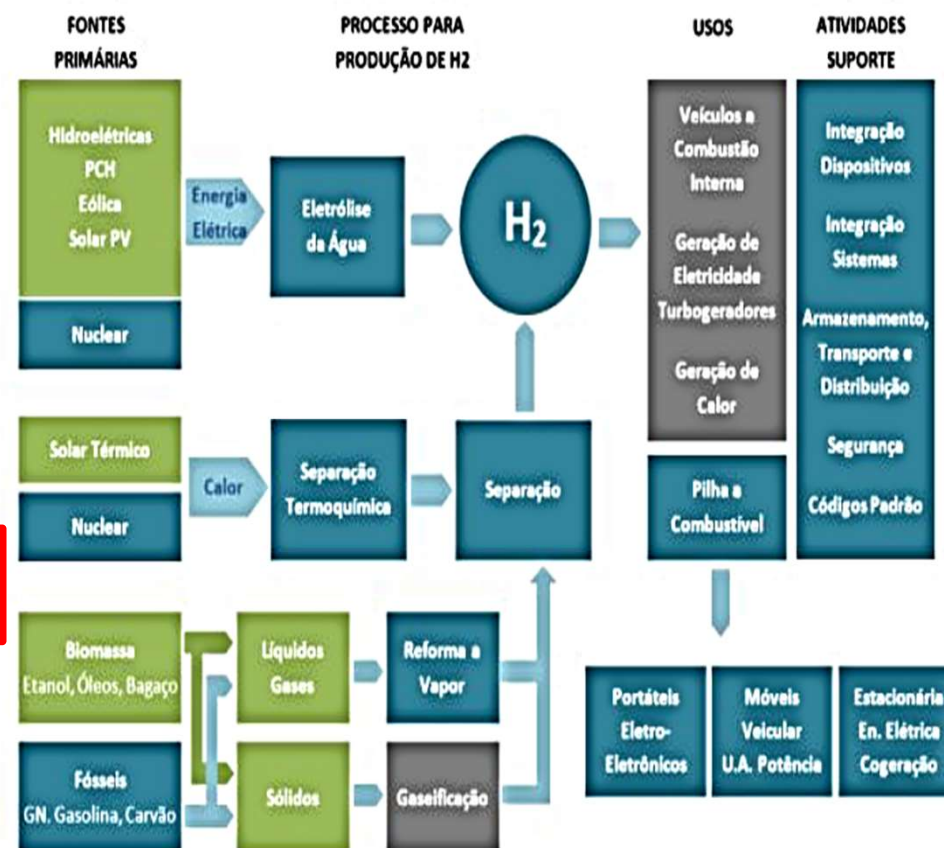
Fonte: IRENA, 2022

Classificação das Rotas Tecnológicas

Fontes para obtenção do Hidrogênio

Classificação do hidrogênio em escala de cores

Cor	Classificação	Descrição
■	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
■	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
□	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
■	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS
■	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar).
□	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
■	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
■	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS
■	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear

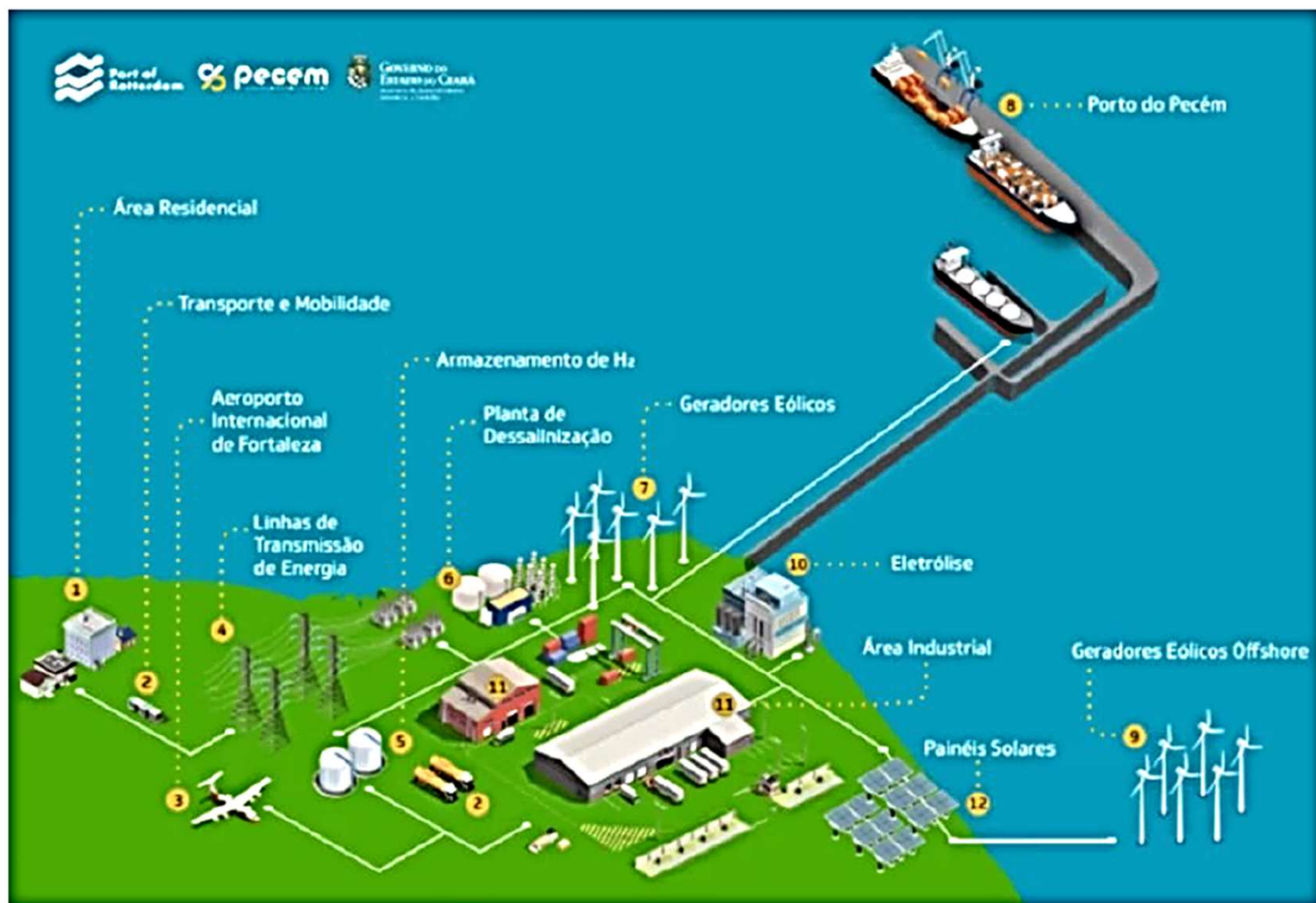


Representação esquemática de rotas tecnológicas para obtenção de hidrogênio

Fonte: EPE, 2021

Projetos de Hidrogênio Renovável

Porto do Pecém, Brasil



Projeto *Base One*

Energix Energy + Black & Veatch

- Local: Ceará
- Início operação: 2025
- Investimento: US\$ 5,4Bi
- Consumo: 3,4 GW (eólica e solar)
- Produção H₂: 600 kt/ano (**exportação**)
- Redução de CO₂: 10 Mt/ano



A respeito da Transição Energética

Embora a transição energética seja um assunto global pois está diretamente relacionada com as mudanças climáticas, nos países do Sul Global o termo deve ser tratado como uma expressão neo-colonialista que procura transferir o problema dos países do Norte Global, extremamente dependentes dos combustíveis fósseis, para os países do Sul Global, cuja responsabilidade pelas emissões de GEEs não está no consumo de fontes energéticas, mas pela queima de suas florestas e alteração do uso do solo.

Como consequência, cabe então aos países periféricos a produção de Hidrogênio e sua exportação para atender à demanda dos países centrais. Dessa forma, permanece o quadro da inserção destes países no mercado internacional como meros produtores de produtos primários com baixo valor agregado.

Célio Bermann (2024)