

**E**ste volume é dedicado à química do meio ambiente. São 5 capítulos (*A evolução da atmosfera terrestre; Química atmosférica: a química sobre nossa cabeça; As águas do planeta Terra; Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza e Lixo: desafios e compromissos*) que abordam assuntos de grande importância, os quais certamente irão determinar a qualidade do nosso futuro como habitantes de um planeta único, finito, frágil, fruto de milhares de milhões de reações químicas que se processam a cada segundo.

Para muitos de nós, a química do meio ambiente é uma área do conhecimento que surgiu dentro da química nestas últimas décadas. No entanto, é importante que se tenha em mente que esta hipótese não procede. Uma viagem pelo tempo nos mostra documentos do século XVII nos quais se observa a preocupação com a devastação do meio ambiente em regiões do Reino Unido próximas de onde se fazia a extração do carvão. Num dos volumes do periódico inglês *Nature*, datado de 1872, há uma minuciosa análise da qualidade do ar nas cidades inglesas de Londres e Manchester, inclusive apontando para o perigo das altas concentrações de  $\text{SO}_2$  observadas naquelas atmosferas urbanas (Thorpe, 1872). Estes são apenas alguns exemplos que demonstram que a química voltada aos processos ambientais não é algo novo; o fato é que nós, químicos, durante muito tempo fizemos química de frente para a bancada, mas de costas para a janela dos

laboratórios.

Este aparente desinteresse pelos processos químicos que ocorrem na biosfera não ocorreu apenas no Brasil, mas foi um fenômeno global. A partir da década de 60, a sociedade foi repentinamente tomada por uma nova ordem. A informação transformou nos-

so planeta em um sistema único, interligado. Quando vimos a primeira fotografia do nosso planeta tirada de uma nave espacial, descobrimos que a Terra era realmente azul, flutuando no espaço como se fosse um organismo

vivo, único. Descobrimos também que o uso indiscriminado de pesticidas estava colocando em risco a nossa saúde ao contaminar os alimentos e as águas, que o lixo urbano e industrial estavam sendo descartados inadequadamente e que o nosso ar estava se tornando irrespirável. O modelo econômico em prática não mais servia porque tratava o nosso planeta finito e limitado como se fosse algo infinitamente rico e capaz de prover recursos ilimitados a uma população que crescia assustadoramente. Como não bastasse, via a indústria química como um mero transformador destes recursos naturais em bens de consumo, sem se importar com os rejeitos impactantes gerados nestas transformações.

A década de 70 já mostra claramente os resultados produzidos como fruto da organização e da mobilização da sociedade, agora protegida por

uma legislação ambiental cada vez mais restritiva, preocupada com o destino dos compostos químicos no meio ambiente, com a avaliação de risco ambiental, com o risco de exposição às novas moléculas produzidas pelo homem, das quais pouco se sabia sobre sua toxicidade. A partir dos anos 80, e até os dias de hoje, abraçada pela mídia, a questão ambiental passa a ser um tema de discussão em todos os segmentos da sociedade.

Muito embora a democratização da discussão sobre as questões ambientais tenha sido um dos principais fatores para um maior conhecimento dos processos de degradação da nossa qualidade de vida e para o aprimoramento de uma legislação pertinente, os problemas de poluição ambiental ainda são cercados de muita desinformação (ou contra-informação), o que muitas vezes dificulta a escolha da melhor opção preventiva ou mesmo paliativa para o problema. Parte desta desinformação pode ser atribuída a um erro histórico que nós, químicos, cometemos há quatro décadas atrás quando deixamos a sociedade sem respostas quando se questionou, por

exemplo, os riscos inerentes ao uso de DDT, dos metais pesados e da emissão de gases causadores de efeito estufa, dentre outros. Vem desta época também a disseminação de

um sentimento de associar a química com o impactante, o nocivo, o sintético (não-natural).

Dados recentes do IBGE mostram que a expectativa de vida do brasileiro passou de 43,3 anos, na década de 50, para 68,1 anos em 1998. Parte

**Uma viagem pelo tempo nos mostra documentos do século XVII nos quais se observa a preocupação com a devastação do meio ambiente em regiões do Reino Unido próximas de onde se fazia a extração do carvão**

**A partir dos anos 80, e até os dias de hoje, abraçada pela mídia, a questão ambiental passa a ser um tema de discussão em todos os segmentos da sociedade**

apreciável no salto deste indicativo de qualidade de vida se deve aos avanços da química na área de saneamento ambiental e processos de desinfecção de água, ao aumento e diversificação da produtividade agrícola às custas de insumos químicos, bem como da bioquímica, que serve como base da medicina preventiva, desenvolvendo vacinas e novas drogas que aumentam a nossa longevidade. Ou seja, em uma análise centrada em risco/benefício, nós químicos podemos nos sentir muito à vontade para afirmar que nossa contribuição tem sido crucial para a melhoria da qualidade de vida no planeta.

Certamente, dentro de um assunto

tão complexo, inúmeras perguntas ainda estão sem resposta. Por exemplo, ainda não sabemos com exatidão a magnitude do efeito estufa e, por conseguinte, todas as suas consequências. Também não podemos prever em detalhes a toxicidade ou o poder mutagênico de todas as novas moléculas que são produzidas, o que não deixa de ser extremamente frustrante para um cientista. No entanto, é importante que se tenha sempre em mente que, em qualquer que seja a situação, devemos sempre agir baseados em fatos e evidências científicas. É importante que, como químicos, saibamos diferenciar **percepção** de risco ambiental da **avaliação** de risco

ambiental, uma vez que o primeiro pode ser muito subjetivo (e portanto falho), enquanto a avaliação é centrada em informações científicas. E é galgado neste paradigma que estamos produzindo este volume dedicado à química do meio ambiente, procurando descrever as bases químicas dos processos ambientais, sejam eles impactantes ou não, permitindo assim a todos os leitores o acesso ao conhecimento.

---

Entra algum autor aqui?

### Referências bibliográficas

Thorpe, T.E., *Nature*, 22 de agosto de 1872.



**Wilson F. Jardim**

A evolução da atmosfera terrestre ao longo de 4,5 bilhões de anos nos revelam transformações químicas drásticas. O aparecimento da vida no nosso planeta acarretou uma situação de constante desequilíbrio na nossa atmosfera, sendo que esta instabilidade tem se agravado nestas últimas décadas fruto das atividades antrópicas. O perigo associado à alteração da composição química da atmosfera é discutido.

► atmosfera, termodinâmica, fotossíntese, respiração ◀

**A** Terra tem aproximadamente 4,5 bilhões de anos. Seria pouco provável que nosso planeta tivesse permanecido por todo este tempo idêntico, na sua forma e na sua composição, ao planeta que hoje habitamos. O mesmo ocorre com a atmosfera terrestre, que nem sempre apresentou a mesma composição química que a atual, conforme apresentada no quadro 1. Muito embora todos nós tenhamos a idéia de que grandes mudanças devem ter ocorrido nestes bilhões de anos, sempre nos resta uma pergunta: como podemos reconstituir a atmosfera terrestre primitiva de modo a avaliar a magnitude destas transformações? Simplesmente tentando entender as marcas deixadas por estas transformações no nosso planeta através da química, da geologia e da biologia, trabalhando integradamente como uma equipe multidisciplinar. E à medida que desvendamos as grandes transformações químicas que a atmosfera terrestre vivenciou, procuramos avaliar quais foram as conseqüências destas mudanças para a manutenção da vida na Terra. Assim, podemos aprender muito com a história, de modo a não cometermos os mesmos erros (ou pelo

menos nos protegermos de seus efeitos), os quais ficaram registrados na crosta do planeta ao longo destes bilhões de anos.

O processo mais importante ocorrido no planeta Terra foi o aparecimento da vida, o que deve ter ocorrido há aproximadamente 3,5 bilhões de anos. Até então, estima-se que nosso planeta apresentava uma atmosfera bastante redutora, com uma crosta rica em ferro elementar e castigada por altas doses de radiação UV, já que o Sol era em torno de 40% mais ativo do que é hoje e também não havia oxigênio suficiente para atuar como filtro desta radiação, como ocorre na estratosfera atual (vide artigo sobre química atmosférica). Dentro destas características redutoras, conclui-se que a atmosfera primitiva era rica em hidrogênio, metano e amônia. Estes dois últimos, em processos fotoquímicos mediados pela intensa radiação solar, muito provavelmente terminavam se transformando em nitrogênio e dióxido de

carbono. Conforme esperado, todo oxigênio disponível tinha um tempo de vida muito curto, acabando por reagir com uma série de compostos presentes na sua forma reduzida.

### A Termodinâmica e o conceito de vida

Uma observação mais criteriosa na composição química da atmosfera terrestre (quadro 1) mostra que o nosso planeta é ímpar quando comparado com nossos vizinhos mais próximos, Marte e Vênus. Se fosse possível tomar uma amostra da atmosfera destes dois planetas e confiná-las num sistema isolado por alguns milhões de anos, iríamos observar que a sua composição

Quadro 1: Composição química e termodinâmica da atmosfera de alguns planetas do sistema solar (%).

Gás	Vênus	Marte	Terra	Terra*
CO <sub>2</sub>	96,5	95	0,035	98
N <sub>2</sub>	3,5	2,7	79	1,9
O <sub>2</sub>	traços	0,13	21	traços
Argônio	traços	1,6	1,0	0,1
$\Delta fG_m / \text{kJ mol}^{-1}$ **	-365	-376	-1,8	-377

\* composição provável antes do aparecimento da vida no planeta.

\*\* detalhes sobre como calcular os valores da energia livre padrão molar de formação apresentados nesta tabela encontram-se na referência 1.

química não muda. Ou seja, sob o ponto de vista termodinâmico, estas atmosferas estão em equilíbrio, conforme mostram os dados termodinâmicos presentes na última linha do quadro 1. No entanto, se tomarmos uma amostra do ar que respiramos hoje e procedermos do mesmo modo que fizemos para as amostras de Marte e Vênus, ou seja, confinarmos de modo a excluir qualquer interação com seres vivos, iríamos descobrir que sua composição química seria drasticamente alterada, e no final teríamos uma atmosfera muito similar àquela encontrada nestes dois planetas, conforme mostrado na última coluna do quadro 1.

Isto demonstra que a atmosfera terrestre está muito distante do equilíbrio termodinâmico, o que intuitivamente é sabido, pois como poderíamos explicar que em uma atmosfera tão rica em oxigênio (poderoso oxidante) pudessem coexistir espécies reduzidas tais como metano, amônia, monóxido de carbono e óxido nitroso? Em uma análise mais abrangente, poderíamos dizer que este quadro único em termos de composição química da atmosfera da Terra é fruto da vida que se desenvolveu no planeta há mais de 3,5 bilhões de anos. O oxigênio que hoje compõem a atmosfera é quase que todo ele produto da fotossíntese, pois todas as outras fontes fotoquímicas inorgânicas de produção de oxigênio juntas contribuem com menos de um bilionésimo do estoque de  $O_2$  que respiramos. Assim, os processos biológicos (em outras palavras, a vida!) produzem não apenas o oxidante atmosférico, mas também os gases reduzidos, gerando um estado de baixa entropia, mantido pela inesgotável fonte de energia proveniente da radiação solar.

Esta análise termodinâmica da atmosfera terrestre foi muito importante na década de 60, quando os EUA e a extinta União Soviética, no auge do período denominado 'Guerra Fria', estavam interessados na exploração do espaço, e na investigação da possibili-

dade da existência de vida extraterrestre.

Imagine uma nave não-tripulada pousando em Marte para investigar a existência de vida neste planeta, e que você fosse o encarregado de idealizar um experimento que pudesse elucidar esta dúvida. Na realidade, este cenário não é de ficção, e realmente ocorreu. Dentre as várias propostas de experimentos que foram apresentadas (busca de DNA, detecção de carbono assimétrico

**Mesmo dentro de uma concepção química extremamente abrangente de vida, Marte e Vênus são hoje tidos como planetas estéreis porque suas atmosferas estão em equilíbrio termodinâmico**

etc.), todas pecavam porque assumiam que a existência da vida seria caracterizada por indícios com os quais estamos familiarizados, ou seja, estavam centrados na nossa concepção do que é vida. No entanto, o pesquisador inglês James Lovelock (1982) propôs que não seria necessário ir até estes planetas para verificar se haveria ou não vida neles, uma vez que em um conceito muito mais amplo (e válido para todo o nosso sistema solar), a vida poderia ser detectada pela simples observação, daqui da Terra mesmo, do estado de entropia da atmosfera alienígena. Dentro desta concepção química extremamente abrangente de vida, Marte e Vênus são hoje tidos como planetas estéreis porque suas atmosferas estão em equilíbrio termodinâmico. Você já havia pensado que a química pode fornecer uma das melhores e mais abrangentes definições do que é a vida?

### **O aparecimento da vida na Terra**

A evolução da vida no nosso planeta pode ser resgatada através das evidências deixadas na crosta terrestre (incluindo as calotas polares) basicamente pela análise geoquímica (especialização química e radio-isotópica) de rochas e meteoritos, ou pelos fósseis de organismos que habitaram a Terra, além de uma boa dose de criatividade balizada pelas evidências científicas e pelo bom senso. O quadro 2 esque-

matiza os principais eventos que determinaram a evolução da vida, mostrando a época em que ocorreram e as evidências usadas para inferi-los.

As rochas mais antigas mostrando provável evidência de vida foram encontradas na Groenlândia e são sedimentos carbonáticos com 3,8 bilhões de anos. Antes disso, acredita-se que a crosta terrestre era tão bombardeada por meteoritos que a vida seria improvável. Nestas rochas já se verifica um desbalanço isotópico, ou seja, o empobrecimento de  $^{13}C$  em relação ao  $^{12}C$ , o que geralmente é indicativo de atividade biológica (vide detalhes no box).

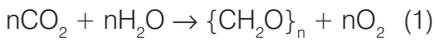
Em rochas oriundas da Austrália, com idade em torno de 2,8 bilhões de anos, foram encontradas cadeias de filamentos que muito se assemelham às cianofícias filamentosas (algas azuladas) de hoje. No entanto, os primeiros fósseis que realmente mostram organismos multicelulares são oriundos do Lago Superior, na América do Norte, e têm 2 bilhões de anos. Nestas foram encontradas as primeiras evidências de mecanismos de proteção ao oxigênio e à foto-oxidação em cianofíceas.

Uma análise centrada nas mudanças químicas que acompanharam esta evolução está apresentada no quadro 2, e nos mostra que o período mais crítico vivido pela nossa atmosfera foi há aproximadamente 2 bilhões de anos, quando os organis-

mos passaram a realizar a fotossíntese. É sabido que para gerar uma nova célula um organismo necessita de matéria e energia. Devido às características redutoras da nossa atmosfera primitiva, a biomassa era gerada através da fermentação, processo que ocorre também nos dias atuais (vide a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar, a produção do vinho etc.). No entanto, mesmo neste ambiente fortemente redutor, organismos fotosintéticos começaram a aparecer há 2 bilhões de anos, o que a princípio nos parece uma tentativa de suicídio coletivo. Na fotossíntese, a biomassa é produzida através da redução do  $CO_2$

**Devido às características redutoras da nossa atmosfera primitiva, a biomassa era gerada através da fermentação, processo que ocorre também nos dias atuais**

em presença de água e luz solar, conforme mostrada na equação (1)



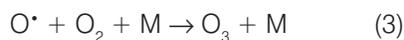
Sabendo-se que o oxigênio é um agente oxidante muito poderoso (basta cortar uma maçã e deixá-la exposta ao ar por poucos minutos e você verá o quanto nossa atmosfera é oxidante), e que os organismos que habitavam a Terra não poderiam sobreviver em uma atmosfera rica em  $\text{O}_2$ , uma das perguntas que normalmente se faz é por que apareceram os organismos fotossintéticos? A explicação mais plausível é porque a fotossíntese fornece 16 vezes mais energia aos organismos do que a fermentação. Deste modo, os organismos agora tinham um ganho energético muito atrativo, mas um preço muito alto a pagar: a toxicidade de um dos produtos da fotossíntese, o oxigênio. Assim, os organismos tinham que se proteger deste agente até então virtualmente inexistente na atmosfera, quer seja pela adaptação bioquímica de seus organismos, quer seja evitando a exposição ao mesmo. Ou ambos!

Vamos voltar a imaginar a nossa atmosfera há 2 bilhões de anos, onde o oxigênio começa a se formar fruto da fotossíntese. Sabendo que a radiação UV que atingia a crosta terrestre era intensa e muito energética, o excesso de oxigênio era fotoquimicamente transformado em ozônio, de acordo com as reações (2) e (3), conforme detalhado neste número, no arti-

### O significado biológico da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou do $\delta^{13}\text{C}$

Durante a fotossíntese, as plantas promovem o fracionamento dos isótopos do carbono. Essa diferença isotópica entre o teor de  $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  fixada nas plantas fica assim registrada nos diferentes compostos orgânicos que constitui a matéria orgânica vegetal. Existem 3 ciclos fotossintéticos na natureza: as plantas  $\text{C}_3$ , as  $\text{C}_4$  e as plantas CAM (ciclo do ácido crassuláceo) que discriminam os isótopos do carbono diferentemente. Embora todas concentrem mais  $^{12}\text{C}$  do que  $^{13}\text{C}$ , as plantas  $\text{C}_3$  são as que mais discriminam quando comparadas com as  $\text{C}_4$ . As  $\text{C}_3$  têm composição isotópica na faixa de -34 a -24 ‰ (partes por mil) e as  $\text{C}_4$  na faixa de -16 a 9‰; as plantas CAM, uma vez que fixam  $\text{CO}_2$  sob luz usando o ciclo  $\text{C}_3$  e no escuro usando o ciclo  $\text{C}_4$ , têm composição isotópica intermediária às plantas dos outros dois ciclos, ou seja, entre -29 a -9‰. Decorrente disto, os sedimentos podem atuar como registro histórico das contribuições das diferentes fontes de matéria orgânica de um ambiente através de  $\delta^{13}\text{C}$ . Um outro processo que promove um fracionamento isotópico é a precipitação de fases minerais tais como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na forma de calcita, por exemplo. Esse processo, quando promovido sob equilíbrio isotópico entre o carbonato cristalizado e o carbono inorgânico dissolvido, estabelece uma diferença isotópica de  $^{13}\text{C}$  tal que, a grande maioria dos carbonatos formados em tempos geológicos têm um  $\delta^{13}\text{C}$  da ordem de zero; as rochas marinhas têm uma composição moderadamente constante através dos períodos Cambriano e Terciário. Já as rochas de sistemas de águas doces têm composição muito variável e com composições mais leves de  $^{13}\text{C}$  (isto é, teores menores de  $^{13}\text{C}$ ), graças ao equilíbrio com um reservatório de carbono inorgânico dissolvido que também tem composição mais leve nestes isótopos exatamente devido à atividade. Portanto, a existência de rochas carbonáticas com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais leves representam indícios de atividade biológica no período em que o carbonato se formou, sendo por conseguinte um forte indício de vida no ambiente aquático naquele período.

go *Atmosfera: a química sobre nossa cabeças*:



Fruto destas reações químicas, a nossa atmosfera deve ter se transfor-

mado em um ambiente duplamente oxidante, pois além do oxigênio, agora também havia ozônio na baixa troposfera, tal qual o processo químico que ocorre hoje na nossa estratosfera, a mais de 15 km de altura, e que nos protege das radiações ultra-violeta perniciosas. Neste ambiente altamente tóxico para os organismos fermentativos e facultativos, só restava buscar a proteção em um local: embaixo d'água, nos oceanos, onde o ozônio é pouco solúvel e a radiação UV penetra apenas nos primeiros centímetros.

Por mais 500 milhões de anos os organismos viveram evitando o ambiente oxidante, adaptando-se bioquimicamente a esta nova realidade através da produção de enzimas protetoras de espécies altamente reativas como os radicais oxigenados. Enquanto isso, a concentração do oxigênio aumentava na troposfera, e com isso a camada de ozônio ia ficando cada vez mais elevada, distante da crosta terrestre. Finalmente, os organismos hoje ditos aeróbios foram cada vez mais se adap-

Quadro 2: Evolução da vida na Terra.

Tempo (10 <sup>6</sup> anos)	Evidência	% de oxigênio na atmosfera*
400	Peixes grandes, primeiras plantas terrestres	100
550	Explosão da fauna Cambriana	10
1.400	Primeiras células eucariótes; células com diâmetro maior; evidência de mitose	>1
2.000	Cianofícias tolerantes ao oxigênio, com carapaça de proteção; fotossíntese	1
2.800	Cadeias de filamentos - Organismos que se parecem com as cianofícias atuais; predominância da espécie Fe(II) em rochas; fermentação	<0,01
3.800	Rochas com empobrecimento de $^{13}\text{C}$ - Possível atividade biológica	<0,01

\* porcentagem tomando como base o teor de oxigênio na atmosfera atual.

tando ao aumento da concentração de oxigênio na atmosfera, até que nestes últimos 500 milhões de anos eles saíram da água para povoar a terra seca. Resumidamente, foram necessários mais de um bilhão de anos para que estes organismos (e muito mais recentemente o homem) se adaptassem ao maior impacto ambiental que a Terra já viveu, ou seja, a mudança da sua atmosfera de redutora para uma atmosfera altamente oxidante como esta em que vivemos nos dias atuais, contendo em torno de 21% de oxigênio.

### As lições a serem aprendidas

As mudanças químicas que ocorreram na atmosfera terrestre nos ensinam uma grande lição: independentemente da complexidade bioquímica dos organismos, do número de indivíduos e do seu posicionamento dentro da cadeia alimentar, é necessário um tempo muito longo para que haja a perfeita adaptação de qualquer espécie viva às novas condições ambientais. O oxigênio levou mais de 1,5 bilhão de anos para sair de uma concentração de traços e atingir os atuais 21%. No entanto, parece que os homens não estão muito atentos ao fato de que nestes últimos 150 anos houve uma mudança bastante apreciável na concentração de alguns gases mino-

ritários presentes na nossa atmosfera. O dióxido de carbono vem crescendo a uma taxa de 0,4% ao ano, o metano a 1% ao ano, enquanto os CFC's (clorofluoro carbonetos) crescem a uma as-

**Sem o efeito estufa, a temperatura média na superfície do globo ficaria abaixo de -15 °C, nosso planeta seria uma esfera rica em água no estado sólido e certamente não propícia ao aparecimento de vida; o efeito estufa bem dosado é benéfico e essencial para a manutenção da vida**

sustadora taxa de 5% ao ano, quadruplicando sua concentração média na atmosfera nas últimas 4 décadas (vide *Atmosfera: a química sobre nossa cabeça*). Todos estes gases, ainda que minoritários, têm uma função muito importante na química da atmosfera, pois alguns são gases cau-

sadores do efeito estufa, outros destroem a camada de ozônio, e alguns dos CFC apresentam ambas propriedades com altíssima intensidade. Cabe lembrar que a Terra sempre foi beneficiada pelo efeito estufa devido à presença de vapor d'água e ao CO<sub>2</sub> existentes na troposfera. Sem o efeito estufa, a temperatura média na superfície do globo ficaria abaixo de -15 °C, nosso planeta seria uma esfera rica em água no estado sólido e certamente não propícia ao aparecimento de vida pela falta de um fluido de escoamento. Ou seja, o efeito estufa bem dosado é benéfico e essencial para a manutenção da vida, mas um aquecimento descontrolado do planeta traria consequências funestas para o mesmo.

Portanto, nossa preocupação com as mudanças químicas que ocorrem na atmosfera devem ser centradas não

nos gases majoritários, mas principalmente naqueles minoritários que estão crescendo a uma velocidade tão elevada que, tudo indica, não teremos tempo de nos adaptar a uma nova situação, caso este aumento venha alterar o nosso clima ou a intensidade da radiação UV que chega até a crosta terrestre. E o mais importante é que na questão ambiental a precaução é o melhor remédio, pois grande parte das mudanças químicas que ocorrem na atmosfera, se não são irreversíveis, levam muito mais tempo para serem remediadas do que se fossem prevenidas. Resumindo, em qualquer assunto ligado à preservação ambiental, prevenir é sempre melhor do que remediar.

**Wilson F. Jardim**, professor titular do Departamento de Química Analítica do IQ-UNICAMP, responsável pelo Laboratório de Química Ambiental (LQA - lqa.iqm.unicamp.br), trabalha com química ambiental e já orientou 15 mestres e 11 doutores.

### Referências bibliográficas

JARDIM, W.F. e CHAGAS, A.P. A Química Ambiental e a hipótese Gaia: uma nova visão sobre a vida na Terra? *Quim. Nova*, v. 15, p. 73-76, 1992.

WAYNE, R.P. Origin and evolution of the atmosphere. *Chem. Brit.*, v. 24, p. 225-230, 1988.

SHEAR, W.A. The early development of terrestrial ecosystems. *Nature*, 1991.

BAUGH, M. Aerobic evolution - a fascinating world. *Educ. Chem.*, v. 28, p. 20-22, 1991.

LOVELOCK, J.E. *Gaia; a new look at life on Earth*. Oxford University Press 157 p., 1982.