

O HIDROGÊNIO, PERSPECTIVAS E DESAFIOS

Os meus contemporâneos ainda não nasceram.
Vargas Villa

MUCIO PIRAGIBE RIBEIRO DE BAKKER
Contra-Almirante (Ref²)

O aproveitamento da energia do hidrogênio, sonho de há muito tempo acalentado pela ciência, parece estar próximo da realidade. Constituir-se-á, sem dúvida, em uma conquista tecnológica semelhante à fissão do átomo e ao lançamento das naves espaciais. Ambientalistas do mundo inteiro estão à espera da realização deste sonho porque, se o hidrogênio puder ser amplamente utilizado, substituindo as formas tradicionais de energia fóssil, o mundo será outro. Ter-se-á resolvido definitivamente o grave problema de poluição atmosférica, resultante da quei-

ma de hidrocarbonetos e carvão. Em futuro não muito distante, talvez em meados deste século, a energia do hidrogênio deverá ultrapassar todas as suas restrições tecnológicas e econômicas e estar com seu em-



O TU-155, movido a hidrogênio e gás natural, e assim não poluente, faz seu voo inaugural perto de Moscou

prego devidamente consolidado nos países mais desenvolvidos.

A economia do hidrogênio é uma meta científica que praticamente vem da segunda metade do século passado. A energia que o hidrogênio é capaz de prover é considerada de amplo espectro: ela praticamente pode ser utilizada em tudo, desde o mais modesto equipamento eletrodoméstico até as naves espaciais, passando, evidentemente, pelos aviões e automóveis. Aliás, no que se refere a aviões, a imprensa, no fim da década de 80 do século passado (*O Globo* de 26/5/1988), noticiava que o primeiro avião comercial russo, movido a hidrogênio, e não a combustível de jato, à base de petróleo, havia realizado um vôo experimental com pleno sucesso. Apesar da pouca repercussão no Ocidente, os especialistas americanos reconheceram que se tratava de um marco na aviação: pela primeira vez, um avião comercial levantava vôo movido a hidrogênio. Tal feito provocou novos apelos para o desenvolvimento de um

programa de combustível à base do hidrogênio nos Estados Unidos, comparando o vôo do avião russo ao lançamento do Sputnik, em 1957. Aliás, desde 1984, a Mercedes-Benz da Alemanha faz circular, em sua fábrica em Stuttgart, uma frota de dez automóveis movidos a hidrogênio.

O hidrogênio é um combustível limpo, disponível em quantidade ilimitada no Sol.

Seu poder calorífico é 2,6 vezes superior ao da gasolina. Na Terra, embora abundante, não se encontra livre. Para ser obtido, ele pode ser extraído de duas fontes: uma delas é o sulfeto de hidrogênio, encontrado em abundância nos lençóis de petróleo e gás e facilmente identificável pelo mau cheiro que exala (semelhante a ovo podre). Quanto mais profundos os depósitos de óleo cru e gás, maiores serão as reservas de sulfeto de hidrogênio. A outra fonte, mais à mão, são as águas dos rios e mares, aproveitando-se a

energia solar absorvida pela águas para o processamento da hidrólise. Parece que a extração do hidrogênio a partir do sulfeto é o método que vem sendo utilizado pela Rússia, que dispõe de tecnologia para separá-lo do enxofre e armazená-lo. O inevitável esgotamento dos combustíveis fósseis, os brutais riscos inerentes ao uso da energia atômica e a necessidade urgente de se reduzir a poluição atmosférica tornarão imperativo o amplo uso do hidrogênio e, certamente, incentivarão as pesquisas necessárias

para superar os inúmeros obstáculos tecnológicos, de modo a permitir a sua portalização e o seu emprego generalizado.

Por outro lado, a utilização de biocombustíveis, seja por meio da cana-de-açúcar ou do milho, para produção de etanol, como solução para a diminuição do uso dos combustíveis fósseis e conseqüente redução dos níveis de aquecimento global, não seria

**O hidrogênio é um
combustível limpo,
disponível em quantidade
ilimitada no Sol. Seu poder
calorífico é 2,6 vezes
superior ao da gasolina. Na
Terra, embora abundante,
não se encontra livre**

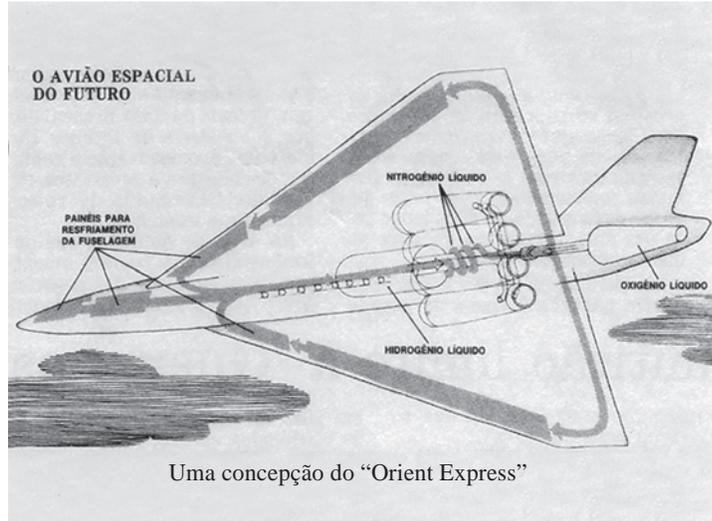
★ ★ ★

**Predisse Júlio Verne que a
água, um dia, seria o
combustível da humanidade
e, pelo seu hidrogênio, fonte
inesgotável de calor e luz**

a solução porque todos os tipos de biocombustíveis produzidos hoje geram uma “dívida de carbono” ao liberar de 17 a 420 vezes mais CO_2 que a redução de gases do efeito estufa, proporcionada pela substituição dos combustíveis fósseis, segundo a revista *Science* (fevereiro/2008). Convém acrescentar ainda que a maior demanda pelo consumo de alimentos, em face do aumento

populacional, assim como pela produção de bio-combustíveis para atender ao desenvolvimento nacional, irá exigir cada vez mais uma gradativa expansão das fronteiras agrícolas, muitas vezes com prejuízos de ecossistemas específicos, como é o caso do Pantanal Mato-Grossense, onde se discute atualmente a perspectiva de se utilizar áreas daquela região para abrigar plantações de cana-de-açúcar.

Predisse Júlio Verne que a água, um dia, seria o combustível da humanidade e, pelo seu hidrogênio, fonte inesgotável de calor e luz. Esse elemento H pode ser fabricado a partir da água como insumo fundamental, pela energia elétrica, da fissão nuclear, do calor solar ou da energia das marés. É o menor poluente de todos os combustíveis, pois seu resíduo é simplesmente vapor d’água. Trata-se de um elemento líquido à temperatura de 259 graus centígrados abaixo de zero. É extremamente leve, 70 gramas por litro de hidrogênio líquido. Em estado gasoso, é inodoro, insípido, incolor e inócuo. É o nono elemento químico mais abundante na natureza. Entretanto, sua associação com a bom-



ba de hidrogênio e com a explosão do dirigível Hindenburg, em Lakehurst, em 1937, indevidamente o aponta como elemento de alta periculosidade.

Conhecido desde o século XVI – era o “ar inflamável” obtido quando se jogava limalha de ferro sobre ácido sulfúrico –, foi alvo de diversos estudos, dos quais resultou seu nome. Em fins de 1700, o químico inglês Cavendish observou que da chama azul do gás pareciam se formar gotículas de água, e Lavoisier, em 1783, se baseava nisso para sugerir o nome hidrogênio, do grego “gerador de água”. Simplesmente durante a combustão o hidrogênio se combina com o oxigênio, dando origem à água.

O hidrogênio é matéria-prima importante para diversos produtos industriais. No setor químico, por exemplo, é uma das matérias-primas para as sínteses do metanol (álcool metílico) e do amoníaco, este de aplicação muito variada na indústria de adubos e na têxtil. Durante a Segunda Guerra Mundial, a Alemanha utilizou-o para a fabricação de gasolina sintética. Simplesmente misturado com o oxigênio, na proporção de 2 para 1, o hidrogênio forma um produto de alto poder detonante que ex-

plode com temperatura de 700°C. Foi essa característica sua que condenou o seu uso nos aerostatos e dirigíveis (como o Zeppelin) que usavam o hidrogênio como gás de sustentação, por este ser 15 vezes mais leve que o ar. Essa é, ainda, a causa de explosões em gasômetros. No entanto, é exatamente uma mistura desse tipo que fornece aos foguetes o empuxo necessário para que deixem a atmosfera terrestre.

Outra aplicação importante do hidrogênio são os processos de hidrogenação, especialmente na indústria de produtos químicos, de petróleo e de alimentos.

Naturalmente, vários anos e muitos acidentes ocorrerão durante a trajetória de substituição do combustível líquido de gasolina para hidrogênio. Numerosos problemas técnicos deverão ser resolvidos previamente. Levíssimo, o litro de hidrogênio líquido tem 11% do peso de 1 litro de gasolina. Assim, um tanque de automóvel a gasolina com 40 litros de capacidade poderá ser diminuído para acomodar o hidrogênio líquido equivalente, sob o ponto de vista energético. O isolamento térmico e a proteção contra choques do tanque constituirão, certamente, graves problemas de construção, cabendo à pesquisa e à experiência resolvê-los. Como todo combustível líquido ou gasoso, o hidrogênio exige manuseio correto,

Como todo combustível líquido ou gasoso, o hidrogênio exige manuseio correto, mas não tão cuidadoso quanto, por exemplo, o do gás de cozinha engarrafado, que tem 40% de propano

mas não tão cuidadoso quanto, por exemplo, o do gás de cozinha engarrafado, que tem 40% de propano.

Os motores de automóveis a hidrogênio serão de explosão, mas, para a mesma potência, muito menores que os de gasolina⁽¹⁾. Será o hidrogênio combustível ideal para alimentar os jatos pela notável diminuição de peso morto das aeronaves em condições de voo.

Certamente, o mundo a hidrogênio será diferente do mundo a petróleo. Internamente, talvez de uso mais arriscado, em compensação pacífico, no que concerne às relações internacionais. Todos os países produzirão seu combustível líquido, sem carecer importá-lo, situação que traz consigo inúmeras e importantes conseqüências políticas.

A permanente crise do petróleo, agravada pela instabilidade política dos países produtores do Oriente Médio; o gradativo acréscimo da demanda de energia para atender à expansão econômica e industrial, sobretudo dos países da União Européia, Estados Unidos, Rússia, Índia, China e Brasil; o agravamento das condições de poluição atmosférica e do aquecimento global; e a insuficiência e impraticabilidade de tal situação ser atenuada ou compensada pelo uso de biocombustíveis irão acarretar, sem dúvi-

(1) Atualmente, os protótipos de automóveis desenvolvidos pelas principais fábricas têm privilegiado o motor elétrico, em face das vantagens que os carros elétricos apresentam. Eles não emitem gases, são silenciosos, têm aceleração suave, baixa vibração, vida útil elevada e necessitam de pouca manutenção. Aliás, a idéia de carros a eletricidade é bem antiga. Boa parte dos primeiros carros produzidos no mundo era movida a bateria. Somente em 1908, com Henry Ford, houve a mudança em favor dos combustíveis fósseis.

da, o gradativo cancelamento dos obstáculos econômicos ao uso do hidrogênio. É lícito, portanto, considerar esse combustível como necessário, e mesmo imprescindível, para atender às necessidades energéticas da humanidade, principalmente em face do esgotamento prático dos combustíveis fósseis, talvez a partir de meados deste século.

No Brasil, a euforia governamental pelo uso do biocombustível da cana-de-açúcar (etanol) e, agora, pelas recentes descobertas do petróleo nos chamados campos de pré-sal, o que coloca o Brasil entre os países com maior reserva de petróleo do mundo, não o isenta de integrar-se ao avanço tecnológico de excepcional importância, que representa o amplo uso do hidrogênio como combustível. Países como Estados Unidos, Alemanha, França, Reino Unido, Rússia e Japão vêm desenvolvendo pesquisas no sentido de encontrar a solução de muitos problemas relativos à industrialização e generalização do uso do hidrogênio. Apesar de tudo indicar que essa fonte de energia será provavelmente mais cara do que as atuais, restará imbatível a vantagem própria do hidrogênio, pela sua incapacidade de ser prejudicial ao meio ambiente, como normalmente acontece com qualquer outro combustível.

A tarefa de substituição de um combustível por outro é enorme e muito difícil. Obstáculos técnicos devem ser vencidos antes do domínio do mercado. Os problemas brasileiros surgidos na implantação do programa do álcool combustível dão idéia das perspectivas das difi-

culdades que se desenham na substituição do petróleo pelo hidrogênio. Todavia, valerá a pena o mundo dedicar-se a essa gigantesca tarefa, tanto em face do inevitável esgotamento futuro do petróleo como para salvar o planeta das consequências incontroláveis da poluição e do aquecimento global.

As futuras fábricas de hidrogênio serão provavelmente edificadas em torno de uma central atômica geradora de eletricidade, capaz de suprir energia para promover a eletrólise da água, da qual resultará produção simultânea de hidrogênio e oxigênio. Tais fábricas, para produção do hidrogênio em grande escala, serão possivelmente instaladas em ilhas marítimas, naturais ou flutuantes.

Nesta oportunidade, não podemos deixar de mencionar como a mais importante energia do mar, se bem que ainda “em potencial”, o deutério existente em suas águas. Quando o homem vier a reali-

**Assim, se a humanidade
conquistar a fusão
controlada, o oceano será
a sua grande fonte de
energia, um manancial
efetivamente inesgotável**

zar a fusão controlada, o fará em reações que envolvam o deutério, isto é, o hidrogênio pesado (o deutério, isótopo do hidrogênio, tem o seu átomo com um próton e um nêutron no núcleo, enquanto o hidrogênio tem só um próton; o outro isótopo do hidrogênio é o trício, com dois nêutrons no núcleo). Obtendo a fusão controlada e superando o obstáculo e confinamento de altíssimas temperaturas, haverá necessidade de uma energia, em forma portátil, que será certamente o hidrogênio líquido, também extraído por eletrólise da água do mar.

Assim, se a humanidade conquistar a fusão controlada, o oceano será a sua gran-

de fonte de energia, um manancial efetivamente inesgotável⁽²⁾.

No caso do Brasil, torna-se necessário que os responsáveis pelo seu destino antevejam essa nova realidade energética e criem as condições necessárias para que o País obtenha a capacitação científica e tecnológica adequada para dela participar, atribuindo a tais condições a prioridade que sua excepcional importância requer. A não-participação do Brasil nesse processo poderá levar a uma situação em que a era dos combustíveis fósseis seja ultrapassada, com o País possuindo, ainda, em seu território, emerso e imerso, lençóis petrolíferos, cuja exploração se torne desaconselhável economicamente⁽³⁾.

Como sugestão, os recursos financeiros necessários para o País se integrar a essa nova realidade energética poderão ser conseguidos de uma parcela daqueles obtidos com a exploração dos campos do pré-sal. Desse modo, paradoxalmente, o próprio petróleo irá financiar a sua substituição pelo hidrogênio.

A perspectiva da existência, em futuro próximo, de um estado mundial de superabundância energética, apenas dependendo de tecnologia, levou um futurologista a publicar

em fins do século passado, na revista *The Economist*, de Londres, a seguinte previsão:

“Consequência trágica disso será que em futura Noite de Natal, a mais meritória caridade consistirá talvez em socorrer os Estados árabes arruinados pela monocultura de um petróleo que ninguém mais quer. Segundo todas as probabilidades, essa caridade será principalmente subscrita por judeus ricos. E ninguém vai chorar muito por causa disso.”

Recentemente, a imprensa vem divulgando os testes que estão sendo feitos com o Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider, ou LHC, na sigla em inglês), um superacelerador de partículas subatômicas, que pretende reproduzir as condições existentes no explosivo nascimento do universo, o bigue-bangue. É um projeto que envolve cerca de 10 mil cientistas de 80 países, com investimentos da ordem de 8 bilhões de dólares. Para salvar o planeta das trágicas consequências ocasionadas pela queima de combustíveis fósseis e carvão, não tem havido vontade política da comunidade internacional para a implementação de providências rigorosas, necessárias à reversão do quadro grave de alterações que já vem sendo observado na

(2) Novas fontes de energia tem sido procuradas em todo mundo. Porém, os físicos tem depositado suas esperanças na fusão nuclear. Quando fundimos átomos de hidrogênio obtemos átomos de hélio e, nesse processo, grandes quantidades de energia são liberadas.

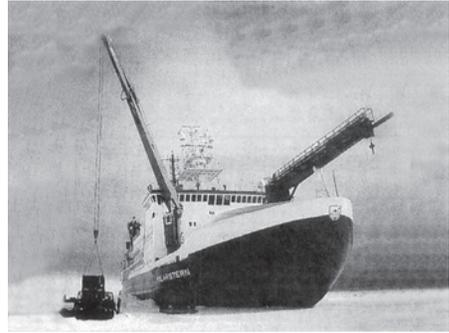
Para dar início à fusão é necessária uma temperatura superior a 100 milhões de graus centígrados. Com isso, microondas aquecem o gás composto por átomos de hidrogênio. Em 1997, na pesquisa européia sobre fusão, a JET (Joint European Torus), na cidade britânica de Culham, manteve uma fusão nuclear por apenas alguns segundos, e esse acontecimento foi celebrado por pesquisadores como um grande êxito.

A construção do próximo reator, o ITER (sigla em inglês do INTERNATIONAL THERMONUCLEAR EXPERIMENTAL REACTOR), decidida em 2006, reúne a União Européia, os Estados Unidos, a Rússia, o Japão, a China, a Coreia do Sul e a Índia. O ITER pretende investigar a fusão termonuclear controlada, não só para reproduzir o que acontece no núcleo do Sol, mas principalmente para verificar a possibilidade da obtenção de nova fonte de energia. O combustível utilizado é o hidrogênio ou seus isótopos pesados deutério e trício.

(3) O Governo deveria exigir das fábricas de automóveis que operam no Brasil (Mercedes, Renault, Ford, GM, Fiat, por exemplo), o desenvolvimento de projetos visando o lançamento de protótipos para testes, à semelhança do que vem sendo feito na Europa, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul, principalmente. O Brasil tem condições para apresentar uma frota consistente de veículos elétricos, a pilha de combustível de hidrogênio, em prazo talvez de cerca de dez anos.

vida na Terra. Talvez com um projeto da magnitude do LHC, mas que tivesse como propósito resolver os problemas científicos e tecnológicos que permitissem, em prazo razoável, a substituição dos combustíveis fósseis pelo hidrogênio líquido, o problema energético esteja completamente resolvido e a Terra definitivamente salva das alterações poluidoras e climáticas.

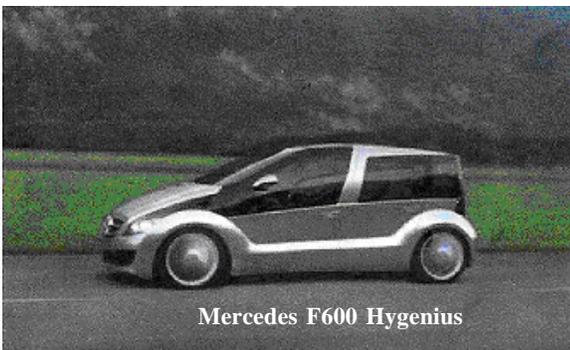
Aliás, as lideranças internacionais deram uma demonstração explícita de que, para eles, a Terra vale bem menos do que as bolsas de valores. Em menos de um mês, o derretimento do sistema financeiro internacional custou mais de 2 trilhões de dólares (só o pacote de líderes europeus para os bancos é da ordem de 1,36 trilhão). Nos Estados Unidos, fala-se em algo em torno de 3 trilhões. Isso é muito mais do que o Relatório Stern estimou que seria necessário para salvar o planeta do aquecimento global até o fim do século, caso os governos levantassem os recursos necessários no momento atual, o que não aconteceu. Preparado pelo ex-economista chefe do Banco Mundial, Nicholas Stern, em 2006, o Relatório estimou que consertar o clima do planeta custaria de 1% a 3% do PIB mundial (1% equivale, grosso modo, a cerca de



O navio de pesquisa alemão *Polarstern*, cientistas comprovaram degelo acelerado no Ártico

650 bilhões de dólares). Não fazer nada custará 20% do PIB planetário. E os governos dão sinais de que não farão mesmo nada de significativo. Porém as bolsas não são as únicas a derreter. O gelo dos pólos vai literalmente por água abaixo e, com ele, o sistema climático. O sinal mais recente já foi observado. Um navio de pesquisas alemão, o *Polarstern*, se tornou o primeiro barco a circunavegar o Pólo Norte. Em 2013, presume-se que não haverá mais gelo no verão do Ártico. “E se a Bolsa de Nova York não quebrava há 80 anos, o Ártico também não derreteria dessa forma há 3 milhões de anos”. (*O Globo* de 21/10/2008).

VEÍCULOS DE PESQUISAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO OU A PILHA DE HIDROGÊNIO, SEM EMISSÃO DE POLUENTES



Mercedes F600 Hygenius

Em 2005, a Mercedes-Benz apresentou um novo veículo de pesquisas, o Mercedes F-600 Hygenius, que funciona com motor elétrico. A energia elétrica para funcionamento do motor é gerada por uma pilha de combustível, através da reação química entre hidrogênio e oxigênio, em um processo que não produz emissão. O excedente de energia produzido é armazenado em

uma potente bateria de íon-lítio. Este sistema permite selecionar a melhor energia para a manobra do veículo: se a pilha de combustível, nas acelerações, ou se apenas a bateria, em manobras de estacionamento, por exemplo.

Também, na Alemanha, a BMW lançou o BMW H2R, abastecido inteiramente pelo processo de queima limpa da combustão



Foto cedida pela BMW AG. Munique, Alemanha

de hidrogênio líquido. O BMW H2R apresenta um motor V-12 de 6 litros movido a hidrogênio. O motor a combustão de hidrogênio opera sobre o mesmo princípio que outros motores a combustão interna, a não ser pelo fato de o hidrogênio líquido ser usado como fonte de combustível, em vez de gasolina ou óleo diesel.

A Opel, divisão europeia da General Motors, em novembro do ano passado, deu início na Alemanha, ao projeto “Drive Way”.

A idéia desse projeto é testar 100 unidades de um modelo de carro, que funciona a

hidrogênio. Os carros já passaram pelos Estados Unidos, Japão, Coreia do Sul e China e, agora, rodarão em Berlim, capital alemã. Além de contar com o apoio do Governo alemão, o projeto é amparado por diversas multinacionais, entre elas a Allianz, a Coca-Cola e a Schindler.

Na França, a Renault, em união com a Nissan, desenvolveu o protótipo Renault Scénic ZEVH2. O motor é elétrico, cuja eletricidade, para seu funcionamento, é gerada por uma pilha de combustível, que combina o hidrogênio com o oxigênio, e



Renault Scénic ZEV H2

suplementada por uma bateria de íon-lítio. A pilha de combustível, o reservatório de hidrogênio de alta pressão e a bateria são fornecidos pela Nissan, enquanto os engenheiros da Renault, fazem a integração desses elementos aos sistemas elétricos e eletrônicos do protótipo. O Renault Scénic ZEVH2 foi criado para demonstrar a viabilidade do conceito de pilha de combustível – o único resíduo emitido é água – e, entre junho e setembro de 2008, promoveu várias demonstrações em seis países europeus.

No Japão, a Toyota e a Honda, e na Coreia do Sul, a Hyundai, lançaram também modelos de automóveis movidos a hidrogênio. Aliás, no mundo inteiro, as principais fábricas de automóveis estão construindo protótipos de carros movidos a hidrogênio: a Fiat, a Ford, a Peugeot, a Suzuki, a Peugeot-Citroën, a Mitsubishi, a Mazda, a Kia, a Volkswagen e outras.



Modelos do projeto “Drive Way”, da GM



Toyota FCHV Hydrogen Hybrid Vehicle

Na cidade de Burbank, na Califórnia, vai ser apresentado oficialmente um protótipo



Honda

de ônibus não poluente, o HFC35, movido a pilha de hidrogênio, com bateria. O HFC35



Hyundai

pode viajar 400 quilômetros sem precisar de recarga e libera na atmosfera somente vapor d'água. O HFC35 está previsto para entrar em circulação ainda no primeiro semestre de 2009.



HFC35 – ônibus não poluente

☞ CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Hidrogênio; Tecnologia;

BIBLIOGRAFIA

- Moreira da Silva, Paulo de Castro, Vice-Almirante (RRm). *Usos do Mar*, 1978.
- Paiva, Glycon de. *O hidrogênio como substituto do petróleo* (Dez. 1986), Carta Mensal – Confederação Nacional do Comércio.
- Bakker, Mucio Piragibe Ribeiro de. *A energia de futuro* (1988), Ag. Planalto, Brasília.
- Ciência Ilustrada*, XL Vols., Abril Cultural (1969). Volume I – A estrutura do átomo, pág. 226; O metadno, pág. 231; O hidrogênio industrial, pág. 292; Volume II – o Estado líquido, pág. 531; O hidrogênio eletrolítico, pág. 674; Volume IV – Os álcoois, pág. 1.343; Volume V – A fissão nuclear, pág. 1.815.

Laurindo

INFORMAÇÕES

(0XX-21) 2233.9165

Pitta

O navio que continua
a todo vapor



Ele participou da Primeira Guerra Mundial, realizando árduas tarefas de apoio. Sem dúvida, este foi o maior acontecimento na sua longa existência. São quase cem anos de atividade. Construído em 1910, na Inglaterra, por encomenda do Governo brasileiro, o Rebocador *Laurindo Pitta* prestou serviços até a década de 90.

Em 1997, a aposentadoria do *Laurindo* parecia irreversível. Atracado no cais da Base Naval, em Mocanguê, no Rio de Janeiro, estava imobilizado por obsolescência de suas máquinas. Mas a Marinha resolveu recuperá-lo. Para isso, contou com apoio e patrocínio da Liga dos Amigos do Museu Naval.

Hoje, ele está de volta à ativa, realizando passeios na Baía de Guanabara. A bordo, os passageiros podem visitar a exposição “A Marinha do Brasil na Primeira Guerra Mundial”. Além de fotos e reportagens publicadas em jornais da época, a mostra expõe modelos de embarcações da Divisão Naval em Operações na Primeira Guerra Mundial e peças da coleção do Almirante Frontin.

Venha navegar com o *Laurindo Pitta* e faça um passeio inesquecível pela História, e pela Baía de Guanabara.

