

## Combustíveis – materiais essenciais para prover energia à nossa sociedade

Paulo Emílio V. de Miranda

Editor-Chefe  
Revista Matéria  
[pmiranda@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:pmiranda@labh2.coppe.ufrj.br)

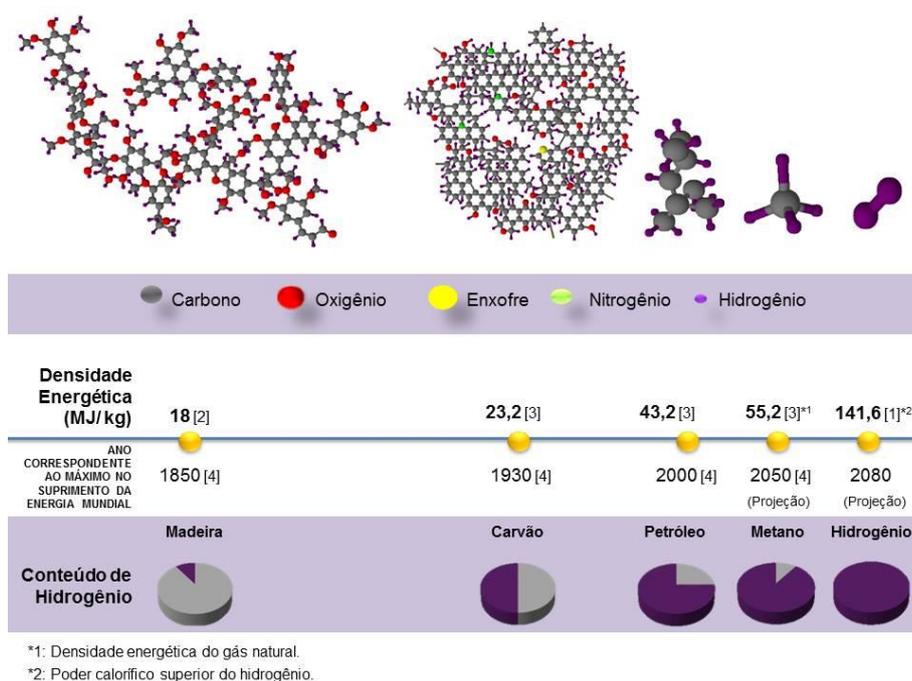
Dentre a grande variedade de materiais que são estudados e caracterizados, os combustíveis representam uma classe especial devido ao seu caráter essencial para a existência e sobrevivência da nossa sociedade, a qual requer progressivamente quantidades crescentes de energia para produzir bens, serviços, víveres e garantir o funcionamento de máquinas, equipamentos e veículos. Embora combustíveis nucleares e a água sejam utilizados para a geração de energia elétrica em larga escala e os álcoois, os óleos vegetais e as gorduras de origem animal foram e continuam sendo usados para fins energéticos, a cena mundial tem sido dominada há séculos pela madeira e, subsequentemente, pelos combustíveis fósseis, o carvão, o petróleo e o gás natural. Estes, normalmente reagindo com o oxigênio, proveem o potencial energético requerido ao liberar para uso humano parte da energia química que contêm. A abordagem de época recente, a partir da Revolução Industrial, mostra características descritas na Figura 1, que utilizou desenhos adaptados das estruturas químicas dos combustíveis de Gupta [1], dados médios de densidade energética [1- 3], apresenta os anos de máximo suprimento mundial para cada combustível com projeções da literatura [4] e própria e inclui o hidrogênio como o vetor energético do futuro. Aqui vale ressaltar que o hidrogênio não é um combustível primário como os demais apresentados na Figura 1, por requerer uma fonte de energia para que seja produzido a partir da água, de combustíveis fósseis ou de biomassas para atuar como um portador de energia.

Vários aspectos importantes decorrem da análise da Figura 1, tais como:

1. A complexidade química dos combustíveis abordados decresce fortemente com o passar dos anos. A madeira e o carvão possuem configuração química muito mais complexa do que os seus sucedâneos;
2. Há uma diminuição importante no teor de carbono, configurando uma descarbonização progressiva dos combustíveis que veem sendo utilizados pela nossa sociedade;
3. O conteúdo energético que cada combustível disponibiliza cresce de forma muito significativa na era do óleo e do gás natural e tem potencial para um novo grande salto com o uso do hidrogênio. Os valores de densidade energética para o carvão, o petróleo e o gás natural foram obtidos como sendo a média reportada para os dez maiores produtores mundiais desses combustíveis [3];
4. O teor de hidrogênio é progressivamente aumentado, tornando-se majoritário no petróleo e no gás natural, este último essencialmente composto por metano, até apresentar-se o hidrogênio como o gás combustível do futuro e cunhar uma nova era para a humanidade;
5. Os combustíveis vêm sendo usados pela nossa sociedade de forma simultânea, isto é, ainda hoje utilizamos a madeira para fins energéticos. Entretanto, há épocas específicas em que um determinado combustível dominou a cena mundial, sendo utilizado para suprir a maior quantidade de energia consumida no mundo. Isso ocorreu com a madeira no alvorecer da Revolução Industrial, no entorno de 1850; com o carvão até o momento em que o transporte veicular trouxe o uso do combustível líquido do século XX, por volta de 1930; e com o petróleo no início deste milênio. Atualmente, estamos em plena era do metano, elemento majoritário no gás natural, no gás de síntese, no gás de folhelho e em biogases, que se projeta atingir o máximo no suprimento global em meados do século XXI. Uma extensão desse cenário pode ser imaginada caso a exploração do hidrato de metano, existente em grande quantidade no fundo dos oceanos, tornar-se viável técnica e comercialmente. É importante, considerar também que o declínio no uso dos combustíveis fósseis ocorre mesmo que continuem disponíveis na quantidade requerida, já que motivações de caráter ambiental forcem a sua substituição, abrindo mais espaço para as energias renováveis. Com base em análise da cinética da evolução dos combustíveis usados em larga escala até então, foi possível projetar que a humanidade terá, por volta de 2080, as suas necessidades energéticas supridas essencialmente pelo derradeiro e inesgotável combustível, o hidrogênio. Vale ressaltar que o início da era do hidrogênio não envolverá apenas o uso direto de hidrogênio, mas

sobretudo de compostos que o contêm em alta densidade. A era do hidrogênio também abre oportunidades para uso mais eficiente da energia e com menor agressão ao meio ambiente, operacionalizando formas sustentáveis para a exploração energética. Além disso, haverá uma mudança de caráter geopolítico muito importante baseada no fato de que o hidrogênio pode ser produzido a partir de muitas matérias primas diferentes, disponíveis em todos os países do mundo, contrariamente à ocorrência localizada dos combustíveis fósseis. Isso criará um diferencial enorme em relação à situação vivenciada em todo o século XX e que contamina o início do século XXI, quando intervenções interpaíses e disputas acirradas pela propriedade e comércio do óleo ou do gás natural vêm causando perdas irreparáveis à humanidade. Bem adiante, nos séculos subsequentes, o domínio avançado da Física Atômica deverá permitir transposição para novo patamar de intensidade energética com o aproveitamento da energia contida nos átomos e por reações nucleares entre estes de forma controlada.

O desafio científico e tecnológico para entrar na era do hidrogênio é também um grande desafio para a área de ciência e engenharia dos materiais, pelo requisito de conhecimento apurado de matérias primas, de métodos tecnológicos e de novos materiais para possibilitar ou facilitar a produção, o armazenamento e o uso seguro do hidrogênio. A revista *Matéria* vem trabalhando esse tema [5] e reforça o convite para que novos artigos mostrem os novos caminhos possíveis a seguir.



**Figura 1:** Combustíveis usados pela nossa sociedade desde a Revolução Industrial, mostrando sua progressiva descarbonização e aumento no teor de hidrogênio e na densidade energética, com indicações e projeções de períodos correspondentes ao pico de utilização.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] GUPTA, R.B., “*Hydrogen Fuel-Production, Transport and Storage*”. B. Raton, Fl, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
- [2] Energy Statistics Manual, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics\\_manual.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual.pdf).
- [3] Key World Energy Statistics, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>.
- [4] AUSUBEL, J.H., GRUBLER, A., NAKICENOVIC, N., “Carbon Dioxide Emissions in a Methane Economy”, *Climatic Change* v. 12, n. 03, pp. 245-63, 1988.
- [5] MIRANDA, P.E.V., “Materiais para uso na indústria de energia”, *Matéria*, v. 18, n. 01, 2013.