

Coleção Química no Cotidiano
Volume 2

Claudio J. A. Mota
Nilton Rosenbach Jr.
Bianca Peres Pinto

Química e Energia

Transformando Moléculas
em Desenvolvimento

Coleção Química no Cotidiano

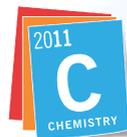
Volume 2

Química e Energia: Transformando Moléculas em Desenvolvimento

Claudio J. A. Mota

Nilton Rosenbach Jr.

Bianca Peres Pinto



International Year of
CHEMISTRY
2011

QUÍMICA PARA UM MUNDO MELHOR

São Paulo | Sociedade Brasileira de Química | 2010

Projeto Comemorativo da Sociedade Brasileira de Química Ano Internacional da Química-2011 (AIQ-2011)

Coordenadores do projeto

Claudia Moraes de Rezende e Rodrigo Octavio Mendonça Alves de Souza

Editora-chefe

Claudia Moraes de Rezende

Revisores

Mara E.F.Braibante, Claudia M. Rezende, Rodrigo O. M. A. Souza e Maria Joana Zucco

Arte gráfica e editoração

Cabeça de Papel Projetos e Design LTDA (www.cabecadepapel.com)

Ilustrações

Henrique Persechini (henriquepersechini@gmail.com)

Ficha Catalográfica

Wanda Coelho e Silva (CRB/7 46) e Sandra Beatriz Goulart da Silveira (CRB/7 4168)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

M917q Mota, Cláudio J. A.

Química e energia: transformando moléculas em desenvolvimento. / Cláudio J. A. Mota, Nilton Rosenbach Jr., Bianca Peres Pinto. – São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010.

104p. il. - (Coleção Química no cotidiano, v. 2)

ISBN 978-85-64099-02-9

1. Química. 2. Combustíveis. 3. Energia. I. Rosenbach Jr., Nilton. II. Pinto, Bianca Peres. III. Título. IV. Série.

CDD: 541.361
660.2961

CDU: 662
541.126

Todos os direitos reservados – É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por outro meio.

A violação dos direitos de autor (Lei nº 5.988/73) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) pela oportunidade de escrever este texto. Agradecimentos também são devidos ao CNPq, à FAPERJ, à FINEP, ao Programa de Recursos Humanos da ANP e ao INCT de Energia e Ambiente pelo auxílio financeiro para condução de pesquisas relacionadas com a área-tema deste livro.

Apresentação

A palavra energia tem origem no idioma grego εργος (ergos) e significa "trabalho". Ou seja, a energia está relacionada à realização de ações no sentido o mais amplo possível: de mover objetos à quebra ou formação de ligações químicas.

A Química é o ramo da ciência dedicado à OBSERVAÇÃO, TRANSFORMAÇÃO e CONSTRUÇÃO. O trabalho do Químico inclui a observação e/ou determinação de estrutura ou composição de espécies químicas presentes nos seres vivos, no ambiente ou nos materiais, bem como a transformação e a construção de novas moléculas. A Química envolve entender como a estrutura das substâncias está relacionada com as suas propriedades; como as reações químicas ocorrem; que átomos se “movem”, quando e para onde; como a energia é utilizada para promover transformações; e como substâncias catalisam reações. Em resumo, todas as atividades químicas envolvem energia!

No sentido amplo, dentre os grandes desafios atuais e futuros da humanidade, a energia e o ambiente ocupam posições de destaque. As questões energética e ambiental são os maiores desafios da humanidade nesta primeira metade do século XXI. O crescimento atual da demanda energética é significativo e não poderá ser suprido apenas pelas atuais fontes, em especial os combustíveis fósseis (óleo, carvão e gás natural) que

representam mais de 75% da matriz energética mundial. A queima de petróleo, carvão e gás natural tem contribuído fortemente para o crescimento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, refletindo de forma danosa no clima global do planeta. Ou seja, muitos dos problemas ambientais dependem diretamente da forma como a energia é produzida e usada.

Nos próximos 50 anos, as necessidades de demanda de energia atingirão cerca de 30 a 60 TW e a sustentabilidade ambiental requer que as fontes sejam limpas e de baixo custo. No caso das economias emergentes, como Brasil, Índia e China, a demanda de energia está aumentando tão rapidamente que pode dobrar nos primeiros vinte anos deste século. Isto coloca a questão energética e ambiental como uma questão global, cujos principais desafios incluem produzir, estocar e transportar combustíveis derivados de biomassa (*e.g.* etanol, biodiesel, biogás), hidrogênio e metanol, de forma sustentável, bem como captar, estocar e transportar energia solar. Nesse sentido, o livro “QUÍMICA E ENERGIA: TRANSFORMANDO MOLÉCULAS EM DESENVOLVIMENTO”, dos colegas Claudio J. A. Mota, Nilton Rosenbach Jr. e Bianca Peres Pinto, proporciona aos leitores uma viagem rica – conceitualmente e cientificamente – e agradável, revelando como as questões química e energética estão totalmente entrelaçadas.

Jailson B. de Andrade

Professor Titular

UFBA

Sobre os autores



Claudio J. A. Mota

Natural do Rio de Janeiro. Formou-se em Engenharia Química pela UFRJ e possui Mestrado e Doutorado em Química Orgânica também pela UFRJ. Trabalhou no Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) na área de refino de petróleo. Em 1997 transferiu-se para o Instituto de Química da UFRJ, onde atualmente é Professor Associado. Esteve, também, como Professor Convidado na Universidade Louis Pasteur, em Estrasburgo, França. Atualmente é um dos coordenadores da área de co-produtos da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel do Ministério da Ciência e Tecnologia. É pesquisador nível 1 do CNPq e Cientista do Nosso Estado junto a FAPERJ, além de ser integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Energia e Ambiente. No ano 2000, ganhou o Prêmio TWAS, outorgado pela Academia Mexicana de Ciências ao melhor trabalho de colaboração científica entre o México e países da América Latina. Em 2007 foi o vencedor do Prêmio de Tecnologia da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM). O Prof. Claudio já orientou mais de 30 alunos de graduação e pós-graduação, publicou cerca de 75 artigos em periódicos científicos e é co-autor de 11 patentes. Seus interesses de pesquisa estão relacionados à energia e meio ambiente, sobretudo no desenvolvimento de processos de refino de petróleo, transformação do gás natural, biocombustíveis e conversão química do CO₂.

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química,
Av. Athos da Silveira Ramos 149, CT Bloco A,
21941-909, Rio de Janeiro, Brasil cmota@iq.ufrj.br*



Nilton Rosenbach Jr

Engenheiro Químico formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É Mestre e Doutor em Química Orgânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). No período 2007-2008 realizou um estágio de pós-doutoramento em Físico-Química de materiais no Institut Charles Gerhardt da Universidade de Montpellier 2, França. Atualmente é professor Adjunto do Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO), onde ensina Química Orgânica, Físico-Química e Petroquímica. Suas atividades de pesquisa incluem temas relacionados à Modelagem Molecular aplicada ao estudo de materiais porosos, tendo-se em vista as mais diversas aplicações.



Bianca Peres Pinto

Doutoranda em Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É formada em Licenciatura em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Mestre em Química pelo IQ-UFRJ. Foi Professora Substituta do Departamento de Química Analítica da Universidade Federal do Rio de Janeiro e possui experiência em ensino de Química. Seu trabalho de tese envolve reações de transformação química da glicerina oriunda da produção do biodiesel.

Prefácio

A Química é considerada uma ciência central, localizada entre a Física – que estuda o Universo como um todo, desde partículas subatômicas até estrelas – e a Biologia – que se preocupa com os seres vivos. A Química não estuda diretamente nem o cosmo nem o mundo biológico, mas seus conceitos, sobretudo as leis que governam a transformação da matéria, são importantes para o entendimento de como se formou e funciona o Universo e a própria vida. A Química possui muitas faces, e contribui enormemente para o progresso e o bem-estar da população. Nesta publicação, iremos mostrar como a Química está ligada à energia que utilizamos para ouvir uma música em um aparelho de MP3, para nos deslocarmos num veículo movido a gasolina ou a álcool e para obtermos eletricidade que faz funcionar diversos aparelhos da nossa residência.

A energia tem um papel preponderante para o homem. Sem ela, não existiríamos e nem tampouco construiríamos nossas sociedades. O homem foi capaz de mudar o ambiente para criar cidades, estradas e interligar países, graças ao controle e uso da energia, sobretudo dos combustíveis. Até a Idade Média, a lenha foi o principal combustível utilizado pelo homem. Com a Revolução Industrial, inicialmente o carvão se tornou a fonte de energia mais importante, sendo posteriormente superado pelo petróleo, que até hoje responde por grande parte das necessidades energéticas do mundo. Mas

para onde vamos? O petróleo irá mesmo acabar? Quais as novas fontes de energia para o futuro? Os biocombustíveis competem com a produção de alimentos? A energia nuclear pode ser a solução para o aquecimento global? Estas e outras questões são abordadas de forma simples e direta no livro "Química e Energia: Transformando Moléculas em Desenvolvimento".

O livro começa com uma sessão introdutória onde é discutida a importância da energia para o homem, e como a Química está ligada à produção de combustíveis, baterias e pilhas. Na sessão seguinte, há uma breve introdução ao conceito de energia e reações químicas, utilizando-se exemplos do quotidiano. As duas próximas sessões falam sobre a utilização de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e o gás natural. É dada particular ênfase aos tipos de compostos químicos encontrados no petróleo e como ele pode ser transformado nas refinarias, em combustíveis como a gasolina, o querosene e o óleo diesel. A produção de plásticos a partir de derivados do petróleo, ou petroquímica, também é destacada nesta sessão. Os plásticos podem ser considerados os materiais do século XX e revolucionaram usos e costumes da sociedade moderna.

Os biocombustíveis e sua relação com a produção de alimentos são discutidos nas cinco sessões seguintes. O biodiesel, obtido a partir de óleos vegetais, gordura animal e até mesmo óleo de fritura, e o etanol, obtido a partir da cana-de-açúcar são os destaques destas sessões. Os processos de produção destes dois biocombustíveis são discutidos de forma bem simples, para não-especialistas na área. Comentam-se, ainda, os chamados

biocombustíveis de 2ª geração, como o etanol obtido a partir de material celulósico e o biodiesel de algas. A questão da produção de alimentos e biocombustíveis é abordada de forma clara, desvendando os mitos e as verdades. Por fim, o biogás – ou gás do lixo – também é discutido nessas sessões, sendo mostrado de forma simples seu processo de obtenção.

As pilhas e baterias são estudadas nas cinco sessões subsequentes. Sabe-se que esses dispositivos são muito utilizados no mundo atual em diversos aparelhos eletrônicos, como telefones celulares, aparelhos de MP3, computadores portáteis, dentre outros. Além do princípio de funcionamento de uma pilha, abordam-se, também, os tipos mais comuns, como a pilha alcalina e a pilha seca, bastante utilizadas no dia a dia. O texto também trata das células a combustível, dispositivos usados nos vôos espaciais para a Lua na década de 1970, e que podem se tornar uma opção energética mais limpa e viável no futuro.

Por fim, a questão da energia nuclear é colocada de forma bem simples, mostrando-se os princípios básicos que regem uma reação nuclear e como grandes quantidades de energia são geradas neste processo. Os perigos da utilização sem controle da energia nuclear, relacionada à disposição do chamado lixo atômico, bem como os benefícios que ela traz por não afetar o clima do planeta são também enfocados. A última sessão traz um resumo de tudo que foi abordado e discutido anteriormente, fazendo um convite a você, cientista do futuro, a despertar a paixão para o conhecimento e pelas novas descobertas.

Os autores

Índice

1. Introdução	17
2. Energia e reações químicas	20
3. Os combustíveis fósseis: petróleo, gás natural e carvão	28
4. Petroquímica: o petróleo a serviço da sociedade moderna	45
5. Biocombustíveis: a energia que se renova	49
5.1. Biodiesel: a energia que vem das plantas	54
5.2. Etanol: combustível para veículo, não para o motorista	62
5.3. Biogás: lixo virando energia	70
5.4. Alimentos biocombustíveis: verdades e mitos	72
6. Pilhas e baterias: a energia portátil	74
6.1. O funcionamento de uma pilha	78
6.2 Tipos de pilhas	84
7. Células a combustível: o futuro é o hidrogênio	87
8. Impacto ambiental do uso de pilhas e baterias	91
9. Energia Nuclear: perigo para o ambiente ou solução para o aquecimento global?	94
10. Considerações finais	99
11. Referências	101

1

Introdução

A energia é a mola propulsora do Universo. Sem ela não existiriam estrelas, planetas, vida e civilizações. Vivemos num mundo dinâmico, onde a energia está sendo sempre transformada. Aliás, esta é uma das leis fundamentais do Universo: a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. Assim, a energia do Sol, que chega a nós todos os dias, é produto da transformação da energia contida no núcleo dos átomos em luz e calor, seguindo a famosa fórmula de Einstein, onde $E = mc^2$. Ou seja, a energia é igual à massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz (Figura 1).

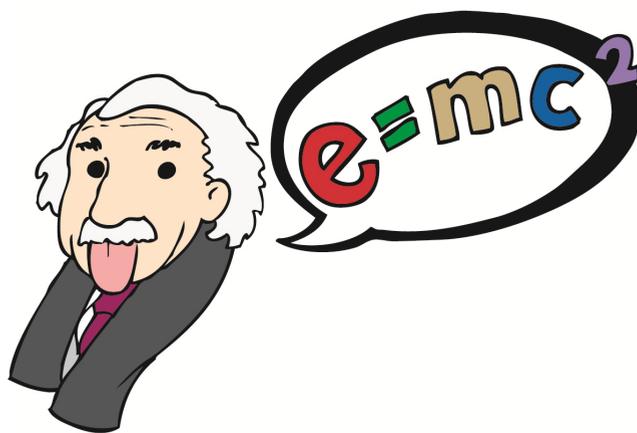


Figura 1- Einstein e a equivalência de energia e massa.

A energia elétrica utilizada para ligar o computador ou ver televisão pode vir da transformação da energia potencial de uma queda d'água ou mesmo de uma reação química, quando utilizamos pilhas e baterias. A respiração dos seres vivos nada mais é que o transporte de oxigênio para as células, o qual é utilizado na queima de açúcares para geração de energia para o corpo. Esse processo é, fundamentalmente, o mesmo que ocorre nos motores dos automóveis. A gasolina reage com o oxigênio do ar dentro do motor dos veículos, formando gás carbônico e água como produtos, e liberando uma grande quantidade de energia que propulsiona o veículo. Esse processo se chama combustão e converte a energia química, contida nas ligações que os átomos fazem na molécula, em calor e luz.

O conceito de energia transcende a Física, permeando pela Química e pela Biologia. Os processos químicos, em muitos casos, são utilizados para a geração de energia. Assim como a vida, que nada mais é do que uma diversidade de reações ocorrendo de forma sistemática e organizada no interior das células, utilizando e gerando energia.

A evolução da espécie humana está muito ligada ao uso da energia. O fogo permitiu que nossos ancestrais pudessem cozinhar os alimentos, facilitando a ingestão e a digestão. Isto levou a uma mudança na dieta, que passou a incluir a carne como um alimento diário. A maior ingestão de carne permitiu o melhor desenvolvimento do cérebro, já que esse alimento é rico em proteínas essenciais para os processos celulares. Dessa forma, o macaco primitivo foi evoluindo, incorporando a arte e as ciências a sua vida. Isto

também só foi possível graças à luz gerada por tochas e fogueiras, que permitiram a iluminação das cavernas para que o artista primitivo pudesse retratar o seu mundo na forma de pinturas rupestres.

O homem atual é um grande consumidor de energia. Hoje, a energia não é utilizada apenas para satisfazer as necessidades vitais do ser humano, mas também para propiciar-lhe conforto. As grandes cidades se valem de sistemas de transportes bem organizados e integrados. Os automóveis, trens e ônibus utilizam grandes quantidades de energia para se moverem e levarem o ser humano ao seu destino. A energia elétrica é essencial para o funcionamento de máquinas e aparelhos utilizados no dia a dia da sociedade. Sem ela, não seria possível utilizarmos o computador e termos acesso, através da internet, a uma infinidade de informações úteis para nossa vida e conhecimento.

Para ler o conteúdo das próximas páginas, de modo a entender melhor o que está por trás da energia que consumimos ao queimar gasolina em um automóvel, ou quando utilizamos o MP3 para ouvir música, é preciso gastar um pouco da energia acumulada em nossos corpos. Convidamos todos a fazê-lo. É importante também compreender que algumas fontes de energia são limitadas, e que devemos preparar o planeta para utilizar outras fontes de energia, sobretudo àquelas que podem ser consideradas renováveis.

O convite está feito, e esperamos que esse pequeno gasto de energia na leitura do texto seja compensado pelo melhor entendimento do assunto.

Acreditamos que alguns leitores possam, no futuro, se interessar por esta área da Química, quando, então, precisarão empenhar um pouco mais de energia para estudá-la em mais detalhes.

2

Energia e reações químicas

Há uma lei fundamental do Universo, a lei da conservação de energia, que diz que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. Isto quer dizer que, quando nos divertimos andando de montanha russa, transformamos a energia potencial adquirida pelo carrinho ao ser colocado no ponto mais alto do brinquedo, em energia cinética (Figura 2). Essa, por sua vez, é responsável pelo ganho de velocidade que descarrega tanta adrenalina e emoção ao longo das curvas e descidas da montanha russa.

Quando utilizamos um aparelho elétrico, como a torradeira, a televisão, ou mesmo o computador, estamos transformando a energia potencial acumulada na queda d'água de uma usina hidrelétrica em energia elétrica, que é transportada até nós através de fios e condutores. Do mesmo

modo, quando utilizamos a torradeira para fazer uma torrada, estamos transformando a energia elétrica da tomada em calor, que esquento o pão até o ponto desejado para obter uma torrada crocante. Esses exemplos mostram como diferentes tipos de energia, potencial, cinética, elétrica, calorífica, dentre outras, podem ser transformadas.

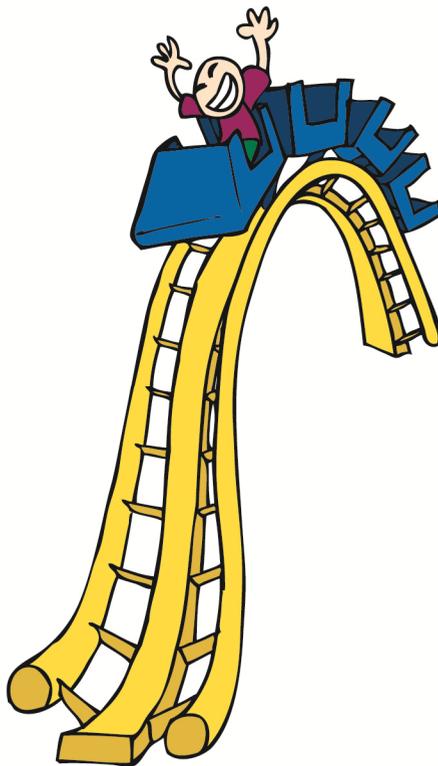


Figura 2- Montanha russa, transformando energia potencial em cinética.

Do mesmo modo, quando utilizamos um aparelho de MP3, estamos transformando a energia química contida na pilha em energia elétrica, que faz funcionar os circuitos e os demais componentes eletrônicos do sistema. Um veículo movido a gasolina, álcool ou diesel transforma a energia química, contida nas moléculas desses combustíveis, em calor e energia mecânica, responsáveis pela movimentação do automóvel. Portanto, a geração de energia a partir de compostos químicos é de extrema importância para a sociedade moderna. Sem os combustíveis não poderíamos nos locomover com eficiência e rapidez; sem as pilhas e baterias, muito das facilidades e conforto da vida moderna, como aparelhos de MP3 e telefone celular, não estariam disponíveis.

Mas como e por que a energia química é convertida em outras formas de energia?

Compostos químicos são formados por átomos que se ligam uns aos outros. É o que chamamos de ligação química. De modo bem simples, podemos entender uma reação química como a quebra das ligações entre os átomos dos reagentes e a formação de novas ligações químicas nos átomos que compõem os produtos. Por exemplo, o gás natural utilizado nas indústrias, residências e automóveis é composto basicamente de metano, uma molécula formada por um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio. No metano, o átomo de carbono realiza quatro ligações, uma com cada átomo de hidrogênio. Ao queimá-lo, ocorre uma reação chamada de combustão. Ou seja, o metano reage com a molécula de oxigênio (O_2) do ar

para produzir dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) e vapor d'água (Figura 3).



Figura 3- Reação de combustão do gás natural.

Do ponto de vista químico, a combustão do metano envolve a quebra de várias ligações, como as do carbono e do hidrogênio e das ligações na molécula de oxigênio. Formam-se, em seguida, ligações entre o carbono e o oxigênio na molécula de CO₂, e ligações entre hidrogênio e oxigênio, gerando a água.

Acontece que a energia contida numa ligação química depende, sobretudo, do tipo de átomos envolvidos. Ou seja, as ligações químicas entre os átomos possuem energias diferentes e, dessa forma, reagentes e produtos vão estar em patamares de energia distintos, sendo a diferença nesse caso transformada em calor, que usamos para cozinhar, aquecer um ambiente ou mesmo movimentar o automóvel, quando queimamos o gás natural.

Sabemos que a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada. Façamos um paralelo entre uma viagem de automóvel numa estrada montanhosa com o caminho de uma reação química, dos reagentes até os produtos.

A Figura 4 mostra que o carro parte de um ponto mais alto da estrada (A) e chega até um ponto de menor altitude (B). Em tese, se estivéssemos em uma estrada reta, sem curvas, poderíamos deixar o carro descer livremente, pois a energia potencial acumulada seria transformada em energia cinética, fazendo o carro chegar ao seu destino. Da mesma forma, numa reação química onde a energia dos reagentes é maior (ponto A) que a energia dos produtos (ponto B), a diferença pode aparecer na forma de calor. É o que chamamos de reação exotérmica.

Ao contrário, se tivéssemos uma situação como a mostrada na Figura 5, onde o ponto de partida (C) está mais baixo que o ponto de chegada (D) do carro, precisaríamos acelerar bastante o veículo para transformar energia cinética, que dá velocidade ao carro, em energia potencial, de forma a vencer a diferença em altitude. O mesmo se aplicaria a uma reação química. Se os reagentes possuem energia menor (C) que os produtos (D), precisaríamos fornecer calor para vencer essa diferença. É o que chamamos de reação endotérmica. É importante entender que a energia química a que estamos nos referindo nesses exemplos está associada, fundamentalmente, à energia das ligações químicas que estão sendo quebradas e formadas. O estudo do fluxo de calor que podemos ter numa reação química é chamado de termodinâmica e é importante para entender porque elas ocorrem.

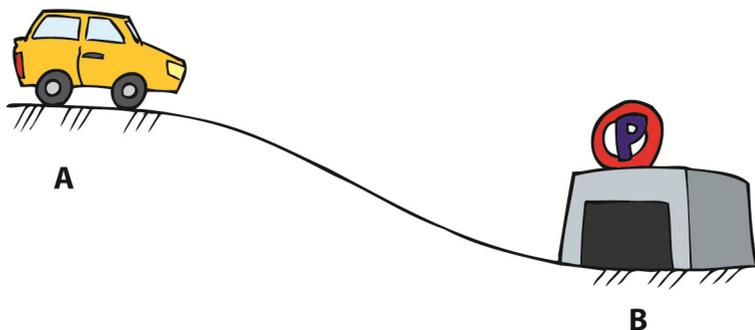


Figura 4- Representação de uma reação exotérmica (energia potencial transformada em energia cinética ou liberação de calor).

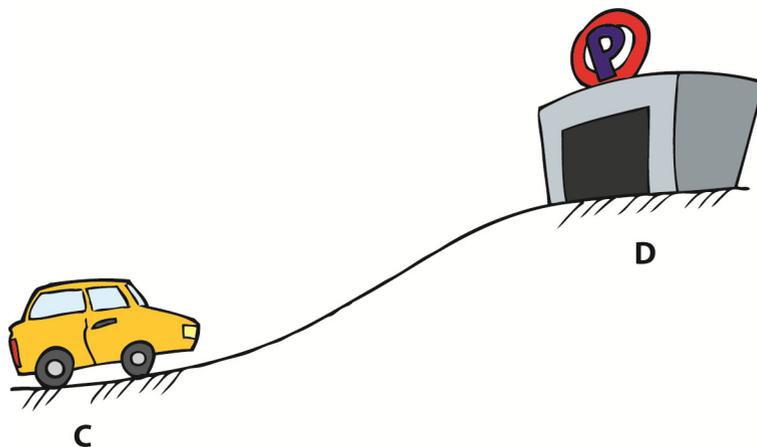


Figura 5- Representação de uma reação endotérmica (energia cinética transformada em energia potencial, ou fornecimento de calor).

O fato de saber que uma reação é exotérmica (libera calor) não nos diz nada sobre a facilidade ou rapidez com que ela ocorre. Por exemplo, a gasolina só queima no interior do motor porque existe um dispositivo eletrônico chamado vela, que solta uma faísca elétrica no interior do cilindro

fazendo com que a combustão aconteça. A gasolina não queima em contato direto com o ar na temperatura ambiente ou na ausência de uma fagulha ou faísca elétrica. Isto porque o caminho de uma reação entre reagentes e produtos pode ser muito mais complexo.

A Figura 6 mostra uma situação em que o carro precisa ir de um ponto mais alto (E) até um ponto mais baixo (G). Se tomarmos somente os pontos de partida e chegada poderíamos imaginar que a perda de energia potencial seria compensada pelo ganho em energia cinética e não seria necessário nenhum gasto de energia adicional. Entretanto, entre a partida e a chegada há o ponto (F), que se situa numa altura maior que a do ponto de partida (E). Conseqüentemente, não seria possível ultrapassar esse ponto a partir do ponto (E) sem que alguma energia adicional fosse transferida para o veículo. Ou seja, para que possamos chegar de (E) até (G), temos que vencer a barreira imposta pelo ponto F gastando alguma energia.

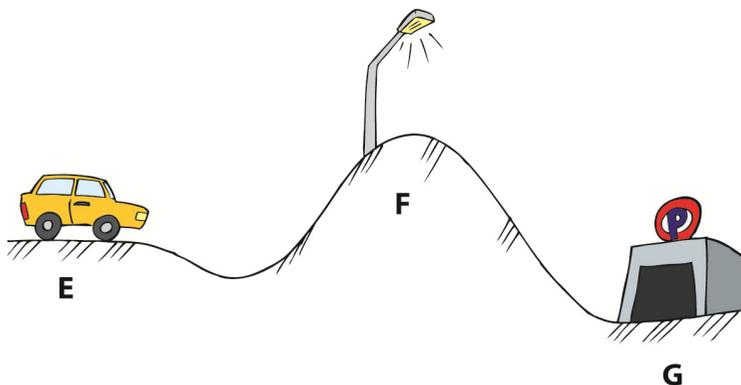


Figura 6- Representação da energia de ativação (F) necessária para que uma reação química ocorra.

Se fizermos o mesmo paralelo para uma reação química vemos que, apesar da energia dos reagentes (E) ser maior que a dos produtos (G), a reação só ocorrerá se conseguirmos ultrapassar o ponto (F), cuja energia é maior que a dos reagentes e produtos. Em termos químicos, a barreira de energia que precisa ser vencida pelos reagentes no caminho até os produtos se chama energia de ativação, e está relacionada com a facilidade ou a velocidade que uma reação ocorre. Em outras palavras, a quebra de ligações químicas dos reagentes requer, muitas vezes, a introdução de uma quantidade extra de energia, como uma faísca elétrica no caso da queima da gasolina, de forma a iniciar a quebra das ligações químicas entre os átomos, levando aos produtos. Vale ressaltar que essa energia adicional é devolvida ao sistema, e o calor final liberado é função apenas das energias de reagentes e produtos.

3

Os combustíveis fósseis: petróleo, gás natural e carvão

O petróleo é usado pela humanidade há muitos anos. Na Babilônia, onde hoje se localiza o Iraque, os povos utilizavam petróleo para calefação, impermeabilização de residências e pavimentação de vias. O petróleo também foi usado em múmias do Egito Antigo e há evidências de que os chineses perfuravam poços para achar petróleo.

O petróleo, o carvão e o gás natural são combustíveis fósseis, gerados há milhões de anos pela decomposição de seres vivos. A origem do petróleo e do gás natural está associada à decomposição dos animais; a do carvão, à dos vegetais. Contudo, todos eles se originaram de restos de seres vivos que habitaram o planeta há milhões de anos. Simplificadamente, pode-se descrever o processo de formação do petróleo pela deposição de restos de animais no fundo de lagos e mares, que com o passar do tempo foram acumulando sedimentos e empurrando a matéria orgânica para as camadas mais profundas da crosta terrestre. Lá, pela ação do calor e da pressão que

as camadas superiores exerciam sobre essa matéria orgânica, ela se decompôs, dando origem ao petróleo, que ficou armazenado em rochas porosas no interior do solo.

É errado pensar que o petróleo forma uma camada única na crosta. Na verdade, ele está preso no interior de rochas que contêm vazios, ou poros, onde fica aprisionado. Essas rochas são usualmente chamadas de rochas reservatório, pois armazenam o óleo até que o homem, com sua moderna tecnologia, consiga extraí-lo de seu interior (Figura 7).

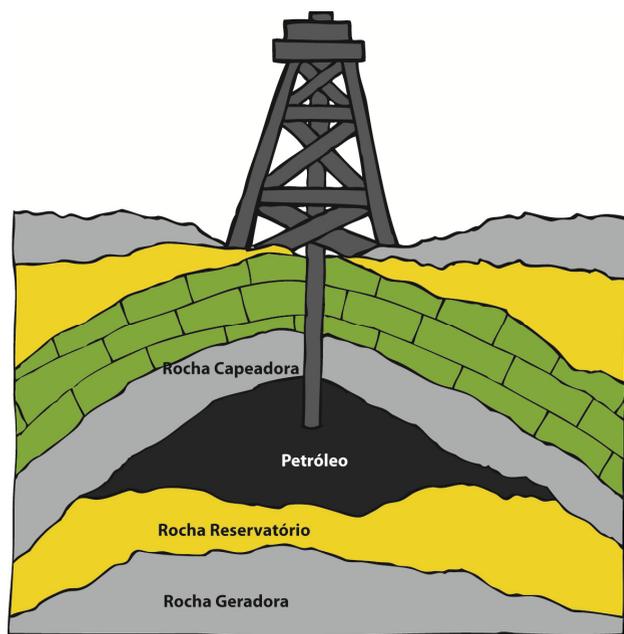


Figura 7- Esquema de uma jazida de petróleo, mostrando as rochas geradoras, reservatório e caeadora. (Figura modificada de Decifrando a Terra - W. Teixeira e cols. 2000)

A indústria moderna do petróleo surgiu nos Estados Unidos, em 1859, quando William Drake perfurou um poço para produção do óleo. Nesta época, o principal uso do petróleo era para a produção de querosene, utilizado na iluminação. Seu uso proporcionou uma revolução na iluminação de casas, fábricas e estabelecimentos comerciais, ajudando a preservar as baleias. Em meados do século XIX, o óleo de baleia era o principal combustível para lamparinas e lâmpões, e a caça a esse formidável mamífero aquático colocava em perigo sua sobrevivência. A queima do querosene obtido do petróleo proporcionava uma luz mais intensa e brilhante, gerando muito menos odores desagradáveis. A utilização do querosene rapidamente ganhou grandes proporções em todo o mundo e incentivou a indústria do petróleo, que foi crescendo em um ritmo alucinante.

A descoberta da eletricidade e o invento da lâmpada elétrica, no final do século XIX, poderiam ter posto a nocaute a indústria do petróleo. Afinal, o uso do querosene para iluminação estava perdendo importância na Europa e nos Estados Unidos. Entretanto, outra invenção ao final do século XIX iria revolucionar a humanidade e estabelecer, de forma definitiva, a indústria do petróleo na sociedade moderna. O motor a explosão interna, utilizado nos automóveis, permitiu uma melhor e mais rápida mobilidade ao ser humano, aproximando cidades e países. O combustível para este motor é a gasolina, que é obtida, também, a partir do petróleo. O rápido crescimento da indústria automobilística impulsionou ainda mais a indústria petrolífera, que no início do século XX já era muito forte economicamente.

Do ponto de vista químico, o petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos, podendo conter, também, enxofre, nitrogênio, oxigênio e alguns metais em sua composição. Hidrocarbonetos são moléculas formadas pela ligação de átomos de carbono e hidrogênio. Uma característica dos hidrocarbonetos é formar cadeias contendo átomos de carbono. Ou seja, nas moléculas de hidrocarbonetos o carbono pode ligar-se entre si para formar cadeias contendo dois ou mais átomos. A forma e as propriedades dos derivados do petróleo estão relacionadas à quantidade de átomos que formam essas cadeias. Assim, o gás natural contém hidrocarbonetos com um e dois átomos de carbono. O gás liquefeito de petróleo (GLP), ou gás de botijão, contém três e quatro átomos de carbono na cadeia. A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos com cinco a até dez átomos de carbono na cadeia. O óleo diesel possui de dezesseis a vinte átomos de carbono, aproximadamente, e assim por diante. Quanto mais pesado e viscoso for o derivado, mais átomos de carbono na cadeia ele terá. A cera de parafina pode conter até quarenta átomos de carbono e já se apresenta em estado sólido, assim como o asfalto, que também possui alguns metais e átomos de oxigênio em sua composição.

Existem cinco classificações para os hidrocarbonetos: alcanos, alquenos ou alcenos, alquinos ou alcinos, cicloalcanos e aromáticos. O átomo de carbono realiza quatro ligações químicas simultâneas. Nos alcanos, cada átomo de carbono da cadeia está sempre ligado a quatro outros átomos através de ligações simples. A Figura 8 mostra a estrutura química do *n*-

octano, um hidrocarboneto que pode estar presente no petróleo e que possui oito átomos de carbono ligados uns aos outros, formando uma cadeia. Os átomos de carbono que estão no fim da cadeia se ligam também a três átomos de hidrogênio, enquanto os átomos de carbono do interior da cadeia estão ligados a dois átomos de hidrogênio, para completar as quatro ligações que eles fazem. Portanto, os átomos de carbono nos alcanos formam apenas ligações simples com outros átomos de carbono e com átomos de hidrogênio. Sabendo esta regra, podemos deduzir uma fórmula molecular geral para os alcanos, que é $C_nH_{(2n+2)}$, onde n é o número de átomos de carbono na molécula.

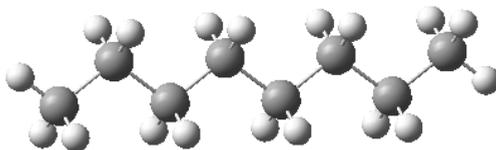


Figura 8- Estrutura química do *n*-octano.

Os alquenos ou alcenos, também chamados de olefinas, possuem ao menos uma ligação dupla entre os átomos de carbono. A Figura 9 mostra a estrutura do propeno, componente do gás liquefeito do petróleo, ou gás de botijão, utilizado em diversas residências brasileiras. Nota-se a formação de uma ligação dupla entre o átomo de carbono central e um dos átomos de carbono do fim da cadeia. Hipoteticamente, os alquenos são formados a

partir dos alcanos pela remoção de dois átomos de hidrogênio vizinhos, e formação da ligação dupla. Desta maneira, a fórmula molecular geral para os alquenos com uma dupla ligação é C_nH_{2n} .

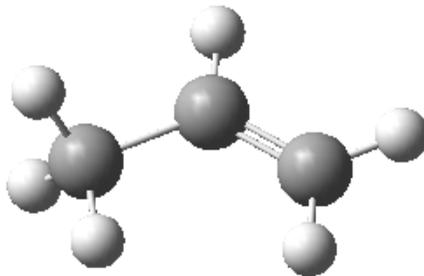


Figura 9- Estrutura química do propeno.

Os alquinos ou alcinos possuem ao menos uma ligação tripla entre os átomos de carbono. O etino, ou usualmente conhecido como acetileno, possui a estrutura mostrada na Figura 10. Nela, os átomos de carbono fazem três ligações entre si, restando, ainda, uma ligação com um átomo de hidrogênio para cada um deles. A fórmula geral para alquinos com uma tripla ligação é $C_nH_{(2n-2)}$. Os alquinos são menos comuns no petróleo, mas podem ser produzidos por processamento químico, ou também obtidos a partir do carvão mineral. O acetileno é o gás utilizado em soldas e maçaricos, pois quando queima dá uma chama bastante quente, capaz de fundir e unir determinados metais.

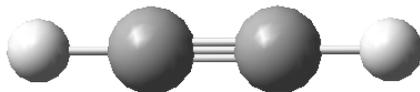


Figura 10- Estrutura química do acetileno (etino).

Os cicloalcanos são hidrocarbonetos cíclicos, onde cada átomo de carbono que forma o ciclo se liga a pelo menos outros dois átomos do mesmo elemento. A Figura 11 mostra a estrutura do ciclo-hexano, hidrocarboneto que pode estar presente na gasolina. Os cicloalcanos possuem a mesma fórmula molecular geral que os alquenos, C_nH_{2n} . Isto é muito comum nos hidrocarbonetos e chamamos este fenômeno de isomeria; ou seja, mais de um composto contendo a mesma composição química, mas com propriedades físicas diferentes.

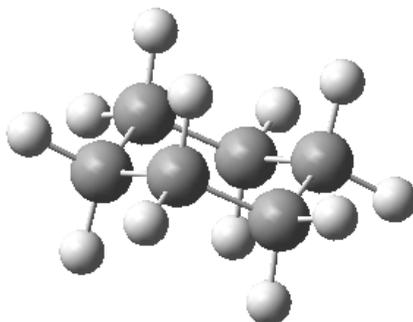


Figura 11- Estrutura química do ciclo-hexano.

Por fim, os hidrocarbonetos aromáticos são uma classe especial de compostos. Caracterizam-se por apresentarem um anel com seis átomos de carbono e três ligações duplas que se alternam de posição. A Figura 12 representa a estrutura do benzeno, o menor representante dessa categoria de hidrocarbonetos. As linhas pontilhadas entre os átomos de carbono do anel representam a alternância de posição das ligações duplas.

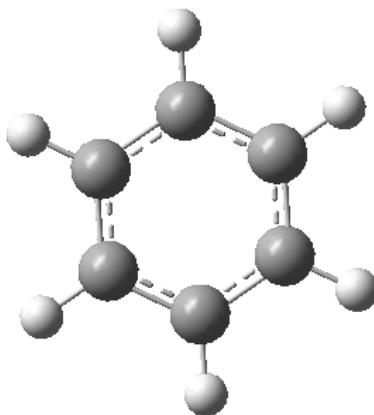


Figura 12- Estrutura química do benzeno.

O petróleo é raramente utilizado na forma bruta. Ele é inicialmente processado em refinarias, onde passa por processos de separação física e processamento químico. Uma mistura líquida pode ser separada por meio de um processo de destilação, que consiste na fervura e posterior condensação dos vapores para retorno à forma líquida. Industrialmente, isto é feito em uma coluna contendo níveis ou pratos para recolhimento das frações líquidas. O petróleo entra

na base da coluna e, pela ação do calor, as moléculas de hidrocarboneto são vaporizadas, ascendendo através da coluna. Como o ponto de ebulição, ou seja, a temperatura em que elas ferve, depende do tamanho da cadeia hidrocarbônica, os produtos mais pesados, como o óleo diesel e óleo combustível, se condensam em pratos ou níveis mais baixo da coluna, sendo removidos através de válvulas laterais. A gasolina, o querosene e o gás liquefeito do petróleo são mais leves e se condensam em pratos ou níveis superiores da coluna. Resta ainda o material mais pesado, contendo cadeias com muitos átomos de carbono, que sai pelo fundo da coluna e vai dar origem, primordialmente, ao asfalto (Figura 13).

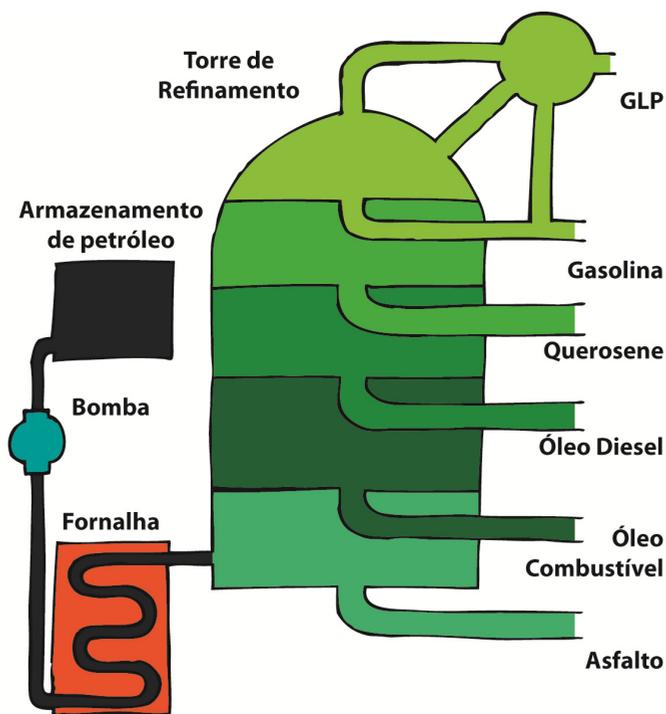


Figura 13- Esquema de uma coluna para destilação do petróleo. (Adaptado)

Até o começo do século XX, toda a gasolina consumida no mundo era obtida do processo de destilação do petróleo. Porém, a quantidade obtida de cada derivado por destilação depende da natureza do petróleo extraído do subsolo. Alguns tipos de petróleo são considerados mais leves, e rendem uma maior quantidade de gasolina e querosene. Outros petróleos são considerados pesados e tendem a produzir maiores quantidades de óleo combustível, que atualmente é utilizado para produção de lubrificantes e queima em indústrias. Assim, a oferta de gasolina dependia unicamente do petróleo extraído, que se tornava cada vez mais pesado, limitando a produção desse derivado. Dessa forma, foi preciso desenvolver processos de transformação química do petróleo, utilizando frações de menor demanda, como o óleo combustível, para produção dos derivados mais nobres, como a gasolina.

A principal diferença entre os derivados do petróleo está relacionada com a quantidade de átomos de carbono na molécula. Assim, para transformarmos as moléculas de hidrocarbonetos do óleo combustível em moléculas na faixa da gasolina temos que quebrar as cadeias. Ou seja, uma molécula típica do óleo combustível pode conter de vinte a trinta átomos de carbono e, para que obtenhamos gasolina, precisamos quebrá-la em pedaços menores, contendo de cinco a dez átomos desse elemento. Esse processo é chamado de craqueamento catalítico (do inglês *to crack* = quebrar) e ocorre pela ação da temperatura e de catalisadores, substâncias que aceleram a velocidade de uma reação química. Os catalisadores atuam na diminuição da energia de ativação ou barreira de energia necessária para quebrar as ligações químicas dos reagentes (veja outra vez a

Figura 6). Muitos processos industriais, e até mesmo biológicos, utilizam catalisadores. As enzimas são catalisadores biológicos que regulam o metabolismo dos seres vivos.

O catalisador usado na quebra das moléculas de hidrocarbonetos é um material sólido constituído basicamente de alumínio, silício e oxigênio. Ele possui, ainda, poros e canais por onde as moléculas do hidrocarboneto entram e se quebram ao contato com a superfície, obtendo-se moléculas menores, com menos átomos de carbono na cadeia (Figura 14). Praticamente toda a gasolina produzida no mundo, atualmente, vem desse processo químico e não diretamente da destilação do petróleo. O ajuste na composição do catalisador permite, também, obter outros derivados importantes, como o gás liquefeito do petróleo, ou GLP, utilizado em botijões para uso doméstico, e o óleo diesel, utilizado em veículos de passageiros e de carga, como ônibus e caminhões.

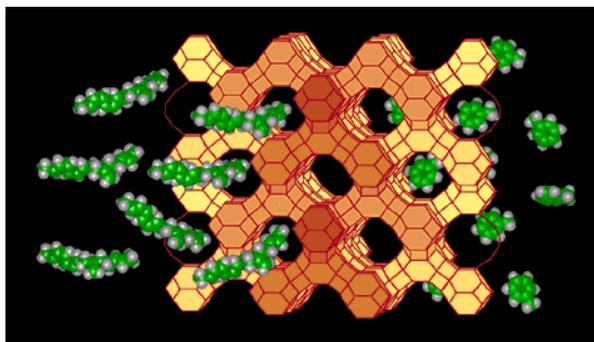


Figura 14- Visão artística do craqueamento de hidrocarbonetos no interior dos poros do catalisador.

A qualidade da gasolina está diretamente relacionada com a sua composição química. O motor a gasolina, também conhecido como motor a explosão interna, possui em geral quatro cilindros, onde ocorre a queima do combustível. É conhecido também como motor de quatro tempos. Dentro desses cilindros há um pistão móvel, que fica ligado indiretamente às rodas do veículo e o faz tracionar, bem como uma válvula de admissão de combustível e outra de exaustão de gases de combustão, além de um dispositivo eletrônico chamado vela. No primeiro tempo, o pistão móvel encontra-se no seu curso máximo e se movimenta para baixo, abrindo a válvula de admissão para aspirar a mistura gasosa de ar e gasolina. No segundo tempo, o pistão móvel comprime a mistura de ar e gasolina até um determinado ponto, ajustado pelo fabricante do automóvel, onde então ocorre uma faísca elétrica pela vela, fazendo com que a mistura queime e entre em ignição. Essa rápida liberação de gases de combustão (CO_2 e H_2O), associada ao calor liberado na queima da gasolina, empurra o pistão para baixo, fazendo o carro se movimentar (terceiro tempo). No quarto e último tempo, o pistão se movimenta para cima novamente, expulsando os gases de combustão pela válvula de descarga e o sistema está pronto para começar um novo ciclo. Alguns hidrocarbonetos, como os alquenos e os aromáticos, possuem melhores propriedades para queima no interior de motores e melhoram a qualidade da gasolina.

O catalisador é um ingrediente essencial no processamento químico do petróleo e o domínio de sua fabricação e correta utilização constitui

privilégio de poucos países no mundo. O Brasil está incluído nesse seleto grupo, pois produz e desenvolve catalisadores para o refino do petróleo, dominando assim todo o ciclo de produção de combustíveis fósseis, desde a exploração e produção de petróleo até o seu refino e a produção de combustíveis de alto padrão.

Alguns combustíveis, sobretudo o querosene, atualmente utilizado em aviões a jato, e o óleo diesel, utilizado em veículos de carga e transporte, necessitam de tratamento adicional, para a remoção de impurezas. Como mencionado anteriormente, o petróleo possui pequenas quantidades de enxofre e nitrogênio, derivados da matéria orgânica de animais que viveram há milhares de anos. Assim, é natural que tais elementos se encontrem em menor quantidade no petróleo extraído atualmente.

O principal problema associado à presença de compostos de enxofre e nitrogênio é a poluição atmosférica causada pela emissão de gases tóxicos, como os seus óxidos. A queima de combustível contendo enxofre e nitrogênio produz quantidades consideráveis desses óxidos, as quais, em contato com a umidade da alta atmosfera, voltam à superfície na forma de chuva ácida. Ou seja, o óxido de enxofre reage com a água presente nas nuvens formando ácido sulfúrico, que ao cair juntamente com a chuva, corrói construções, destruindo plantações e afetando os seres vivos. Os óxidos de nitrogênio também contribuem para a chuva ácida e causam problemas respiratórios nos seres humanos.

Para minimizar o problema, é comum o tratamento de derivados, como o diesel e o querosene, com hidrogênio. Este processo chama-se hidrotratamento e tem a finalidade de remover do combustível o enxofre e o nitrogênio, tornando-o mais adequado para uso em grandes metrópoles urbanas. O processo utiliza catalisadores específicos, que conseguem combinar o hidrogênio com as moléculas que contêm enxofre e nitrogênio, quebrando suas ligações químicas e formando gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3) como subprodutos (Figura 15). O gás sulfídrico sofre outra reação química, na qual é convertido em enxofre elementar para ser utilizado, por exemplo, no processo de vulcanização da borracha para torná-la mais rígida e menos pegajosa. A amônia é neutralizada com uma solução ácida e pode ser aproveitada como fertilizante para a produção de alimentos. Assim, nada é desperdiçado ou jogado de forma irresponsável na natureza.

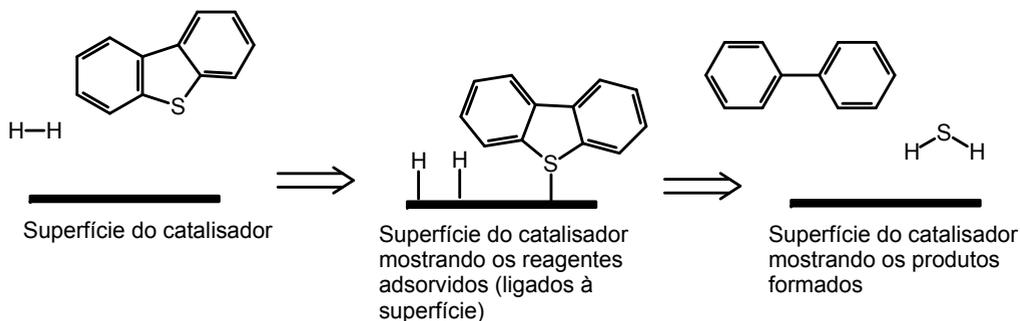


Figura 15- Representação esquemática da remoção de enxofre em frações de petróleo. Os anéis representam a classe de hidrocarbonetos aromáticos.

O hidrogênio utilizado no tratamento desses combustíveis também precisa ser obtido através de processamento químico. Apesar de ser a matéria mais abundante no Universo, presente em grande quantidade nas estrelas, como o próprio Sol, planetas e material interestelar, o hidrogênio não se encontra na forma elementar (H_2) na Terra, mas associado a outros átomos, sobretudo ao oxigênio, para formar água e ao carbono, para formar hidrocarbonetos. Dessa forma, é preciso transformar quimicamente essas substâncias para se obter hidrogênio gasoso (H_2). Há muitas formas de realizar a transformação, sendo a mais barata e eficiente, nos dias atuais, a reação da água com o gás natural, num processo chamado de reforma.

O gás natural é composto majoritariamente por metano, o hidrocarboneto mais simples que existe, formado pela ligação de um átomo de carbono com quatro átomos de hidrogênio (CH_4). Ao combinarmos metano e água na presença de um catalisador, a altas temperaturas, conseguiremos obter três moléculas de hidrogênio (H_2), saindo também uma molécula de monóxido de carbono (CO) (Figura 16). Contudo, o processo não pode parar neste estágio, pois o monóxido de carbono é um gás extremamente venenoso e que não pode ser emitido para a atmosfera. Ele é então direcionado para outro processo químico, onde irá reagir com a água, mais uma vez na presença de um catalisador específico, para produzir gás carbônico (CO_2) e mais uma molécula de hidrogênio.

O gás carbônico tem inúmeras aplicações industriais. Uma delas é na carbonatação ou gaseificação de bebidas. Na próxima vez que for beber um

refrigerante ou uma água mineral gasosa, pense que o gás contido no líquido pode ter vindo do processo de produção de hidrogênio para melhorar a qualidade dos combustíveis que utilizamos no nosso dia a dia. A indústria do petróleo, assim como a natureza, não desperdiça nada e todos os produtos têm uma destinação final.

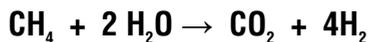
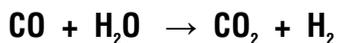
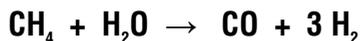


Figura 16- Reações para produção de H_2 a partir do gás natural e água.

Os combustíveis fósseis vêm sendo utilizados em grande escala desde meados do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial. Inicialmente, o carvão ocupou lugar de destaque, sendo o calor gerado na sua queima utilizado para produção de vapor que movimentava máquinas, locomotivas e navios. Porém, a queima do carvão deixava cinzas como subprodutos, além de ser altamente poluente, por apresentar um maior teor de enxofre, liberando os óxidos causadores da chuva ácida. Ademais, por ser um material sólido, é mais difícil de ser transportado e ocupa grandes espaços em navios e trens. Atualmente, ainda se usa o carvão para geração

de energia elétrica, sobretudo na América do Norte e Europa. Porém, há de se tomar cuidado para não emitir óxidos de enxofre para a atmosfera.

O gás natural é um combustível que cresce em utilização a cada dia. Seu uso na indústria, para geração de calor, tem sido muito incentivado pelo governo, em substituição ao óleo combustível, que é muito mais poluente. O grande problema no uso maciço do gás natural diz respeito ao seu transporte e estocagem. Por ser um gás, tem limitações quanto à compressão, o que restringe a estocagem em cilindros e vasos industriais. O transporte a partir de regiões remotas, como a Amazônia, onde há grandes reservas de gás natural, é outro grande problema, exigindo gasodutos imensos, que podem causar impactos ao meio ambiente. O gás natural extraído da Bacia de Campos, próximo a cidade do Rio de Janeiro, tem utilização mais ampla, pois sai praticamente direto do poço para o consumo, não requerendo grandes instalações para transporte e armazenamento. Assim, é comum vermos automóveis na cidade do Rio de Janeiro que são movidos a gás natural, acarretando uma menor poluição ambiental e diversificando a matriz de combustíveis automotores do país.

O século XXI ainda terá uma grande participação dos combustíveis fósseis no total da energia consumida no mundo. O petróleo é a principal fonte de energia do planeta e continuará sendo pelos próximos anos, apesar das discussões a respeito do esgotamento de suas reservas. Devido à sua origem fóssil, e tendo sido formado há milhões de anos a partir de restos de seres vivos, o petróleo é finito e um dia veremos o fim da sua era na Terra.

Estima-se que a tecnologia atual só consegue extrair de 25 a 30% da quantidade de petróleo dos reservatórios. Ou seja, a maior parte ainda continua no subsolo, esperando que novas tecnologias de produção sejam desenvolvidas.

4

Petroquímica: o petróleo a serviço da sociedade moderna

A indústria do petróleo modificou o modo de vida da sociedade moderna, trazendo bem-estar, conforto e novos materiais, como os plásticos. A chamada petroquímica originou-se a partir do aproveitamento de frações do petróleo com pouca qualidade para uso como combustível. A nafta, uma gasolina de pior qualidade para queima em motores, é a matéria-prima principal para produção de plásticos. O processamento químico da nafta gera moléculas pequenas, contendo entre dois e oito átomos de carbono em média, a partir da qual são gerados inúmeros produtos. Entre eles estão os

polímeros (macromoléculas), popularmente conhecidos como plásticos, que são moldados para se tornarem utensílios domésticos, fibras para confecção de roupas, peças para automóveis, materiais de construção, espumas e inúmeros artigos utilizados no dia a dia (Figura 17). Os plásticos revolucionaram o século XX, permitindo que um maior número de pessoas tivesse acesso a roupas, móveis, automóveis e utensílios diversos.



Figura 17- Alguns utensílios feitos de material plástico.

A indústria petroquímica pode ser dividida em três segmentos ou estágios (Figura 18). O primeiro é onde a nafta derivada do petróleo é transformada quimicamente em moléculas como eteno, propeno, benzeno e tolueno, entre outros produtos. Estes compostos são a base para formação de diversas substâncias produzidas no segundo estágio, ou segunda geração da petroquímica. Assim, o eteno sofre uma reação onde suas moléculas combinam-

se entre si para formar o polietileno (o outro nome como o eteno é conhecido é etileno, daí o uso da palavra polietileno). O propeno também pode sofrer o mesmo tipo de reação para formar o polipropileno (propileno é outro nome do propeno). Esses plásticos são transformados em utensílios e materiais diversos no terceiro segmento ou terceira geração da indústria petroquímica. O polipropileno, por exemplo, pode ser moldado na forma de potes que são utilizados diariamente por inúmeras famílias para armazenamento de alimentos, podendo ir diretamente do freezer ao forno de micro-ondas. Ele também é muito utilizado na indústria automobilística para a confecção de partes do automóvel, em substituição ao metal. O polietileno é utilizado na confecção de sacolas plásticas usadas em inúmeras situações do dia a dia.

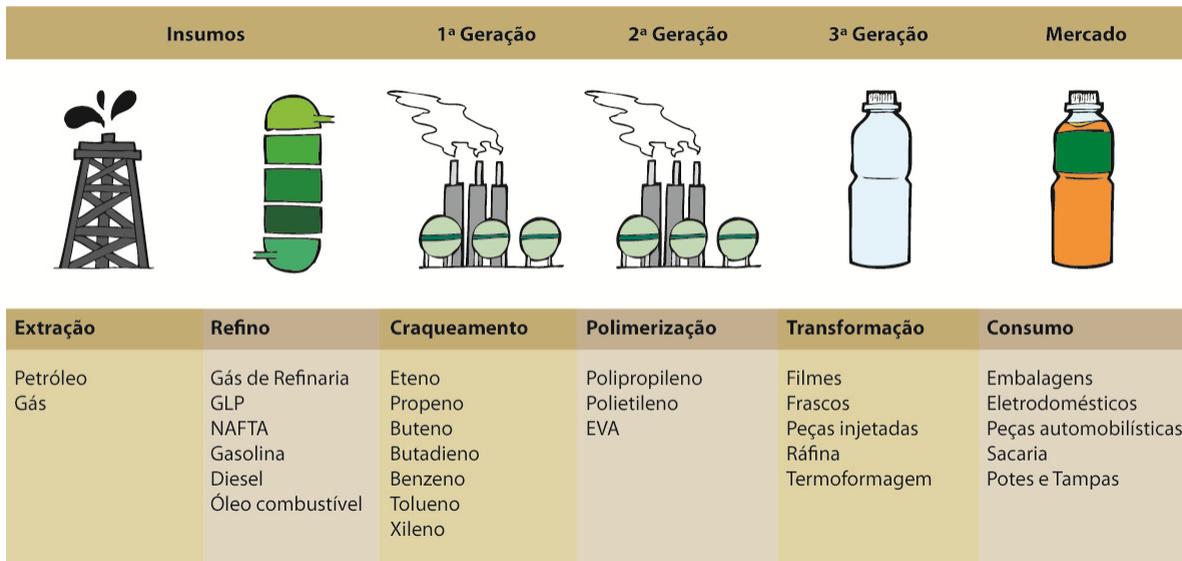


Figura 18- A cadeia petroquímica.

Atualmente, muitas pessoas condenam o uso maciço de plásticos alegando que a natureza leva muitos anos para decompô-los, o que causa um grande problema ambiental. Certamente, a grande utilização dos plásticos em diversos setores da sociedade moderna se deve, justamente, a sua durabilidade e estabilidade química. Porém, os principais plásticos utilizados atualmente podem ser reciclados, minimizando os efeitos danosos para o meio ambiente. Talvez falte um pouco mais de esclarecimento e conscientização da necessidade de reciclagem de produtos plásticos.

Da próxima vez que utilizar uma garrafa PET (sigla de um polímero chamado polietileno-tereftalato) ou utilizar uma sacola plástica pense nisto e procure um posto de reciclagem. Se não houver em seu bairro ou cidade, cobre das autoridades locais alguma providência nesse sentido. A Química não foi feita para poluir o ambiente, mas para criar soluções e melhorar a qualidade de vida da população.

5

Biocombustíveis: a energia que se renova

A demanda por energia vem aumentando rapidamente em função do crescimento da população e suas necessidades tecnológicas. No século passado os combustíveis fósseis, entre o carvão, o petróleo e o gás natural, dominaram o cenário energético e devem continuar a ter papel fundamental, pelo menos nesta primeira metade de século XXI. A Figura 19 mostra a oferta de energia primária no Brasil em 2007.

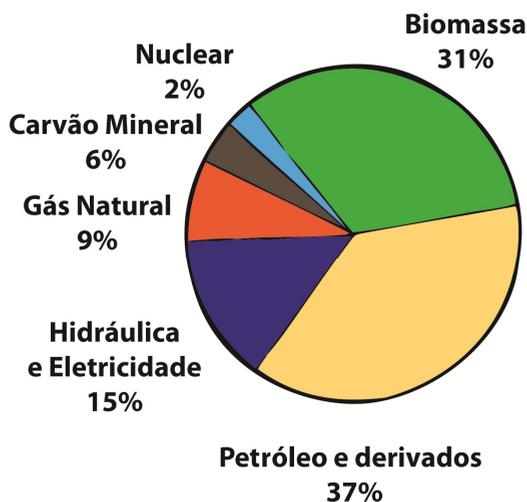


Figura 19- Oferta de energia primária no Brasil em 2007 (adaptado de Química Nova, v.32, p.757-767, 2009).

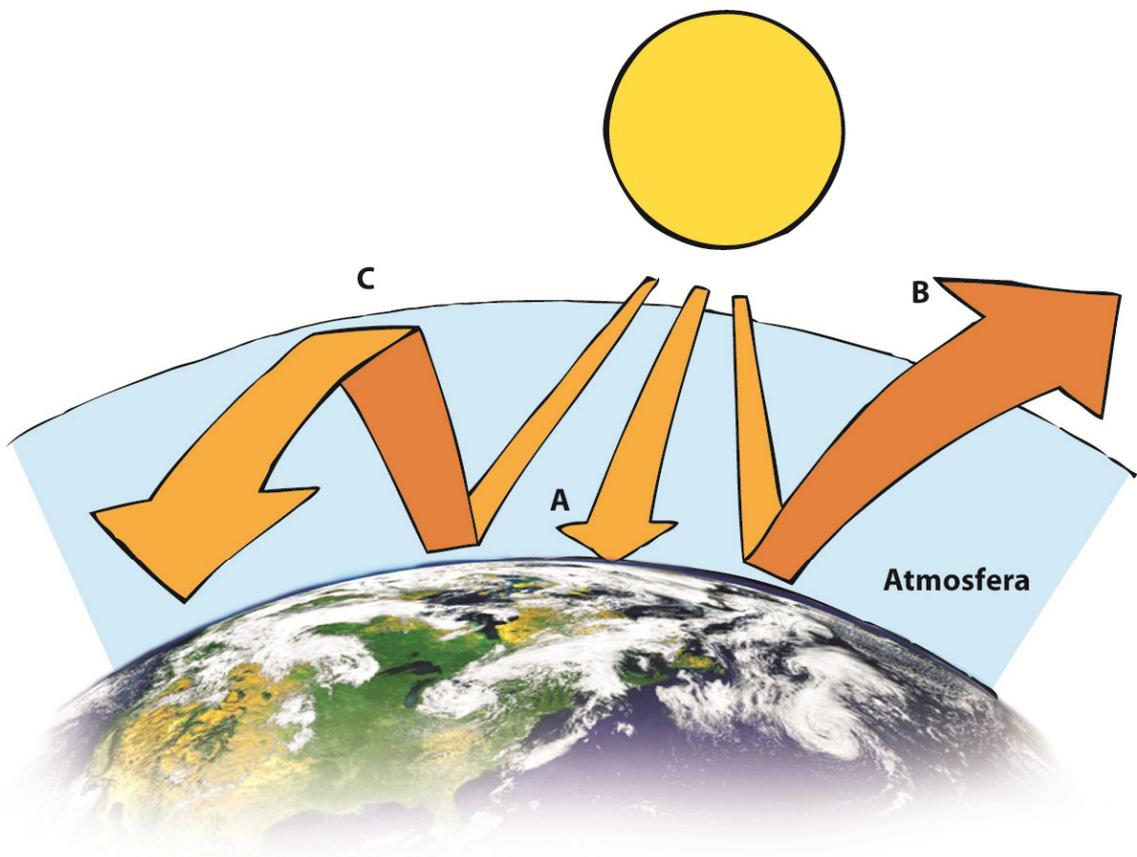
A categoria de renováveis é composta por biomassa, geotérmica, eólica (ventos), solar e hidrelétrica. A composição química da biomassa tem, primordialmente, elementos como carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, estando o enxofre em menores proporções. Esses elementos estão ligados para formarem açúcares ou carboidratos, lipídeos ou gorduras e proteínas, os três principais ingredientes da vida. São fontes de biomassa os restos de madeira, colheita, plantas, alimentos, animais e algas. Essa matéria pode ser transformada em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

No Brasil, a energia proveniente da biomassa já ocupa uma parcela considerável da matriz energética. Quando comparada com os dados mundiais para utilização de energia, nota-se uma participação expressiva de nosso país em relação aos demais países do mundo, no que tange ao uso de energias renováveis.

O uso primordial de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural), desde o século XIX, colocou inúmeras toneladas de gás carbônico, ou CO_2 , na atmosfera. Ao longo dos anos, a concentração desse gás na atmosfera vem aumentando gradativamente, associada à industrialização e ao consumo energético.

O CO_2 é o gás que causa o chamado efeito estufa. Ou seja, a radiação solar que chega à Terra entra na atmosfera, é absorvida pelo CO_2 e provoca o aumento da temperatura (Figura 20). A Figura 21 mostra como os níveis de CO_2 na atmosfera e a temperatura estão relacionados. Nota-se que,

desde o advento da revolução industrial no século XVIII e o crescente consumo de carvão, petróleo e gás natural, os níveis de gás carbônico na atmosfera não pararam de crescer, afetando a temperatura média que já se elevou em quase 1 °C. Pode parecer pouco, mas isso já provoca mudanças climáticas consideráveis, com chuvas mais intensas e frequentes em determinadas regiões e o aumento do nível dos mares. Percebe-se, ainda, que o aumento tem sido mais acentuado a partir da década de 1950, com o pós-guerra, quando o mundo vivenciou uma era de progresso e desenvolvimento que se estende aos dias atuais. Hoje, muitos cientistas e políticos admitem um aumento de até 2 °C na temperatura média da atmosfera até o final deste século. Um aumento mais acentuado poderá trazer consequências devastadoras para o planeta.



A. A radiação solar atravessa a atmosfera. A maior parte da radiação é absorvida pela superfície terrestre e aquece-a.

B. Alguma radiação solar é refletida pela Terra e atmosfera, de volta ao espaço.

C. Parte da radiação infravermelha (calor) é refletida pela superfície da Terra, mas não regressa ao espaço, pois é refletida de novo e absorvida pela camada de gases estufa que envolve o planeta. O efeito é o aquecimento da superfície terrestre e da atmosfera.

Figura 20- Visão esquemática do efeito estufa.

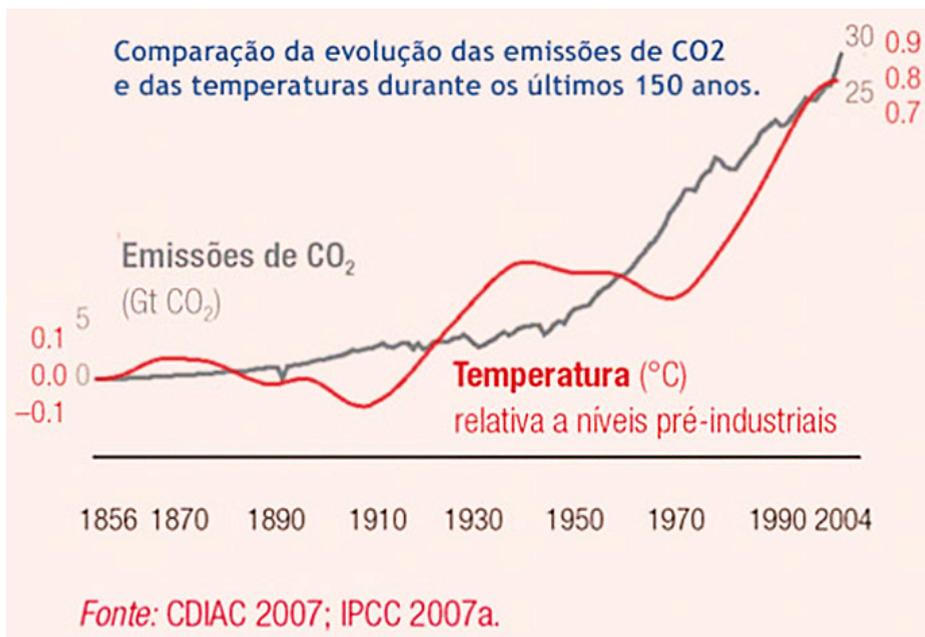


Figura 21- Relação entre níveis de CO₂ e temperatura da atmosfera.

Essas questões têm dominado os debates sobre o futuro do planeta e é certo que não poderemos continuar aumentando indiscriminadamente a concentração de CO₂ na atmosfera. O aquecimento global pode ocasionar a elevação do nível do mar, inundando regiões e cidades costeiras. O Brasil seria bastante afetado, pois possui um vasto litoral, com inúmeras praias e cidades. Não existe apenas uma solução para o problema, mas inúmeras. Nesse contexto, os biocombustíveis aparecem como uma solução de curto prazo para minimizar os efeitos da emissão de gás carbônico na atmosfera.

Do ponto de vista estratégico, a produção dos biocombustíveis é uma alternativa interessante, pois podem ser fabricados em diferentes regiões e a partir de diferentes matérias-primas. Do ponto de vista ambiental é positivo, pois as emissões de CO₂ são praticamente anuladas quando a biomassa volta a crescer realizando a fotossíntese. O etanol, o biodiesel, o biogás e o carvão vegetal são exemplos de biocombustíveis.

5.1. Biodiesel: A energia que vem das plantas

O uso do biodiesel se fundamenta no tripé: energia, ambiente e sociedade (Figura 22).

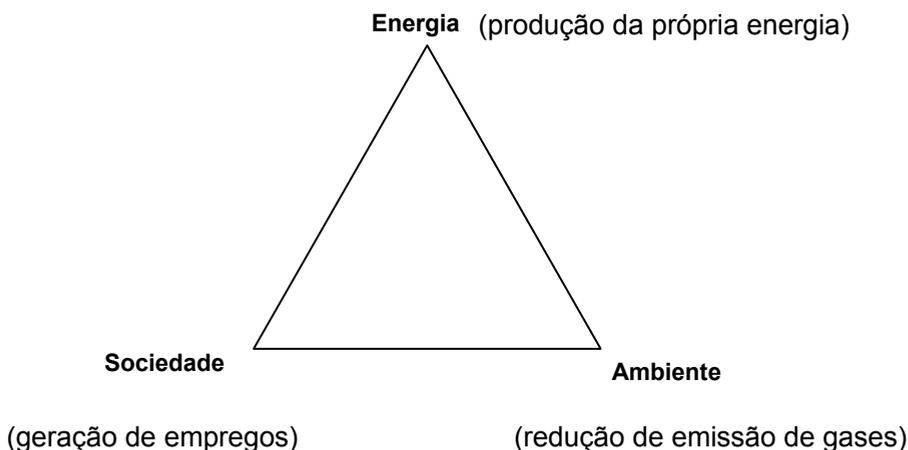


Figura 22- O tripé fundamental do biodiesel.

O inventor do motor diesel, o engenheiro Rudolph Diesel, utilizou inicialmente óleo de amendoim para mostrar o desempenho do seu invento. Naquela época, ao final do século XIX, o óleo de amendoim era escasso e o motor só se tornou popular devido ao uso de uma fração oleosa obtida do petróleo, então em franca expansão. Esta fração ficou conhecida como óleo diesel.

Atualmente, com as modificações realizadas no motor diesel e nos sistemas de alimentação, não é mais possível utilizar óleo vegetal *in natura* no motor. Porém, os óleos vegetais podem ser utilizados de forma indireta, como substâncias com menor número de átomos, mas que são muito semelhantes, em sua estrutura e constituição, ao óleo diesel de petróleo.

Os óleos vegetais e as gorduras animais são triglicerídeos. Nessas moléculas, uma parte central, formada por uma estrutura de glicerina, se liga a três estruturas de ácidos graxos (Figura 23). O modelo é similar a uma pipa ou papagaio, com as rabiolas ou rabos ligados a ela (Figura 24). A parte central de glicerina corresponde ao corpo da pipa em si, e as cadeias de ácidos graxos às rabiolas. Na produção de biodiesel ocorre um desligamento de cada uma das três rabiolas da parte central da pipa. Ou seja, cada cadeia de ácido graxo irá dar origem a uma molécula de biodiesel, sobrando também glicerina como subproduto.

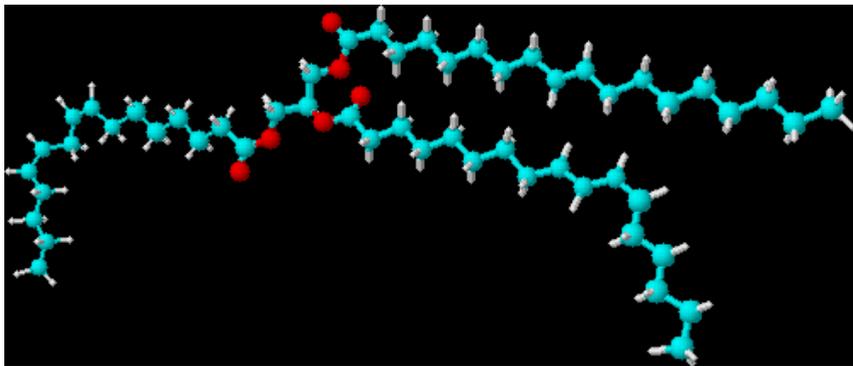


Figura 23- Estrutura de uma molécula de triglicerídeo usado na produção de biodiesel. Note a semelhança com a pipa (parte central = glicerina e rabiolas = cadeias de ácidos graxos).

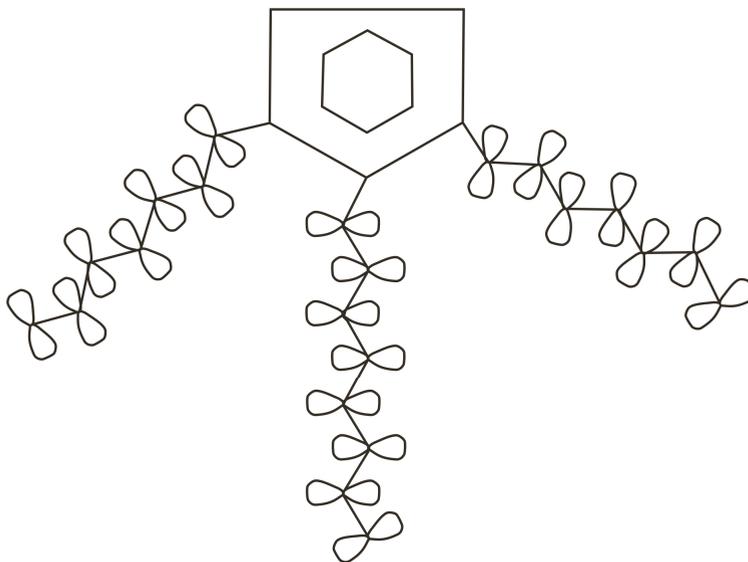


Figura 24- Representação simulada de um triglicerídeo, tendo a parte central da pipa como a glicerina e as rabiolas como cadeias de ácidos graxos.

A produção do biodiesel envolve a reação dos óleos e gorduras com um álcool, como metanol ou etanol, na presença de um catalisador, que acelera a reação. De forma geral, a produção de biodiesel assemelha-se à produção de sabão, sendo a principal diferença a utilização de água ao invés de metanol ou etanol, quando se quer produzir sabão. Assim, da próxima vez que for utilizar um sabonete para lavar as mãos e o rosto, lembre-se que a composição química do sabão tem semelhança com a composição química do biodiesel, apesar das grandes diferenças de consistência e utilização. Isto não quer dizer que podemos colocar sabão no motor diesel, porque não irá funcionar. Este ponto serve mais para mostrar que pequenas diferenças na composição e estrutura química das moléculas podem levar a grandes diferenças de propriedades físicas, aspecto e utilização desses produtos.

A fonte para a produção de biodiesel pode ser escolhida de acordo com a disponibilidade de cada região ou país. Algumas matérias-primas usadas na sua produção são: algodão, amendoim, dendê, girassol, milho, soja, mamona, e até gorduras animais e resíduos gordurosos de fritura e esgoto sanitário (Figura 25).



Figura 25- Oleaginosas com potencial para produção de biodiesel.

A maior parte do biodiesel produzido no Brasil, atualmente, provém da soja. Esta cultura, juntamente com o algodão, possui um dos menores teores de óleo por peso. Se isso é realmente verdade, por que a soja é a principal matéria-prima para obtenção do biodiesel? O objetivo principal do plantio da soja é obter o farelo, que é usado como ração animal. Assim, a soja oferece um rápido retorno de investimento, possui a vantagem de ser armazenada por longos períodos de tempo, tem crescimento relativamente rápido, além de servir para a produção de biodiesel. O Brasil é um grande produtor desta oleaginosa e seu uso não é restrito a climas quentes ou frios.

O uso do dendê ou palma como matéria-prima para a produção do biodiesel ainda precisa de alguns ajustes. Por exemplo, o processamento precisa ser feito logo após a colheita, pois o óleo pode se tornar rançoso; o

biodiesel produzido a partir do óleo de dendê solidifica-se a temperaturas relativamente baixas e tem que ser utilizado com cautela, ou em misturas com outros tipos de biodiesel, sobretudo no inverno, nas regiões sul e sudeste do país.

Uma característica interessante do biodiesel é que ele pode ser produzido a partir de óleos residuais. Por exemplo, o óleo que usamos para fazer batata frita pode ser empregado para produção de biodiesel. Essa prática já vem sendo utilizada em algumas grandes cidades brasileiras, onde há maior disponibilidade e já existe uma logística estruturada para sua coleta. Algumas cadeias de comida rápida, os chamados *fast food*, que têm como base sanduíches e batatas fritas, já mantêm convênios com universidades e empresas de produção de biodiesel para reutilização do óleo de fritura. O meio ambiente agradece, pois, de outra forma, esse óleo poderia parar no esgoto doméstico causando poluição.

Em 2004, o governo brasileiro instituiu o Programa de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), no qual era prevista a adição obrigatória de 2% de biodiesel, o chamado B2, ao diesel de petróleo, a partir de 2008. Atualmente, o percentual é de 5% (B5) e há metas para aumentá-lo gradativamente até 20%. Essas ações têm o intuito de fortalecer a indústria nacional e diminuir a dependência ao diesel de petróleo, que ainda é importado em uma pequena parte. Desde janeiro de 2006 circula, nas ruas da cidade do Rio de Janeiro, o primeiro ônibus urbano brasileiro movido a biodiesel (Figura 26). Esse ônibus foi monitorado durante um ano para que os cientistas avaliassem seu

desempenho. Devido aos bons resultados obtidos, o governo brasileiro autorizou a inserção do biodiesel no diesel de petróleo, sem que fosse necessário fazer nenhuma adaptação nos veículos já em circulação.



Figura 26- Ônibus movidos a biodiesel circulando na cidade do Rio de Janeiro.

A indústria do biodiesel não é somente a produção e o uso desse biocombustível. Os grãos esmagados para a geração do óleo fornecem uma torta de biomassa que precisa ter uma destinação. Como é rica em nutrientes, grande parte desta torta é utilizada como adubo, reinserindo-se novamente na cadeia de produção. Já no processo de fabricação do biodiesel é formada a glicerina (Figura 27). Esse composto possui utilização nas indústrias de cosméticos, sabões, alimentos e fármacos, dentre outras.

Entretanto, a quantidade gerada pela produção de biodiesel excede, em muito, o que estes setores podem absorver. Assim, um dos pontos importantes do programa de produção de biodiesel é encontrar aplicações econômicas, e de grande escala, para a glicerina formada. Algumas utilizações já estão sendo postas em práticas, como o emprego na alimentação animal e como matéria-prima para a indústria química. A propósito, é possível que em curto prazo tenhamos plásticos sendo produzidos a partir da glicerina.

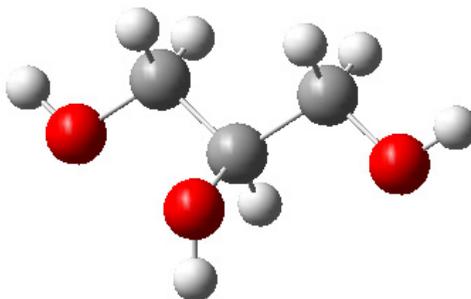


Figura 27- Estrutura química da glicerina. Os átomos vermelhos representam oxigênio.

Dentro do cenário mundial, o Brasil apresenta-se com uma série de vantagens por estar localizado numa região tropical e contar com uma boa disponibilidade hídrica. Há também a possibilidade de expansão para terras que não são cultivadas, até mesmo terras inapropriadas para a plantação de

gêneros alimentícios. Temos, ainda, uma grande diversidade de opções para produção de biodiesel, tais como a palma e o babaçu no norte, a soja, o girassol e o amendoim nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, e a mamona, que é uma opção para o semiárido nordestino.

5.2. Etanol: combustível para o veículo, não para o motorista

O vinho e a cerveja são bebidas conhecidas desde a antiguidade. Os povos antigos apreciavam seu sabor, mas não entendiam como o suco de uva e uma sopa de cereais maltados adquiriam gosto e sabor dessas bebidas alcoólicas, respectivamente, apenas repousando por alguns dias ao ar livre. Mesmo sem saber, os povos antigos praticavam Química ao fabricar o vinho e a cerveja. Somente no século XIX, com os estudos do químico francês Louis Pasteur, os processos de fermentação do suco de uva e da sopa de cereais maltados puderam ser melhor compreendidos. Pasteur identificou que micro-organismos unicelulares, visíveis apenas pelo microscópio, eram os responsáveis por inúmeros processos químicos e biológicos, dentre eles a produção do vinho e da cerveja. Aliás, o processo de pasteurização, que consiste no tratamento térmico do produto por um breve período de tempo, foi desenvolvido por Louis Pasteur como método seguro para matar os micro-organismos presentes no leite e em outros produtos alimentícios.

A fermentação é um processo bioquímico no qual micro-organismos transformam açúcares em álcool etílico ou etanol (Figura 28). Na verdade, o

álcool é um subproduto desse processo, pois o objetivo do micro-organismo é obter energia a partir do processamento do açúcar no interior das células. O etanol é excretado pelo micro-organismo nesse processo, pois é uma molécula nociva para ele. De fato, acima de certa concentração de etanol no meio, o micro-organismo não sobrevive e o processo fermentativo se encerra. É por isso que a maioria dos vinhos possui uma graduação alcoólica similar.

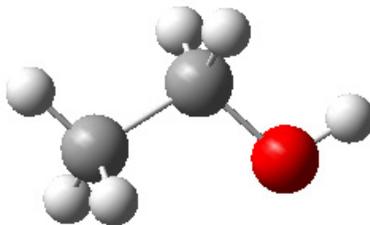


Figura 28- Estrutura química do etanol, onde a esfera vermelha representa um átomo de oxigênio.

O processo fermentativo ocorre com a intervenção de enzimas presentes nos micro-organismos. Enzimas são catalisadores biológicos específicos, que atuam no metabolismo celular. É por causa delas que podemos transformar os alimentos que comemos em nutrientes e energia para o nosso corpo.

Os açúcares são carboidratos com fórmula geral $C_nH_{2n}O_n$, onde n é um número inteiro que dita o tamanho da molécula. Um dos açúcares mais

importantes que existe é a glicose. Ela é obtida do açúcar comum a partir da sacarose, que utilizamos no nosso dia a dia para adoçar sucos, cafés e confeccionar doces e bolos. Sua fermentação produz etanol e gás carbônico (Figura 29). Assim, culturas ricas em carboidratos, como a cana, a mandioca, a beterraba e o milho, entre outras, são as melhores para a produção de etanol por via fermentativa.



Figura 29- Fermentação do açúcar para produção de etanol.

No Brasil, o etanol começou a ser utilizado como combustível automotor na década de 1970, por ocasião da primeira grande crise do petróleo, que elevou o preço do produto. Na época, o Brasil importava mais de 80% do petróleo que consumia e o aumento do preço causou enormes problemas para a economia do país. Assim, em 1973, foi lançado o pró-álcool para diminuir a dependência do país da importação de petróleo.

Inicialmente, o programa consistia em adicionar o álcool (ou etanol) à gasolina. Porém, com a segunda crise mundial do petróleo, em 1979, que elevou ainda mais o seu preço, o país passou a produzir veículos movidos inteiramente a álcool. A substituição da gasolina pelo álcool é relativamente simples, bastando apenas alguns ajustes no motor, pois a queima do etanol não ocorre de forma exatamente igual à da gasolina. Antigamente, o motor

era ajustado de fábrica, de forma que o consumidor só poderia abastecê-lo com álcool ou gasolina. Na época, havia no país carros movidos a gasolina e a álcool. Atualmente, os avanços tecnológicos dos motores permitem a utilização dos dois combustíveis, em quaisquer proporções. São os carros *flex*, que permitem ao consumidor escolher qual combustível usar para abastecer seu veículo.

O pró-álcool foi muito bem sucedido nos anos 70, mas perdeu fôlego a partir do final da década de 1980, com o fim dos incentivos fiscais. Além disso, pelo fato de o país ter descoberto imensas jazidas de petróleo na Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, o país diminuiu consideravelmente sua dependência do petróleo importado. O despertar do século XXI trouxe o etanol novamente ao cenário energético brasileiro e mundial, em grande parte devido aos problemas causados pelo aquecimento global. Hoje, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de álcool, com grande consumo interno e exportações crescentes.

No Brasil, o etanol é produzido quase que exclusivamente da cana-de-açúcar. No processo de produção, mostrado simplificadaamente na Figura 30, o caldo da cana é parcialmente transformado em etanol e em açúcar comum, ou sacarose. O bagaço é queimado, gerando energia elétrica para as usinas e cidades vizinhas, fechando o ciclo do biocombustível. O resíduo da destilação do etanol, a vinhaça ou vinhoto, é utilizado como adubo nas próprias colheitas de cana.

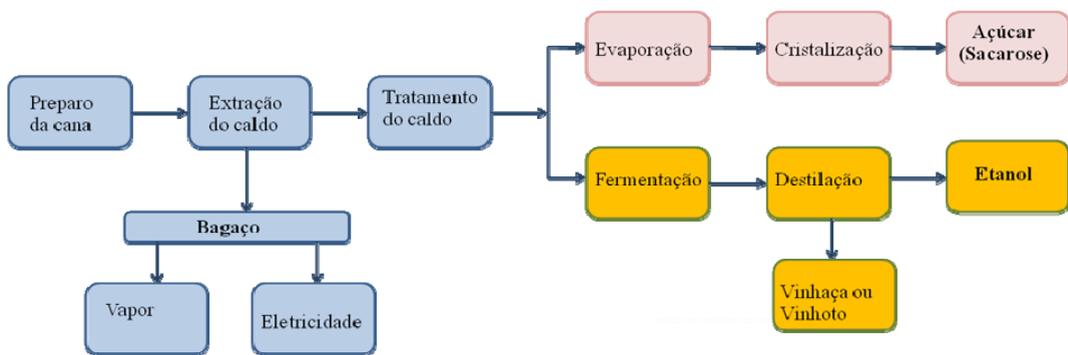


Figura 30- Processo de produção de etanol pela fermentação do caldo de cana-de-açúcar.

Os Estados Unidos produzem o etanol a partir do milho; na Europa, a beterraba é a principal cultura utilizada para produzir álcool (Figura 31). O etanol brasileiro se destaca do americano e do europeu pela eficiência energética, pois para cada unidade de energia utilizada na sua fabricação é possível gerar até oito unidades. O etanol americano e europeu fica na faixa de duas unidades para cada uma utilizada na sua produção. Essa diferença se dá pelo processo produtivo, com o aproveitamento energético de subprodutos, como o bagaço, e pela eliminação do uso de fertilizantes. Isto põe nosso álcool em maior grau de competitividade no mundo.



Figura 31- Cultura de cana-de-açúcar, utilizada no Brasil; milho, utilizado nos Estados Unidos e beterraba, utilizada na Europa, para a produção do etanol.

A celulose está presente na membrana celular da maioria dos vegetais, sendo um bioproduto bastante comum e abundante no mundo. Em termos químicos, a celulose é composta de inúmeras moléculas de glicose ligadas entre si, formando cadeias bastante grandes (Figura 32). Assim, seria possível imaginar que a produção de etanol a partir da celulose presente em troncos de árvores, folhas, caules de diversas plantas, e não somente de açúcares e materiais amiláceos. Entretanto, a quebra da celulose em moléculas de glicose não é tão simples. Muitos pesquisadores estão tentando viabilizar economicamente este processo, desenvolvendo enzimas específicas para este fim. É o chamado etanol celulósico, que pode abrir as portas para a produção de biocombustíveis em larga escala, podendo substituir grande

parte do petróleo produzido no mundo e diminuindo a pressão pelo suprimento de alimentos.

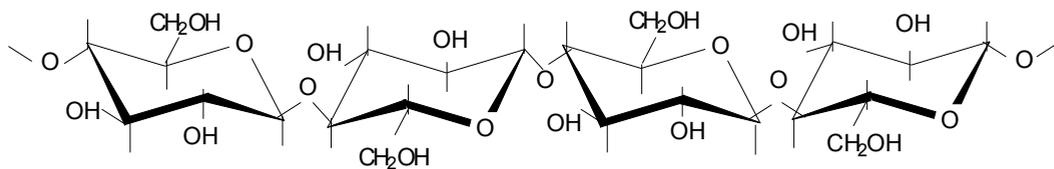


Figura 32- Representação da estrutura parcial da celulose, mostrando a ligação entre quatro unidades de glicose (a estrutura se prolonga infinitamente). Note a estrutura cíclica da glicose, a unidade fundamental de construção da celulose.

O álcool deve abastecer apenas o veículo, nunca o motorista. Álcool e direção não combinam. Quando uma pessoa ingere bebidas alcoólicas, o álcool passa rapidamente para sua corrente sanguínea e é transportado para todas as partes do corpo. Isso leva poucos minutos, mas varia de acordo com o metabolismo da pessoa e com a bebida consumida. Dentre outros efeitos, o álcool diminui, significativamente, a percepção e o reflexo do motorista, pondo em risco a condução do veículo, a vida dos seus ocupantes, de pedestres e de ocupantes de outros veículos. Para evitar acidentes no trânsito, o governo brasileiro estabeleceu um limite de 0,2 g de álcool por litro de sangue do condutor do veículo. Um valor acima de 0,6 g/L, que

equivale a aproximadamente três latas de cerveja, pode levar o motorista à cadeia. Essa lei ficou conhecida popularmente como “Lei Seca” e podemos representá-la pela Figura 33.



Figura 33- “Se beber não dirija, se for dirigir não beba”.

É interessante entender como medimos a concentração de álcool no sangue e como a Química está envolvida.

O sangue que circula em nosso corpo passa pelos pulmões. Logo, caso uma pessoa faça uso de bebidas alcoólicas, parte do álcool irá para os pulmões. Desta forma, a concentração de álcool exalado por ela será proporcional à concentração de álcool no sangue. Quando uma pessoa ingere quantidades elevadas de álcool fica com o chamado “bafo” de bêbado. A polícia rodoviária do Brasil utiliza equipamentos sofisticados para detectar se uma pessoa encontra-se ou não embriagada. É o teste do bafômetro. De forma bem simples, este teste consiste em uma reação química do etanol

com o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). O dicromato possui coloração alaranjada, mas quando reage com etanol muda gradativamente a coloração, passando a esverdeado. Isto se deve à transformação do Cr^{6+} (laranja) para Cr^{3+} (verde). Esta mudança de coloração pode ser monitorada e informar ao policial o teor alcoólico no sangue do motorista.

Portanto, para garantir sua segurança e de toda a população, siga à risca a campanha educativa: “Se for dirigir não beba; se beber não dirija”.

5.3. Biogás: lixo virando energia

Outro tipo de fermentação de açúcares, gorduras e materiais orgânicos pode ocorrer em condições com pouco oxigênio, na presença de micro-organismos. É a chamada fermentação anaeróbica (sem ar ou oxigênio) que produz metano como principal produto. O metano também é chamado de gás dos pântanos, porque é formado em regiões alagadiças, com baixa oxigenação, pela decomposição do material orgânico depositado nos lagos. O mesmo processo pode ser utilizado de forma controlada para produzir metano, a partir da decomposição de material orgânico, gerando o chamado biogás.

Em todo mundo (e cada vez mais), a sociedade recicla e trata o lixo doméstico, evitando os chamados lixões, que trazem doenças e contaminam o solo. O uso de aterros sanitários cumpre dois propósitos: evita a contaminação do solo e a proliferação de doenças, e gera energia para

bairros e cidades pela produção de biogás. Os restos orgânicos, sobretudo de alimentos, contido no lixo doméstico são submetidos à fermentação anaeróbica nos aterros, produzindo metano, que é queimado para produzir eletricidade (Figura 34).

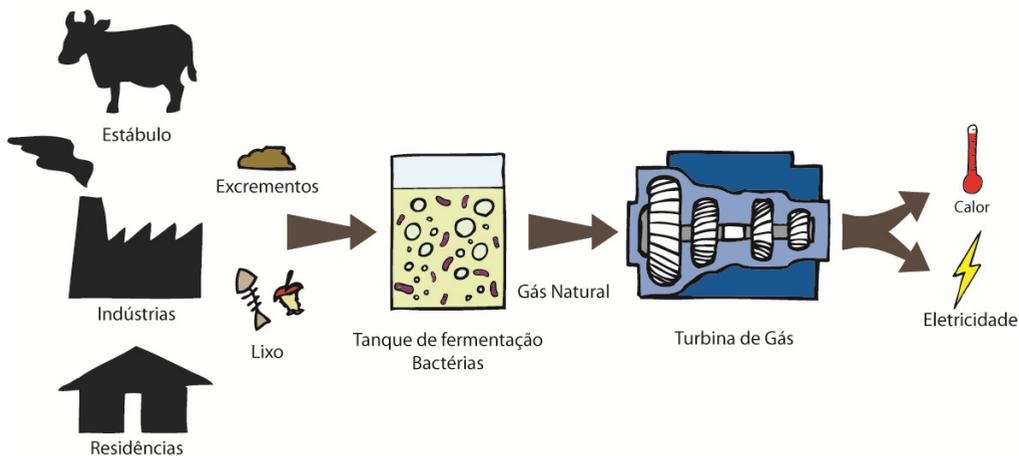


Figura 34- Esquema simplificado da geração e utilização de biogás.

As usinas de lixo serão comuns na paisagem urbana do futuro. É a Química transformando lixo em energia, ajudando a diminuir o aquecimento global e a poluição dos solos. Se sua cidade ou região ainda não recicla o lixo, mobilize a população para cobrar das autoridades locais a reciclagem do lixo. A natureza agradece.

5.4. Alimentos e biocombustíveis: verdades e mitos

A popularização do uso de biocombustíveis como o álcool e o biodiesel trouxe à tona a discussão sobre seus efeitos na produção e no preço dos alimentos. O etanol está associado à cultura da cana-de-açúcar e aos materiais amiláceos. Já o biodiesel influencia a cultura de oleaginosas, como a soja. Mas como produzir cada vez mais, de forma eficiente, os biocombustíveis sem afetar a produção e o preço dos alimentos? Essa é uma pergunta importante, que todas as pessoas preocupadas com os problemas ambientais e sociais têm feito diariamente.

O desenvolvimento do etanol celulósico, produzido a partir de qualquer biomassa, pode diminuir enormemente o impacto da produção do álcool no preço do açúcar no Brasil, e do milho e seus derivados nos Estados Unidos. Esse processo de produção de etanol, quando desenvolvido economicamente, poderá utilizar restos de processamento de alimentos, como cascas, troncos, folhas, palhas, ou mesmo vegetais que não são utilizados para consumo alimentar, como a grama e pequenos arbustos. Isto pode ser uma revolução na produção de biocombustíveis e aliviar sua pressão sobre os alimentos. É certo que a produção de etanol a partir do milho, nos Estados Unidos, afetou o preço dos alimentos produzidos a partir desta cultura, sobretudo os cereais matinais e rações para aves. No Brasil, o preço do açúcar varia com a safra e a produção do etanol. A aposta de todo o mundo é que o etanol celulósico irá virar este jogo. Os Estados Unidos saíram na frente e já possuem processos de produção

do etanol celulósico em escala semicomercial. O Brasil também tem seu programa para produção deste biocombustível e em breve deveremos ver plantas de etanol celulósico, a partir da palha e do bagaço da cana, espalhadas pelo país.

Em relação ao biodiesel, as pressões são um pouco menores, pois o óleo de soja, primordialmente usado para produção deste biocombustível, é um subproduto da indústria da soja. Porém, ele também é utilizado para alimentação, sendo o preferido para uso em frituras, o que pode criar um conflito entre seu uso para produção de biodiesel ou alimentício. Por enquanto, o biodiesel ainda ocupa uma fração pequena da matriz energética brasileira, mas a tendência é ganhar cada vez mais espaço. Daí a necessidade de se procurar outras culturas, sobretudo aquelas de menor importância alimentar. Nesse âmbito, podemos destacar o algodão, que produz principalmente fibras de celulose para fins têxteis, e o pinhão-mansão, que é uma cultura perene e que não é utilizada para fins alimentícios.

Entretanto, a grande vedete para produção de biodiesel no futuro serão as algas. Esta cultura tem inúmeras vantagens, pois não é muito usada como alimento, cresce muito rapidamente, podendo duplicar seu peso em apenas 24 horas, possui alto teor de óleo, podendo em alguns casos chegar a 70%, e não requer grandes extensões de espaço para seu cultivo. As algas poderão vir a ser a solução para o biodiesel, assim como a celulose será a solução para a produção de etanol no futuro. Alguns países já produzem biodiesel de algas em pequena escala, mas esta prática deverá ser muito comum nos próximos anos.

6

Pilhas e baterias: a energia portátil

No Brasil, a energia elétrica é gerada, principalmente, em usinas hidrelétricas e transportada até nós por meio de linhas de transmissão. A necessidade de um meio físico condutor limita a utilização direta dessa energia elétrica, sobretudo em equipamentos elétricos e eletrônicos portáteis. A portabilidade da energia elétrica, ou seja, o transporte da energia elétrica de um lugar para outro sem o auxílio de fios só se tornou possível com o advento das pilhas e baterias. Esses dispositivos se tornaram tão essenciais que estão por toda a parte. Você os encontra em carros, computadores, *laptops* e *notebooks*, rádios e tocadores de MP3, relógios, telefones celulares, câmeras fotográficas, lanternas, marca-passos, etc.

Estima-se que o consumo de pilhas e baterias por habitante, em países em desenvolvimento como o Brasil, seja de cinco unidades por ano. Em países industrializados alcança quinze unidades por ano. Assim, o consumo mundial é da ordem de dez bilhões de pilhas por ano. Em um futuro próximo, a importância desses dispositivos se tornará ainda maior, na medida em que os carros elétricos se tornarem mais comuns. Dessa forma,

as pilhas e baterias ajudarão a diminuir os efeitos climáticos associados à queima de combustíveis fósseis em veículos automotores.

Pilhas e baterias são dispositivos capazes de transformar a energia química contida nos materiais que formam seus componentes em energia elétrica. Mas como ocorre essa transformação? As pilhas e baterias convertem a energia química em energia elétrica por meio de uma reação chamada oxidação-redução ou oxirredução, que envolve a transferência de elétrons do material que sofre oxidação (perde elétrons) para aquele que sofre redução (recebe elétrons). Para entender como isso é possível, vamos ao parágrafo seguinte.

Você deve se lembrar que a matéria é constituída por átomos (Figura 35), e que esses átomos se ligam uns aos outros para formar os inúmeros compostos químicos que conhecemos, inclusive aqueles que constituem as pilhas e baterias. Os átomos são constituídos por partículas ainda menores: os prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e nêutrons localizam-se na região central do átomo, o núcleo. Os elétrons, por sua vez, localizam-se ao redor do núcleo, em uma região chamada eletrosfera. Prótons e elétrons apresentam a mesma carga elétrica, porém com sinais contrários; prótons são positivos e elétrons negativos. Não somos capazes de perceber essa carga elétrica, pois o número de prótons de um átomo é, quase sempre, igual ao seu número de elétrons, de modo que os compostos químicos são, em geral, neutros.

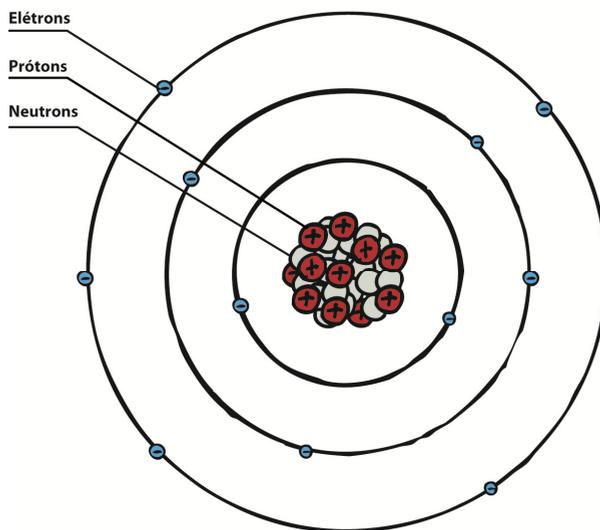


Figura 35- Estrutura do átomo.

Nas reações de oxidação-redução, os átomos de um determinado material transferem alguns de seus elétrons para os átomos de outro material, como mostra a Figura 36. A espécie que doa seus elétrons é chamada de agente redutor e encontra-se oxidado (com menos elétrons) ao final do processo. Já a espécie que recebe os elétrons é chamada de agente oxidante e encontra-se reduzida (com mais elétrons) ao fim da reação.

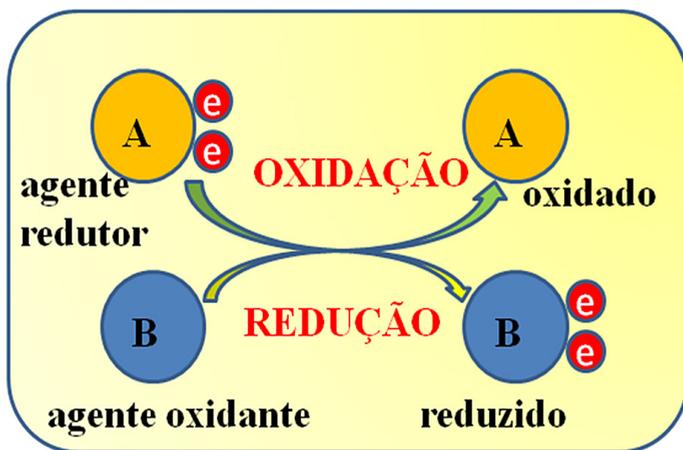


Figura 36- Esquema que mostra a oxidação e a redução de espécies químicas.

Por exemplo, ao mergulharmos uma placa de zinco em uma solução contendo íons (espécies carregadas eletricamente) de cobre observamos, após algum tempo, que parte do zinco passa para a solução enquanto o cobre se deposita na superfície da placa. O zinco se oxida doando elétrons aos cátions (espécies carregadas positivamente) de cobre presentes na solução. Por sua vez, os cátions de cobre que receberam os elétrons se depositam como cobre metálico na superfície da placa de zinco. Em uma pilha ou bateria, essa transferência de elétrons ocorre por meio de um circuito externo; ou seja, por meio de um fio, que conecta os dois metais, podendo ser aproveitada para uso.

6.1. O funcionamento de uma pilha

Uma pilha é constituída essencialmente por dois eletrodos (ânodo e cátodo) e um eletrólito. No ânodo ocorre a reação de oxidação, o mesmo tipo de transformação sofrida pelo ferro ao enferrujar. No cátodo ocorre uma reação de redução. O eletrólito é o meio físico que possibilita o transporte de carga elétrica no interior da pilha. A potência de uma pilha é determinada pelo grau de espontaneidade com que ocorre a transferência de elétrons de um eletrodo para outro. Assim, quanto maior for a capacidade de um eletrodo sofrer oxidação ou redução em relação ao outro, maior será a potência da pilha. Você deve se lembrar do paralelo entre uma reação química e uma viagem de automóvel numa estrada montanhosa. A situação que se aplica a uma reação de oxidação-redução espontânea é aquela em que o carro parte de um ponto mais alto da estrada e chega até um ponto de menor altitude. Ou seja, a situação em que a energia dos reagentes é maior que a energia dos produtos. Nesse caso, a diferença aparece na forma de energia elétrica.

A essa altura, você deve estar se perguntando: qual a diferença entre uma pilha e uma bateria? Embora esses termos sejam muitas vezes utilizados como sinônimos, pilha, por definição, é um dispositivo constituído por apenas dois eletrodos e um eletrólito, capaz de produzir energia elétrica (Figura 37). Assim, a pilha é o dispositivo eletroquímico básico capaz de gerar energia elétrica, muitas vezes também chamada de célula.

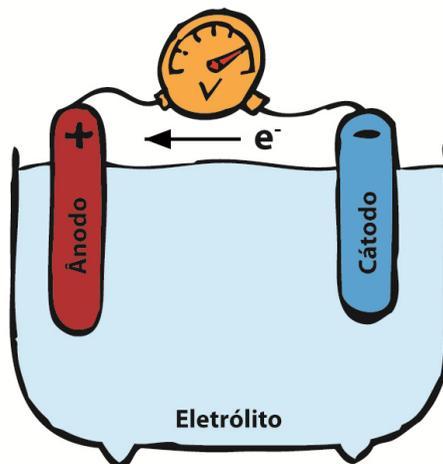


Figura 37- Esquema de uma pilha eletroquímica.

A bateria, por sua vez, é um conjunto de pilhas ou células dispostas em série (polo positivo conectado ao polo negativo) ou paralelo (polos positivos conectados entre si, e negativos conectados entre si), conforme mostra a Figura 38.

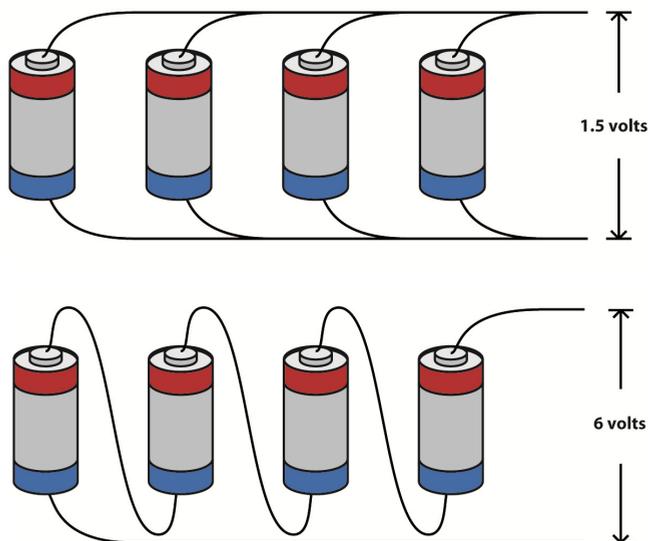


Figura 38- Pilhas associadas em paralelo (em cima) e em série (embaixo) formando baterias.

As baterias podem fornecer diferentes voltagens e níveis de corrente. Por exemplo, a voltagem de uma pilha comum é de 1,5 V. Porém, quando seis pilhas comuns são conectadas em série, obtém-se uma bateria de 9 V, que pode fornecer mais energia elétrica.

A primeira bateria foi desenvolvida pelo italiano Alessandro Volta em 1800 (Figura 39). Ele descobriu que o arranjo alternado de discos de metais (como prata e zinco, por exemplo) tendo feltro embebido em água salgada ou vinagre entre os discos metálicos, era capaz de produzir eletricidade. Desde então, diferentes tipos de pilhas e baterias foram desenvolvidos. Porém, o

princípio em que se baseia o funcionamento desses dispositivos permanece, fundamentalmente, o mesmo.

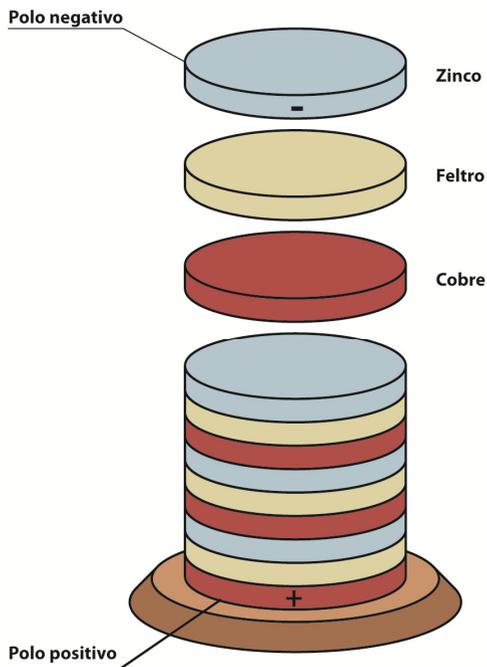


Figura 39- Bateria voltaica.

Em 1836, o químico inglês John Frederic Daniell desenvolveu uma pilha mais eficiente. A pilha de Daniell (Figura 40) é constituída por um eletrodo de zinco (ânodo) mergulhado em uma solução diluída de ácido sulfúrico, e um eletrodo de cobre (cátodo) mergulhado em uma solução saturada de sulfato de cobre. As duas soluções são separadas por uma

membrana porosa. Embora seja mais eficiente, esse tipo de pilha não é comum em equipamentos portáteis, pois o eletrólito encontra-se no estado líquido. Pilhas, cujo eletrólito se encontra no estado líquido, são chamadas de pilhas úmidas. Essas pilhas são utilizadas, principalmente, em baterias de automóveis e na indústria como fonte auxiliar de energia elétrica.

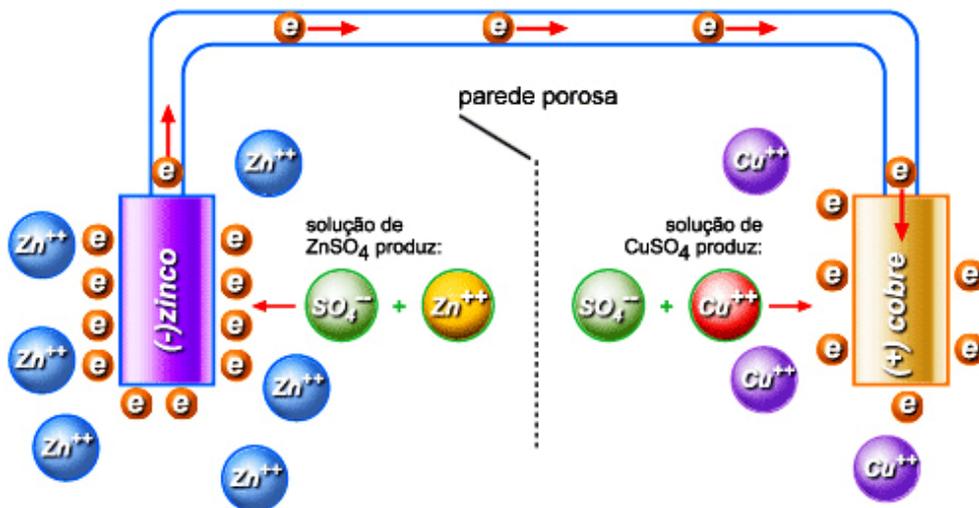


Figura 40- Pilha de Daniell ou pilha úmida.

Em 1868, o engenheiro francês George Leclanché desenvolveu uma pilha em que o eletrólito era constituído por uma solução de cloreto de amônio. O ânodo era uma placa de zinco e o cátodo um bastão de carvão inserido em um tubo poroso, contendo carvão esmagado e dióxido de manganês. Mais tarde, John Gassner aperfeiçoou a pilha de Leclanché,

substituindo a solução de cloreto de amônio por uma pasta úmida (Figura 41). Essas pilhas são chamadas de pilhas secas, pois o eletrólito não é uma solução líquida como na pilha de Daniell. A maioria das pilhas utilizadas atualmente em equipamentos portáteis deriva da pilha desenvolvida por Gassner.

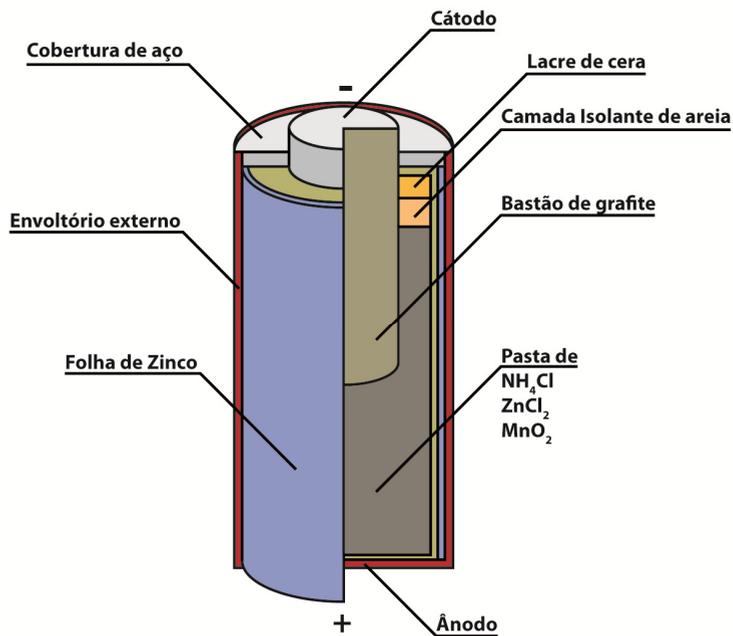


Figura 41- Esquema de uma pilha seca.

6.2. Tipos de pilhas

As pilhas e baterias podem ser classificadas em primárias ou secundárias. As primárias não são recarregáveis e, uma vez utilizadas, devem ser descartadas. As mais comuns são: zinco/dióxido de manganês (Leclanché), zinco/dióxido de manganês (alcalina) e lítio/dióxido de manganês.

As pilhas de Leclanché, também conhecidas como pilhas de zinco-carbono, são indicadas para equipamentos que requerem descargas leves e contínuas, como controle remoto, relógio de parede, rádio portátil e brinquedos. As pilhas alcalinas são similares às de Leclanché, com exceção do cloreto de amônio, que é substituído por hidróxido de potássio (razão pela qual são chamadas pilhas alcalinas). Em geral, uma pilha alcalina dispõe de 50 a 100% mais energia que uma pilha comum do mesmo tamanho. Essas pilhas são indicadas para equipamentos que exigem descargas rápidas e mais intensas, como rádios, tocadores de CD/DVD e MP3 portáteis, lanternas, câmeras fotográficas digitais, etc. As pilhas de lítio/dióxido de manganês são utilizadas, principalmente, em dispositivos pequenos, como relógios e calculadoras, em razão de sua elevada densidade de carga.

As pilhas ou baterias secundárias são recarregáveis e podem ser reutilizadas inúmeras vezes. As mais comuns são: chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido), cádmio/óxido de níquel (níquel/cádmio), hidreto metálico/óxido de níquel e íons lítio. As baterias chumbo/óxido de chumbo

(chumbo/ácido) são utilizadas principalmente em automóveis. Os eletrodos consistem em placas de chumbo imersas em solução de ácido sulfúrico. O cátodo é composto de dióxido de chumbo. Embora essas baterias apresentem algumas desvantagens, sobretudo quanto aos cuidados especiais que se deve ter no transporte, manipulação, armazenagem e manutenção do eletrólito líquido, as baterias de chumbo/ácido fornecem uma tensão maior que qualquer outra bateria secundária. Essas baterias produzem energia elétrica a um custo menor, além de resistirem a cargas e descargas rigorosas.

As baterias de íon lítio representam o que há de mais moderno em sistemas de conversão de energia. As baterias de íon lítio são utilizadas, principalmente, em equipamentos eletrônicos portáteis. Além de armazenarem mais energia que outras baterias, são bem mais leves devido à baixa densidade do lítio. A densidade de um átomo depende do número de prótons e nêutrons que ele possui. O lítio possui apenas três prótons e três nêutrons, sendo o metal mais leve que se conhece. Essas baterias são constituídas por dois eletrodos separados por um eletrólito não condutor. O cátodo é composto por óxido de lítio e cobalto, e o ânodo por um composto de carbono. A bateria funciona pelo movimento dos íons de lítio (razão pela qual é chamada de bateria de íon lítio) do ânodo em direção ao cátodo através do eletrólito (Figura 42).

Bateria recarregável de íon-lítio. Mecanismo de carga.

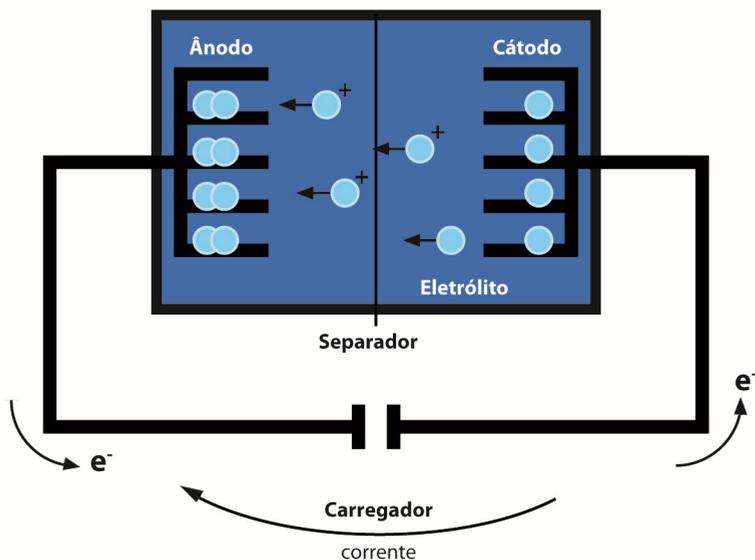


Figura 42- Esquema de uma bateria íon lítio.

Em geral, as embalagens das pilhas informam o prazo de validade. Isso quer dizer que as pilhas se descarregam lentamente, caso não sejam utilizadas antes da data especificada na embalagem. Essa autodescarga é comum em todas as pilhas, e sua intensidade depende do tipo e das condições de armazenamento. Pilhas armazenadas a baixa temperatura duram mais, pois a velocidade das reações químicas diminui com a queda da temperatura.

7

Células a combustível: o futuro é o hidrogênio

Assim como as pilhas e baterias, as células a combustível também são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica. A principal diferença é que, em uma célula a combustível, o material ativo não é parte integrante, sendo continuamente adicionado a partir de uma fonte externa. As baterias e pilhas convencionais deixam de produzir energia elétrica assim que o material ativo é consumido, findando a reação de oxirredução dos metais. Em uma célula a combustível essa descarga não ocorre, desde que o suprimento de combustível não seja interrompido.

As células mais comuns utilizam hidrogênio como combustível (Figura 43). O ânodo promove a oxidação do hidrogênio, enquanto o cátodo promove a redução do oxigênio, usado como agente oxidante. Os íons produzidos nos eletrodos migram através do eletrólito, enquanto os elétrons passam pelo circuito externo. O combustível e o oxidante não se misturam, evitando-se a combustão química, que geraria calor ao invés de eletricidade. Assim, praticamente toda energia química é convertida em energia elétrica, sem perdas térmicas, ao contrário do que ocorre em motores à combustão. Além de mais eficiente, as células a combustível que operam com hidrogênio

não poluem o meio ambiente, uma vez que é gerada apenas água como produto.

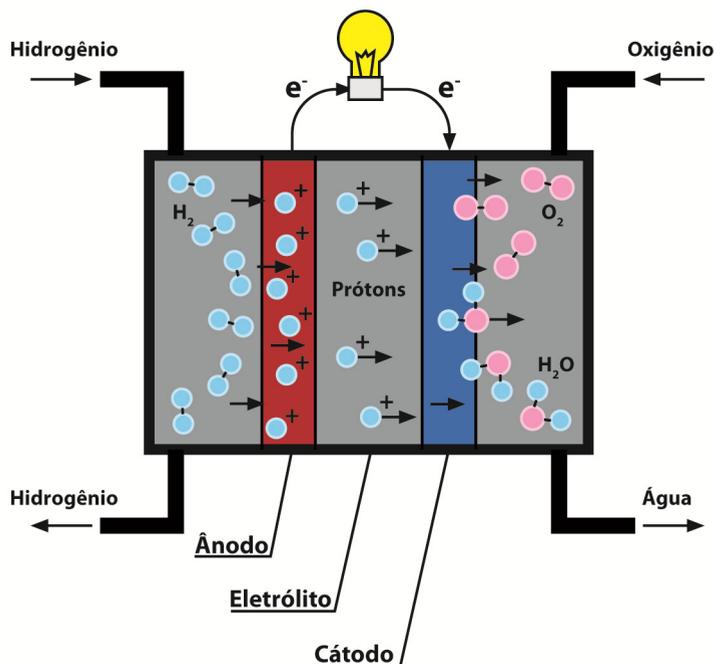


Figura 43- Esquema de uma célula a combustível.

As células a combustível deverão ocupar um papel cada vez mais importante na geração de energia no mundo. Entretanto, o grande desafio que se coloca para impulsionar seu desenvolvimento é a produção do hidrogênio. Apesar de ser o elemento mais abundante no universo, na Terra o hidrogênio não é encontrado no estado reduzido, formando gás hidrogênio

(H₂). Para consegui-lo temos que utilizar fontes fósseis, como o gás natural, e reações químicas que demandam muita energia.

O etanol e outros combustíveis oriundos de biomassa também podem gerar hidrogênio, mas a um custo ainda elevado. Em todo o mundo buscam-se formas mais eficientes e econômicas de gerar hidrogênio. Uma das tecnologias mais promissoras envolve a decomposição da água usando energia solar e um catalisador. Quando o homem tiver domínio dessa tecnologia, poderemos ter hidrogênio a baixo custo e de fontes praticamente ilimitadas, como a água e a energia do Sol. De fato, podemos imaginar um automóvel com um grande painel solar onde a água seria decomposta em hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂), que seriam continuamente armazenados em tanques para recombinação na célula a combustível. A energia elétrica gerada impulsionaria o veículo. Essa realidade não está tão distante e é possível que ainda neste século já tenhamos veículos com essa tecnologia.

Atualmente, alguns fabricantes de veículos oferecem os chamados automóveis híbridos, capazes de utilizarem gasolina (motor a explosão) ou motor elétrico, quer seja a bateria ou célula a combustível (hidrogênio) (Figura 44). Os veículos elétricos a bateria esbarram, ainda, na baixa autonomia de utilização, que fica na faixa de 100 a 200 km para carga completa, além do peso das baterias e dificuldade de recarga. Já os veículos com célula a combustível têm como grande inconveniente o armazenamento do hidrogênio. Os tanques e cilindros usados atualmente limitam a capacidade, afetando a autonomia. Outro inconveniente é o suprimento de

hidrogênio, que ainda é muito limitado para o público, fazendo com que os veículos ainda sejam experimentais.

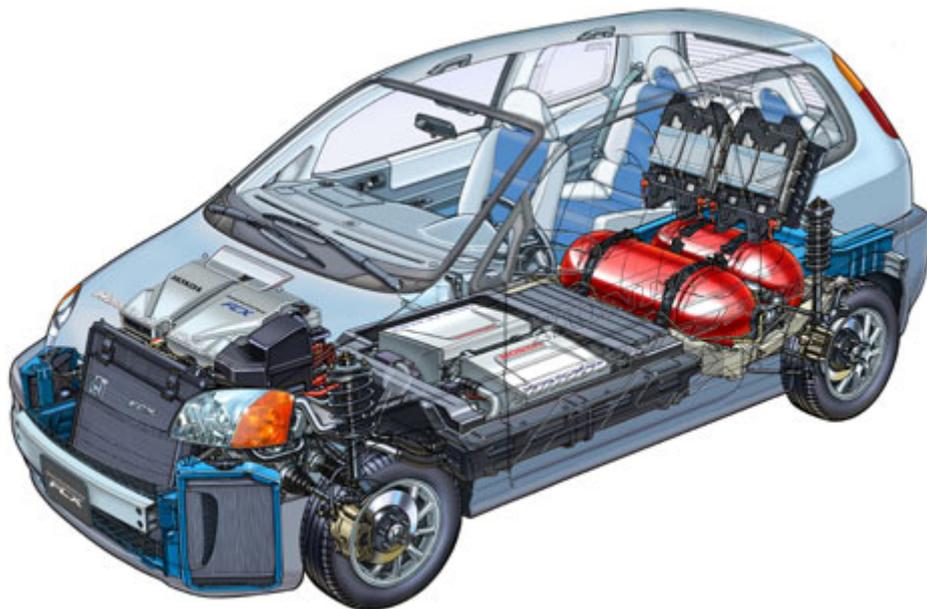


Figura 44- Esquema de um veículo híbrido movido a gasolina ou a hidrogênio (célula a combustível), destacando os cilindros para estocagem de gás. O dispositivo no assoalho do carro é o sistema de célula a combustível e motor elétrico.

8

Impacto ambiental do uso de pilhas e baterias

A maioria das baterias primárias e secundárias comercializadas no país contém metais pesados, como chumbo, zinco, cádmio e manganês e, por isso, podem trazer sérios riscos ao meio ambiente, se descartadas de forma inadequada. As pilhas e baterias, quando descartadas em lixões ou aterros sanitários, vão gradativamente liberando esses componentes tóxicos, contaminando o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, podendo afetar a flora e a fauna das regiões circunvizinhas, além do próprio homem.

Você sabia que, por lei, elas não podem ser descartadas no lixo comum? Por isso, após utilizar as pilhas e baterias no seu tocador de MP3, no seu celular ou em outro equipamento eletrônico, junte-as e procure se informar no seu bairro ou cidade sobre o encaminhamento mais adequado. As pilhas e baterias podem ser recicladas. Para tanto, devemos cobrar de nossos governantes a implantação de sistemas de coleta seletiva de lixo.

Do ponto de vista do aquecimento global, o uso de pilhas e baterias é bastante positivo, pois não contribui significativamente para a geração de gases do efeito estufa. Os carros elétricos são mais eficientes que os carros movidos a gasolina ou a etanol, percorrendo uma maior distância com a mesma quantidade

de energia desprendida. Entretanto, a energia elétrica ainda é relativamente cara, e difícil de ser transportada. O Brasil utiliza a energia de quedas d'água para geração de energia elétrica (hidrelétricas). É uma forma mais limpa de geração, mas que devasta enormes áreas de terras e, em alguns casos, desaloja habitantes de cidades próximas.

No mundo, a energia elétrica ainda é gerada, fundamentalmente, a partir da queima do carvão, petróleo e gás natural, o que contribui para o aquecimento global. A energia nuclear também pode ser utilizada para geração de energia elétrica, mas há preocupações com o chamado lixo atômico.

Por fim, energias alternativas como a eólica (ventos, Figura 45) e a geotérmica têm ganhado força nos últimos anos para a geração de energia elétrica. A humanidade caminha para a utilização de fontes de energia menos poluentes, e as pilhas e baterias elétricas, assim como as células a combustível, estarão na linha de frente dessas utilizações.



Figura 45- Energia dos ventos (eólica) para geração de eletricidade. No futuro, poderemos gerar H_2 com a eletricidade produzida pelos ventos.

O futuro passa pelo hidrogênio, sobretudo se pudermos produzi-lo a partir da decomposição da água utilizando energia solar, que chega todos os dias em grande quantidade ao nosso planeta, e de graça. Haverá um tempo em que poderemos escolher entre diversos combustíveis em um posto de abastecimento, incluindo aí o hidrogênio para impulsionar veículos e outros dispositivos que utilizem as células a combustível (Figura 46).



Figura 46- Posto de abastecimento do futuro.

9

Energia nuclear: perigo para o ambiente ou solução para o aquecimento global?

A estrutura atômica se assemelha ao sistema solar, onde temos o Sol, o maior astro do sistema, e os planetas girando ao seu redor. O átomo é formado por um núcleo, que concentra praticamente toda a sua massa, e elétrons que orbitam ao seu redor. Grande parte da Química não envolve o núcleo atômico, mas apenas os elétrons, responsáveis pelas ligações entre os átomos. O núcleo é composto por partículas subatômicas (Figura 47). O número de prótons caracteriza um determinado elemento químico. Por exemplo, o hidrogênio (H) possui apenas um próton e é o elemento mais simples da natureza. Já o carbono (C) se caracteriza por possuir seis prótons e o oxigênio (O), oito.

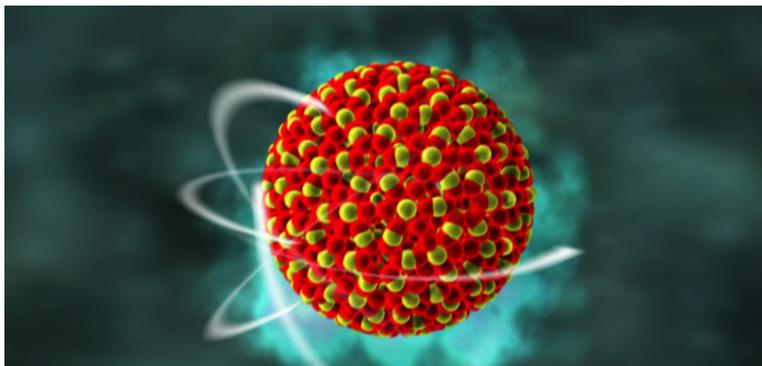


Figura 47- Estrutura do núcleo atômico com prótons e nêutrons.

A massa do átomo é função do número de prótons e de nêutrons no núcleo. Um elemento químico como o urânio (U) pode ter número diferente de nêutrons no seu núcleo. É o que chamamos de isótopos. Por exemplo, hoje em dia é comum a datação de fósseis e objetos antigos com a técnica do carbono 14. A idade de muitas múmias do antigo Egito, assim como de fósseis de dinossauros, pode ser determinada com boa exatidão por esta técnica. Mas o que é carbono 14 e como ele está ligado à energia nuclear?

O átomo de carbono pode existir na natureza com diferentes composições do seu núcleo. A forma mais abundante, o carbono 12 (^{12}C) possui 6 prótons e 6 nêutrons. Entretanto, é possível haver átomos de carbono com 5, 7 e até 8 nêutrons, chamados isótopos. O número de prótons não muda, pois ele caracteriza o elemento químico, mas o número de nêutrons pode variar. O átomo de carbono que possui 6 prótons e 8 nêutrons é o carbono 14 (^{14}C) e é instável. Um nêutron do núcleo atômico se

transforma em um próton, formando o átomo de nitrogênio, liberando radiação. Isto mesmo, o carbono 14 é um isótopo radiativo do carbono e sua decomposição ocorre num ritmo bem conhecido. Assim, a determinação da quantidade de carbono 14 em um fóssil permite estabelecer sua idade.

As reações nucleares foram importantes no nascimento do universo, dando origem a todos os elementos químicos encontrados na natureza. Quase todos os elementos possuem isótopos radiativos que, em geral, estão em pequenas proporções. Entretanto, alguns elementos mais pesados, com maior número de prótons e nêutrons, são naturalmente radiativos. Isto ocorre porque seu núcleo é instável e tende a se decompor num ritmo conhecido para formar elementos mais leves. O urânio é um desses elementos. Assim, minerais e compostos de urânio emitem mais radiação que a encontrada na natureza (Figura 48).

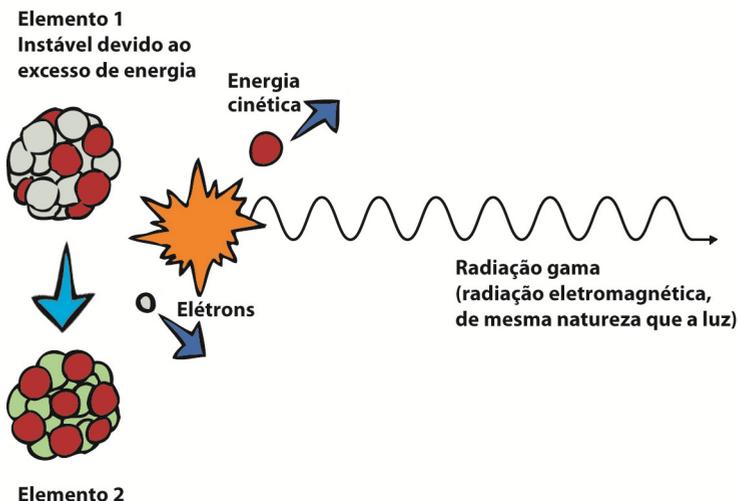


Figura 48- Esquemática de um processo nuclear, com a desintegração do núcleo do elemento 1 para formar um elemento 2, elétrons, radiação e energia.

As reações nucleares envolvem a transformação de massa em energia, segundo a equação de Einstein, $E = mc^2$, onde c é a velocidade da luz (300.000 Km/s). O valor c^2 é muito grande e, portanto, qualquer minúscula variação de massa importa na liberação de uma quantidade enorme de energia. O Sol e todas as estrelas são gigantes reatores nucleares, explicando a imensa quantidade de energia que fornecem. Na Terra, as usinas nucleares transformam a energia do núcleo atômico do urânio em eletricidade. Os núcleos desse átomo, sob certas condições, se partem

formando átomos menores num processo conhecido como fissão nuclear, desprendendo imensas quantidades de energia.

Em tempos de aquecimento global devido ao uso de combustíveis fósseis, muitas pessoas defendem a utilização da energia nuclear, pois ela não produz nenhuma emissão de gases causadores do efeito estufa, que retêm o calor do Sol na atmosfera. Entretanto, a energia nuclear gera resíduos radiativos, que podem ser extremamente nocivos ao homem e à natureza, e precisam ser armazenados em local seguro por muitos anos.

Há também o risco de acidentes nessas usinas, com liberação de material radiativo para a atmosfera. Um grave acidente ocorreu na usina de Chernobyl, na antiga União Soviética, onde houve uma explosão do reator nuclear liberando grande quantidade de radiação para o ambiente, causando a morte de inúmeras pessoas devido aos efeitos nocivos da radiação.

O homem possui tecnologia para domar o átomo e utilizar, de forma segura, a energia nele contido. A energia nuclear é e continuará sendo utilizada pelo homem para satisfazer suas necessidades. Porém, não se pode esperar que ela resolva toda a questão energética e climática do planeta. O uso racional do átomo pode ajudar na diminuição do aquecimento global, mas a massificação das usinas nucleares pode trazer mais riscos ao meio ambiente, que soluções para o clima do planeta.

10

Considerações finais

Procuramos mostrar, nas páginas anteriores, como a energia se relaciona com a Química, sobretudo na questão dos combustíveis, pilhas, baterias e geração de eletricidade. A sociedade moderna é ávida por energia e a era do petróleo irá acabar algum dia, pois suas reservas são limitadas, havendo, ainda, uma grande discussão, atualmente, sobre seus efeitos no clima do planeta.

Os biocombustíveis aparecem como uma solução de curto prazo para tentar minimizar os efeitos do uso dos combustíveis fósseis sobre o clima. O etanol e o biodiesel neutralizam as emissões de gás carbônico que emitem, e já são utilizados em grande escala no país. Entretanto, o conflito entre alimentos e biocombustíveis merece atenção. O mundo caminha para produzir etanol a partir de material celulósico, presente em todas as plantas e vegetais e, da mesma forma, as algas aparecem como solução para a produção de biodiesel em larga escala. Essas duas opções de produção de biocombustíveis poderão minimizar bastante o impacto sobre a produção de alimentos, pois utilizam matérias-primas que não são usualmente utilizadas como alimentos. É preciso que as pesquisas sobre o etanol celulósico e sobre o biodiesel de algas continuem com

toda a força, para que o conflito entre produção de alimentos e biocombustíveis não se agrave. Os biocombustíveis são importantes para que o homem contenha, ou ao menos minimize, o problema do aquecimento da atmosfera. Porém, sua utilização não pode impor ao próprio homem, sobretudo às populações mais carentes, limitações alimentares que causariam o infortúnio de milhares de pessoas em todo o planeta.

Por fim, o uso racional da energia elétrica, por meio do desenvolvimento de baterias mais potentes e células a combustível com hidrogênio, poderá resolver a questão climática do planeta no futuro. O uso racional da energia nuclear também pode contribuir para este fim, mas não deve ser considerada como a salvação. O chamado lixo nuclear é, ainda, o ponto frágil dessa tecnologia, sem contar os perigos de acidentes nas usinas.

O homem caminha para converter a energia solar em hidrogênio, que pode ser usado para produção de eletricidade em células a combustível. Essa tecnologia ainda está distante do ponto de vista comercial, mas deverá estar disponível até o fim deste século. Caberá aos futuros cientistas gastar um pouco de suas energias para tentar solucionar todas essas questões. O homem foi capaz de transformar o mundo a sua volta, criando conforto, desenvolvimento e qualidade de vida. Não será diferente no futuro, e cabe aos cientistas atuais despertarem nos futuros cientistas a paixão pelo conhecimento e pelas novas descobertas.

11

Referências

- 1- BAIRD, C. Química Ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1999.
- 2- BOCCHI, N., FERRACIN, L. C., BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. Química Nova na Escola, v.11, p. 3-7, 2000.
- 3- CHASSOT, A. Catalisando transformações na educação. Ijuí: Ed. Unijuí, 1993.
- 4- CHASSOT, A. Raios X e radioatividade. Química Nova na Escola, v.2, p.19-22, nov. 1995.
- 5- EVANS, J. Monóxido de carbono: mas do que somente um gás letal. Química Nova na Escola, v.9, p.3-5, 1999.
- 6- FELTRE, R. Fundamentos da Química. 2. ed., São Paulo: Moderna, 1996.
- 7- GENTIL, V. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico e Científico, 1996.
- 8- ENERGIA NUCLEAR. Disponível em:
<http://www.biodieselbr.com/energia/nuclear/energia-nuclear.htm>.
Acesso em 28/09/10.

- 9- HALL, N. Neoquímica: a Química moderna e suas aplicações. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- 10- HELENE, M. E. M. A radioatividade e o lixo nuclear. São Paulo: Scipione, 1996.
- 11- HOBBSAWM, E. J. Era dos extremos: o breve século XX: 1914 - 1991. 2. ed. Trad. M. Santarrita. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.
- 12- MELLO, S. Pilhas e baterias: indústria terá de oferecer opções para descarte. Saneamento Ambiental, v. 10, p. 26- 29, 1999.
- 13- MOTA, C. J. A., SILVA, C. X. A. DA, GONÇALVES, V. L. C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. Química Nova, v. 32, p. 639-648, 2009.
- 14- OLIVEIRA, F. C. C., SUAREZ, P. A. Z., SANTOS, W. L. P. DOS. Biodiesel: possibilidades e desafios. Química Nova na Escola, v. 28, p.1-6, 2008.
- 15- PERUZZO, T. M., CANTO, E. L. Química na abordagem do cotidiano. São Paulo: Editora Moderna, 1997.
- 16- SANTOS, W. L. P., SCHNETZLER, R. P. Educação em Química: compromisso com a cidadania. Ijuí: Editora da Unijuí, 1997.
- 17- SUAREZ, P. A. Z., SANTOS, A. L. F., RODRIGUES, J. P., ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. Química Nova, v. 32, p. 768-775, 2009.
- 18- TOLENTINO, M., FILHO, R. C. R. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. Química Nova na Escola, v. 11, p. 35-39, 2000.

- 19-TOLMASQUIM, M. T. Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- 20-VILLULLAS, H. M., TICIANELLI, E., GONZÁLEZ, E. R. Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. Química Nova na Escola, v.15, p. 28-34, 2002.
- 21-WENDT, H., GOTZ, M., LINARDI, M. Tecnologia de células a combustível. Química Nova, v.4, p. 538-546, 1999.

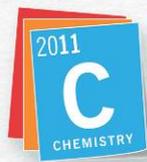
Fontes das figuras

Figura 26 - <http://www.google.com.br/imgres?imgurl=http://motordream.uol.com.br/upload/noticia>

Figura 40 - http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/pilha/pilha_daniell/

Figura 44 - <http://psipunk.com/wp-content/uploads/2008/12/hydrogen-cars-technology-01.jpg>

Figura 47 - <http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/Image/NuclearFission3.jpg>



International Year of
CHEMISTRY
2011

QUÍMICA PARA UM MUNDO MELHOR

www.quimica2011.org.br