



ISSN 1517-2201

Março, 2006

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 234

A Fotossíntese e o Aquecimento Global

Moacyr Bernardino Dias-Filho

Belém, PA
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
Caixa Postal, 48 CEP: 66017-970 - Belém, PA
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
E-mail: sac@cpatu.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Gladys Ferreira de Souza
Secretário-Executivo: Moacyr Bernardino Dias-Filho
Membros: Izabel Drulla Brandão
 José Furlan Júnior
 Lucilda Maria Sousa de Matos
 Maria de Lourdes Reis Duarte
 Vladimir Bonfim Souza
 Walkymário de Paulo Lemos

Revisores Técnicos

Delman de Almeida Gonçalves – Embrapa Amazônia Oriental
Izabel Drulla Brandão – Embrapa Amazônia Oriental
Joice Nunes Ferreira – Embrapa Amazônia Oriental
José Furlan Júnior – Embrapa Amazônia Oriental
Steel da Silva Vasconcelos – Embrapa Amazônia Oriental

Supervisor editorial: Regina Alves Rodrigues
Supervisão gráfica: Moacyr Bernardino Dias-Filho
Revisão de texto: Izabel Drulla Brandão
Normalização bibliográfica: Regina Alves Rodrigues
Editoração eletrônica: Francisco José Farias Pereira e Moacyr Bernardino Dias-Filho
Arte gráfica: Moacyr Bernardino Dias-Filho

1ª edição

1ª impressão (2007): 200 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dias-Filho, Moacyr Bernardino

A fotossíntese e o aquecimento global / por Moacyr Bernardino Dias-Filho. -
Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

24 p. : il. ; 21 cm. - (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 234).

ISSN 1517-2201

1. Fotossíntese. 2. Efeito estufa. 3. Carbono. 4. Climatologia. I. Título. II. Série
CDD 581.133.42

Autor

Moacyr Bernardino Dias-Filho

Eng. Agr., M.Sc., Ph.D., Embrapa Amazônia Oriental,
Caixa Postal 48, CEP 66017-970, Belém, PA, Brasil.
www.diasfilho.com.br

E-mail: moacyr@cpatu.embrapa.br

Apresentação

A temática sobre mudanças climáticas tem despertado o interesse de vários segmentos da sociedade, não sendo mais um assunto unicamente restrito a profissionais ligados à área científica. Não obstante a importância do tema e o interesse que o mesmo desperta, há uma grande carência de informações publicadas sobre esse assunto para o público não-científico.

Escrito de forma sintética e em linguagem didática e acessível, a *Fotossíntese e o aquecimento global* é uma obra de leitura indispensável para todos aqueles interessados na compreensão dos fenômenos ambientais e sobre o papel da espécie humana em relação ao nosso presente e futuro.

Ao disponibilizar mais essa obra à sociedade, a Embrapa Amazônia Oriental cumpre a sua missão, procurando contribuir para a popularização da ciência na compreensão de como fenômenos naturais complexos e as atividades humanas podem afetar a qualidade de vida em nosso planeta.

Jorge Alberto Gazel Yared
Chefe Geral da Embrapa Amazônia Oriental

Sumário

A Fotossíntese e o Aquecimento Global	9
Introdução	9
Conceitos básicos	10
Quem, onde e como?	13
Fatos e números	18
Considerações Finais	21
Referências	22

A Fotossíntese e o Aquecimento Global

Moacyr Bernardino Dias-Filho

Introdução

Para quem está envolvido na temática sobre mudanças climáticas, é de importância fundamental entender os conceitos básicos do fenômeno da fotossíntese e do seu papel na ecologia do ciclo global do carbono.

É impossível dissociar o fenômeno da fotossíntese de assuntos relacionados às perspectivas de aquecimento global. Isto porque o nível atmosférico do dióxido de carbono (CO_2) – o principal gás causador do efeito estufa – está diretamente relacionado à atividade fotossintética presente ou passada. Porque, também, as soluções economicamente viáveis que visam a diminuir o nível desse gás na atmosfera – como a promoção do seqüestro do carbono – têm estreita relação com a atividade fotossintética da vegetação terrestre ou a dos fitoplânctons nos oceanos.

Assim, este documento tem por objetivo apresentar, de forma simplificada, o fenômeno da fotossíntese e discutir a sua importância em temas relacionados com as mudanças climáticas. Dirige-se, sobretudo, a um público não-científico: de um lado, profissionais acostumados a lidar no trabalho com essa temática (advogados, jornalistas e legisladores, entre outros); de outro, leigos de qualquer segmento da sociedade, sem treinamento formal sobre o assunto, mas interessados em conhecer esse importante tema ambiental.

Conceitos básicos

O carbono

O carbono (C) é um dos constituintes fundamentais da vida, estando dentre os dez elementos químicos mais abundantes do Universo conhecido. Na Terra, ele está presente em todas as substâncias orgânicas, desde o ácido desoxirribonucléico (DNA) até os combustíveis fósseis.

No nosso planeta, o carbono está em constante movimento entre o ar, a terra e o mar. A esse movimento dá-se o nome de ciclo do carbono (Fig. 1). Em termos globais, o ciclo do carbono pode ser dividido em duas categorias: o ciclo geológico, que opera em uma escala de tempo de milhões de anos e o biológico, que opera em escalas de tempo menores, variando de dias a milhares de anos. Dessa forma, o carbono circula no planeta a velocidades que variam de muito rápidas a infinitamente lentas.

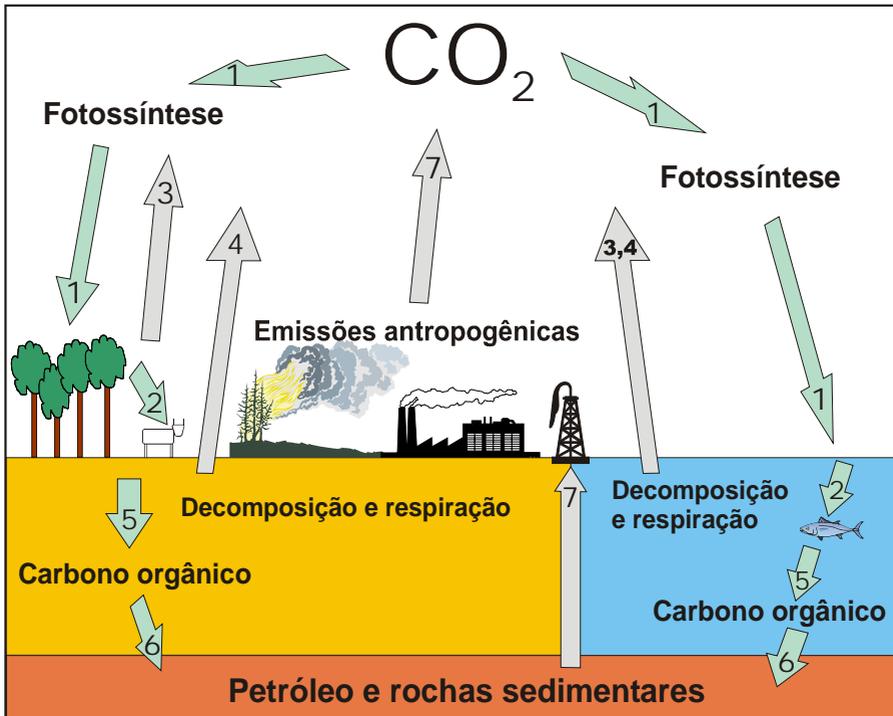


Fig. 1. O ciclo global do carbono.

Os principais componentes do ciclo do carbono apresentados na Fig. 1 estão descritos a seguir:

1. O carbono movimenta-se da atmosfera para as plantas e algas:

Na atmosfera, o carbono está ligado ao oxigênio, formando o gás carbônico (CO_2). Pelo processo da fotossíntese, o CO_2 é retirado do ar para a fabricação de alimento para as plantas na terra e aos fitoplânctons nos oceanos, lagos e rios.

2. O carbono movimenta-se das plantas e fitoplânctons para os animais:

Por intermédio das cadeias alimentares, o carbono incorporado pela fotossíntese de plantas e fitoplânctons transporta-se para os animais que se alimentaram dessas plantas e fitoplânctons. Animais que se alimentam desses animais também incorporam o carbono presente nesse alimento.

3. O carbono movimenta-se dos seres vivos para a atmosfera:

Por meio do processo da respiração (o inverso da fotossíntese) animais e plantas expelem CO_2 para a atmosfera.

4. O carbono movimenta-se das plantas e animais para a atmosfera:

Após a morte das plantas, fitoplânctons e animais, parte do carbono presente nesses organismos decompõe-se retornando para a atmosfera.

5. O carbono movimenta-se das plantas e animais para o solo ou camadas mais profundas do oceano:

Após a morte das plantas, fitoplânctons e animais, parte do carbono presente nesses organismos escapa da decomposição e permanece no solo ou oceano como carbono orgânico.

6. O carbono transforma-se em rocha sedimentar ou combustível fóssil:

O carbono que escapa da decomposição movimenta-se para camadas bem profundas do solo ou fundo do oceano e transforma-se em rocha sedimentar (nos oceanos) e combustível fóssil após muitos milhões de anos.

7. O carbono movimenta-se dos combustíveis fósseis e da vegetação queimada para a atmosfera:

Sempre que combustíveis fósseis são utilizados ou que a vegetação é queimada, o carbono retorna rapidamente para a atmosfera como CO₂ (emissões antropogênicas).

O CO₂ e o efeito estufa

Na atmosfera, o carbono está ligado ao oxigênio (O) em um gás chamado dióxido de carbono (CO₂), também chamado de gás carbônico. O CO₂ é o principal gás causador do efeito estufa.

O efeito estufa é um fenômeno natural que mantém as temperaturas médias do nosso planeta em níveis adequados para a manutenção da vida como conhecemos. Os gases de efeito estufa são assim chamados porque permitem que a luz do sol atravesse a atmosfera, mas impedem que o calor escape para o espaço, da mesma forma que uma estufa. A capacidade de impedir a perda de calor depende diretamente da concentração destes gases, logo quanto maior a sua concentração, maior o aquecimento.

O efeito estufa é necessário para a manutenção da vida na terra. No entanto, as atividades humanas (como uso de combustíveis fósseis e queima da vegetação) têm liberado tanto CO₂ que hoje existem cerca de 35% mais CO₂ do que havia há 150 anos atrás (COLLINS et al. 2007). A grande liberação desse e de outros gases de efeito estufa na atmosfera está levando ao aumento da temperatura do nosso planeta (aquecimento global) (IPCC, 2007). Existe, portanto, a necessidade de diminuir a concentração do CO₂ na atmosfera.

A fotossíntese

O CO₂ é retirado naturalmente da atmosfera pelo fenômeno da fotossíntese. A fotossíntese é a reação química mais importante do planeta, sendo o único processo (biologicamente importante) capaz de *colher* a energia (luz) derivada do sol. Todos os processos vitais, em última análise, dependem da atividade fotossintética, presente ou passada, para a obtenção de alimento e do oxigênio. No início da vida na Terra, o aparecimento de organismos capazes de realizar a fotossíntese foi de importância fundamental. Se não fosse pela atividade fotossintética desses organismos pré-históricos, a atmosfera da Terra ainda seria sem oxigênio e o aparecimento de animais dependentes do oxigênio, incluindo os humanos, nunca teria ocorrido.

Quem, onde e como?

A fotossíntese é feita por plantas, algas (como os fitoplânctons) e algumas bactérias. Em termos quantitativos, as plantas terrestres e os fitoplânctons são os principais organismos responsáveis pela fotossíntese. Na fotossíntese, átomos de carbono, na forma de CO_2 , são removidos da atmosfera e incorporados nos tecidos vivos dos organismos que realizam o processo (Fig. 2). Assim, a fotossíntese é a “porta de entrada” do carbono atmosférico nos ecossistemas terrestres (no caso da fotossíntese realizada por plantas terrestres) ou nos ecossistemas aquáticos, como oceanos e lagos (no caso da fotossíntese realizada por algas).

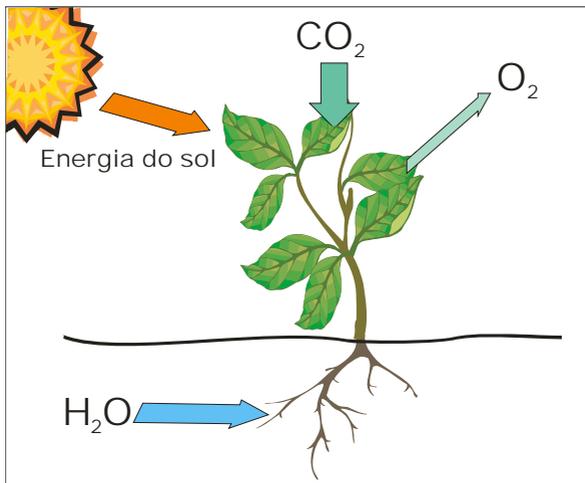


Fig. 2. Esquema simplificado do processo de fotossíntese em plantas terrestres.

O processo da fotossíntese consiste basicamente na conversão do CO_2 e da água (H_2O) em açúcares (carboidratos), o *alimento* das plantas, utilizando a luz solar como fonte de energia. Durante o processo, a molécula de água é dividida, usando a energia do sol, em átomos de hidrogênio (H) e oxigênio. O oxigênio é liberado no meio ambiente como *subproduto*, tornando possível toda a vida animal no planeta. O hidrogênio, oriundo da água, converte o carbono inorgânico contido no CO_2 em material orgânico (açúcares e amino ácidos entre outros), caracterizando a produção primária.

Resumindo: a fotossíntese consiste na cisão da água, utilizando a energia da luz, para ligar moléculas de carbono, resultando na produção de carboidratos (açúcares) e oxigênio molecular (Fig. 3).

Praticamente todas as formas de vida na Terra dependem dos açúcares (e de outros produtos derivados deles) produzidos pela fotossíntese para gerar a energia química, essencial para o crescimento e a reprodução. Isto é feito pelo processo da respiração, o inverso da fotossíntese. Na respiração, os carboidratos são metabolizados e transformados de volta em CO_2 , o qual retorna à atmosfera. Assim, toda vez que expiramos, estamos liberando de volta para a atmosfera gás carbônico que havia sido originalmente fixado pela fotossíntese.

Na nomenclatura científica, os seres que realizam a fotossíntese e, portanto, produzem sua própria energia são chamados *autótrofos*. Aqueles que não são capazes de produzir sua própria energia, como os humanos e outros animais, são chamados de *heterótrofos*. Dessa forma:

Plantas e algas (autótrofos) — PRODUZEM sua própria energia por meio da fotossíntese.

Animais (heterótrofos) — CAPTURAM sua energia ao se alimentarem de plantas ou outros animais.

Fotossíntese em ecossistemas terrestres

Durante a fotossíntese, o CO_2 entra na planta pelos estômatos, pequenos poros na superfície das folhas, por meio dos quais o CO_2 , vapor de água e outros gases são trocados com a atmosfera (Fig. 4). Dentro da folha, o CO_2 reage com enzimas, formando os carboidratos. A fotossíntese acontece dentro de estruturas da planta chamadas cloroplastos, especificamente usando pigmentos, principalmente os verdes chamados de clorofila (que estão dentro dos cloroplastos), que têm o papel de absorver a luz. Nas plantas, a fotossíntese ocorre principalmente nas folhas.

Fotossíntese

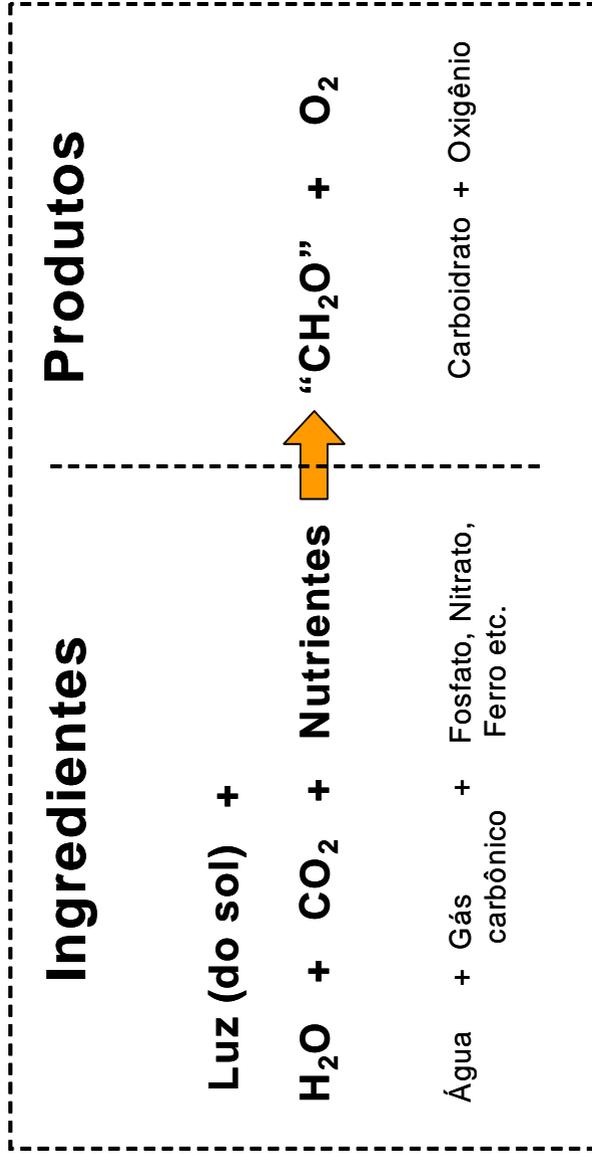


Fig. 3. Representação simplificada da equação da fotossíntese.

Fig. 4. Representação esquemática da superfície de uma folha mostrando o estômato e a troca de gases que ocorre durante a fotossíntese.

Parte do carbono assimilado nas plantas volta para a atmosfera como CO_2 , por meio da respiração. O carbono assimilado também é transferido para o solo pela exudação das raízes, morte de raízes e queda de detritos das plantas (folhas, ramos, frutos etc.). Com o passar do tempo, as raízes mortas e os detritos orgânicos depositados sobre o solo são decompostos, pela ação de macro (cupins, minhocas etc.) e microrganismos (fungos e bactérias), sendo convertidos em matéria orgânica do solo. Durante a decomposição, a maioria do carbono volta para a atmosfera como CO_2 , porém, uma pequena proporção não é decomposta e, portanto, fica armazenada no solo, isto é, é seqüestrado. Nesse sentido, compostos orgânicos persistentes do solo, como o húmus, são muito importantes para o seqüestro do carbono em longo prazo.

O carbono assimilado pela fotossíntese é utilizado na formação de troncos, galhos grossos e raízes de maior diâmetro, que permanecem na árvore por períodos bem maiores de tempo (vários anos a séculos), seria o carbono efetivamente seqüestrado pela planta.

Fotossíntese nos oceanos

Os fitoplânctons – algas microscópicas (cada gota d'água pode conter cerca de 10 mil células de fitoplâncton) unicelulares e principais responsáveis pela fotossíntese nos oceanos – são considerados como a *floresta invisível* (FALKOWSKI, 2002) e a base da cadeia alimentar marinha. Os fitoplânctons estão concentrados principalmente nos primeiros cem a duzentos metros do oceano, zona em que há penetração efetiva da luz do sol. Durante a fotossíntese, o CO_2 dissolvido na água do mar é absorvido pelos fitoplânctons e processado dentro dos seus cloroplastos, tal qual ocorre com as plantas terrestres, utilizando a luz do sol como fonte de energia.

Ao contrário do observado em ecossistemas terrestres, nos oceanos o ciclo do carbono entre a fotossíntese e a respiração processa-se muito rapidamente, pois praticamente não existe armazenamento de carbono pelos fitoplânctons, como o encontrado nos troncos das árvores e no solo em ecossistemas terrestres. Nos oceanos, o ciclo de vida dos fitoplânctons tem curta duração (alguns dias a semanas), pois eles morrem rapidamente ou são consumidos por animais marinhos microscópicos chamados de zooplânctons, os quais não fazem fotossíntese e, por sua vez, são alimento para seres maiores, como camarões, moluscos, águas vivas e peixes (cadeia alimentar marinha).

Uma pequena proporção do carbono assimilado anualmente pelos fitoplânctons, em torno de 15%, segundo Falkowski (2002), é transferida (na forma de detritos orgânicos) para o fundo do oceano, pela ação da gravidade. Ao longo do tempo, essa transferência representa uma considerável remoção do carbono das águas superficiais e da atmosfera, inicialmente, para águas mais profundas, sem a influência da luz e sob baixas temperaturas, e, posteriormente, para o fundo do oceano. Ao longo de milhões de anos, parte do carbono encontrado no fundo dos oceanos é incorporada em rochas sedimentares, e uma fração ainda menor desse carbono forma depósitos de gás natural e petróleo. Todos esses eventos caracterizam o fenômeno de seqüestro de carbono nos oceanos, o qual teve início com o processo da fotossíntese.

Fatos e números

A fotossíntese e o ciclo do carbono

A fotossíntese é componente fundamental do ciclo global do carbono (Fig. 1). Por intermédio da fotossíntese, as plantas terrestres absorvem, anualmente, cerca de 52 bilhões de toneladas de carbono. Os fitoplânctons absorvem cerca de 45 bilhões de toneladas de carbono por ano (FALKOWSKI, 2002).

Em termos globais, as maiores reservas de carbono estão localizadas nos oceanos. Em seguida está o solo, a atmosfera e as plantas terrestres (Fig. 5).

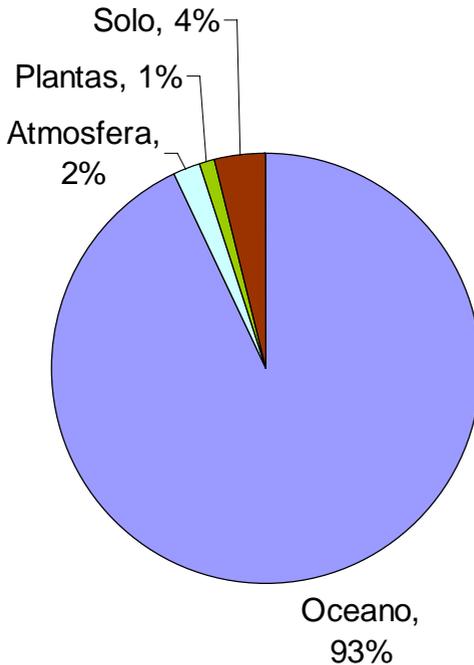


Fig. 5. Percentual das reservas globais de carbono.

Fonte: Beedlow et al. (2004) adaptada pelo autor.

Recursos energéticos e a fotossíntese

Grande parte dos recursos energéticos do planeta depende da atividade fotossintética recente (carvão vegetal e lenha) ou muito antiga (carvão mineral, gás natural e petróleo).

A lenha e o carvão vegetal são formados por partes de plantas (troncos, galhos etc.). Ao queimarmos lenha ou carvão vegetal para gerar energia, estamos liberando para a atmosfera o CO_2 que havia sido incorporado por aquela planta, durante a fotossíntese. No Brasil, o carvão vegetal é utilizado em grande escala em atividades econômicas importantes, como a destinada à siderurgia do ferro gusa. A lenha ainda é empregada em escala mundial por comunidades rurais, para preparação de alimento e para aquecimento de moradias.

A explicação predominante para a formação de depósitos de petróleo e de gás natural é que eles seriam remanescentes de organismos vivos (principalmente fitoplânctons) que morreram há milhões de anos atrás e que sofreram um processo de transformação ao longo desse tempo. Em virtude da sua origem, os combustíveis derivados desses produtos, como gasolina, óleo diesel e querosene, são chamados *combustíveis fósseis*, pois nada mais seriam do que os restos fossilizados daqueles organismos. Portanto, a fotossíntese realizada na pré-história seria, em última análise, a origem dos combustíveis fósseis.

O carvão mineral também é um combustível fóssil que teve a sua origem a partir da fotossíntese da vegetação pré-histórica que viveu há cerca de 300 milhões de anos, quando grande parte da superfície da Terra era coberta por pântanos. Ao morrerem, essas plantas passaram por um lento processo de transformação, o qual eventualmente as transformou em rocha preta ou marrom-preta chamada de carvão mineral ou carvão de rocha. Atualmente, o carvão mineral é importante fonte de energia em países como China, Estados Unidos e Índia. Graças à sua origem estar diretamente ligada à fotossíntese, todos os combustíveis fósseis são muito ricos em carbono. Dentre os combustíveis fósseis, o carvão mineral é aquele que libera mais CO_2 por unidade de energia produzida, sendo, portanto, o mais poluidor.

A fotossíntese e o seqüestro do carbono

Ao utilizar (queimar) combustíveis fósseis, nós estamos trazendo de volta à atmosfera o carbono pré-histórico, que estava armazenado no interior do planeta, a uma velocidade um milhão de vezes maior do que ocorreria naturalmente (por exemplo, por meio de erupções vulcânicas).

A cada ano, em torno de seis bilhões de toneladas de carbono, na forma de CO_2 , são liberados para a atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis, enquanto que cerca de dois bilhões de toneladas de carbono são liberadas em consequência de atividades de uso da terra como o desmatamento (BEEDLOW et al. 2004).

As florestas e o fitoplâncton não podem absorver o CO_2 rápido o bastante para acompanhar de forma equilibrada esse aumento. Dentre as soluções que têm sido propostas para a diminuição do CO_2 da atmosfera, a promoção do “seqüestro do carbono” tem tido bastante ênfase por se basear no incentivo da atividade fotossintética da vegetação, isto é, um mecanismo natural de altíssima eficiência e de baixo custo. Em ecossistemas terrestres, o aumento do seqüestro do carbono pode ser alcançado pela elevação da quantidade de carbono alocada para troncos e galhos grossos ou mediante o aumento do tempo de vida da árvore. Entretanto, o carbono que é alocado para folhas e raízes finas é reciclado para a atmosfera muito rapidamente para ser considerado fonte efetiva de seqüestro de carbono.

O Protocolo de Kyoto, que entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, criou um instrumento chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL, art. 12 do Protocolo). Esse mecanismo possibilita aos países desenvolvidos cumprir suas metas para reduzir emissões de gases de efeito estufa por meio do financiamento de projetos em países em desenvolvimento. O financiamento de projetos que seqüestram carbono por meio da fotossíntese em atividades florestais é uma das atividades contempladas pelo MDL. Dentre as ações que contribuiriam para a redução da concentração do CO_2 na atmosfera estão a recuperação de áreas degradadas; a conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação; a preservação de florestas nativas e o plantio de florestas e sistemas agroflorestais.

A quantificação da efetividade do seqüestro do carbono é feita pela estimativa da biomassa da planta acima e abaixo do solo, do cálculo de carbono estocado nos produtos madeireiros e pela quantidade de CO_2 absorvido no processo de fotossíntese (e.g., ANDRADE; IBRAHIM, 2003). Nesse sentido, considera-se que aproximadamente 40% da massa seca de uma planta consistiria de carbono fixado na fotossíntese.

Ênfase também tem sido dada à fertilização artificial dos oceanos com ferro, como forma de diminuir a concentração de carbono atmosférico (FALKOWSKI, 2002). A lógica é que o ferro incentivaria o crescimento dos fitoplânctons e,

conseqüentemente, aumentaria o volume de CO_2 que seria absorvido pela fotossíntese e com isso também aumentaria o seqüestro do carbono. Essa técnica ainda está em fase experimental e muitas dúvidas existem quanto à sua eficiência prática (BUESSELER; BOYD, 2003).

Considerações Finais

A fotossíntese é a reação química mais importante do planeta. Por meio desse fenômeno, plantas, fitoplânctons e algumas bactérias produzem seu próprio alimento necessário para o crescimento e a reprodução, utilizando a luz do sol como fonte de energia. A grande maioria dos seres vivos, incluindo os humanos, depende direta ou indiretamente da fotossíntese como fonte de alimento (por meio da cadeia alimentar) e como fonte de oxigênio para a respiração.

Grande parte dos recursos energéticos do planeta tem sua origem na atividade fotossintética pré-histórica (carvão mineral, gás e petróleo) ou relativamente recente (lenha e carvão vegetal, entre outros). Assim, todas as vezes que utilizamos essas fontes de energia, estamos devolvendo para a atmosfera o CO_2 que, em tempos passados, havia sido incorporado na biomassa de organismos fotossintetizadores. Nesse sentido, o uso de fontes alternativas de energia, como a energia solar e a energia eólica, ou de combustíveis renováveis (biocombustíveis) como o etanol, oriundo da cana-de-açúcar, seria fundamental para diminuir as emissões de CO_2 , o mais importante gás causador do efeito estufa.

O processo da fotossíntese é responsável por retirar do meio ambiente o gás carbônico, o mais importante gás causador do efeito estufa. Logo, a fotossíntese é essencial para a redução da concentração de CO_2 na atmosfera (seqüestro do carbono). Assim, ações que promovam o seqüestro do carbono (atividade fotossintética), como o florestamento e o reflorestamento, devem ser prioritárias no combate ao aquecimento global.

Portanto, o conhecimento de aspectos básicos do processo da fotossíntese é essencial para entendermos como o carbono movimenta-se pelos ecossistemas do planeta por meio de um ciclo global, e como as atividades humanas e naturais afetam esse ciclo.

Referências

ANDRADE, H.J.; IBRAHIM, M. Como monitorar el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.109-116, 2003.

BEEDLOW, P.A.; TINGEY, D.T.; PHILLIPS, D.L.; HOGSETT, W.E.; OLSZYK, D.M. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.2, p.315-322, 2004.

BUESSELER, K.O.; BOYD, P.W. Will ocean fertilization work? **Science**, v.300, p.67-68, 2003.

COLLINS, W.; COLMAN, R.; HAYWOOD, J.; MANNING, M.R.; MOTE, P. The physical science behind climate change. **Scientific American**, v.297, p.48-57, 2007.

FALKOWSKI, P.G. The ocean's invisible forest. **Scientific American**, v.287, p.38-45, 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; van der LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (Ed.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007, p.7-22.

Glossário

Algas

Plantas primitivas, uni ou pluricelulares, usualmente aquáticas e capazes de elaborar seus alimentos pela fotossíntese. Podem também ser heterótrofos ou até parasitas (no caso das formas despigmentadas).

Antropogênico

Feito pelo homem. Qualquer produto resultante das atividades humanas.

Aquecimento global

Aumento do **efeito estufa** pela ação humana.

Atmosfera

O ar que circunda a Terra, descrito como uma série de camadas de diferentes características. A atmosfera, composta principalmente por nitrogênio e oxigênio, com traços de **dióxido de carbono**, vapor d'água e outros gases, age como uma proteção entre a Terra e o sol.

Biomassa

Quantidade de matéria orgânica presente em um dado momento, em determinada área e que pode ser expressa em peso (massa), volume, área ou número.

Cadeia alimentar

Sistema no qual se processa a transferência de energia de organismos vegetais (fonte primária de energia) para uma série de organismos animais, por intermédio da alimentação e de reações bioquímicas. Dentro dessa seqüência hierárquica de organismos que se alimentam uns dos outros, cada organismo alimenta-se do organismo precedente e, por sua vez, sustenta o seguinte.

Carboidrato

Substância fabricada pelas plantas durante o processo da **fotossíntese** e composta por **carbono**, hidrogênio e oxigênio. O açúcar, a celulose e o amido são exemplos de carboidratos.

Combustível fóssil

Combustível formado a partir de **matéria orgânica**, no interior da crosta terrestre, ao longo de períodos de tempo extremamente longos (milhões de anos). Qualquer combustível orgânico de ocorrência natural, tal qual o petróleo, gás natural e carvão mineral.

Dióxido de carbono (CO₂)

Gás inodoro e incolor, presente na **atmosfera** como resultado da decomposição de materiais orgânicos e da respiração de organismos vivos. O CO₂ pode ser produzido e liberado para a **atmosfera** por intermédio da queima de materiais que contêm **carbono**, como madeira, carvão, gás natural, gasolina e outros. O CO₂ é um importante **gás de efeito estufa**. Também chamado de gás carbônico.

Ecossistema

Qualquer unidade ou entidade natural, incluindo partes vivas ou não-vivas, que interagem para produzir um sistema estável por intermédio de trocas cíclicas de materiais.

Efeito estufa

Fenômeno natural que permite o aquecimento da atmosfera terrestre em razão de gases (**gases de efeito estufa**) que retêm os raios infravermelhos da luz solar.

Fitoplâncton

Alga microscópica unicelular (formada de uma só célula).

Fotossíntese

Processo pelo qual as plantas, certas bactérias e algas, utilizando a luz como fonte de energia, absorvem o **dióxido de carbono** da **atmosfera** e o combinam com a água, liberando o oxigênio para o ar e formando **carboidratos**, que podem ser armazenados nos tecidos das plantas.

Gases efeito estufa

Gases causadores do **efeito estufa**, responsáveis pelo aquecimento do planeta. São gases efeito estufa **CO₂** (**dióxido de carbono** ou **gás carbônico**), **CH₄** (metano), **N₂O** (óxido nitroso), **HFC** (hidrofluocarbono), **PFC** (perfluorocarbono) e **SF₆** (hexafluoreto de enxofre).

Matéria orgânica

Parte do solo que contém organismos vivos e partes não-vivas, decompostas ou parcialmente decompostas, de plantas e animais.

Microrganismo (ou microorganismo)

Qualquer organismo microscópico ou ultramicroscópico, como bactérias e alguns fungos.

Pigmento

Substância que dá cor aos tecidos de um organismo.

Produção primária líquida

Quantidade de **biomassa** vegetal nova produzida anualmente por unidade de área.

Protocolo de Kyoto (ou Quioto)

Acordo internacional que estabelece metas de controle de emissão dos gases causadores do **efeito estufa** para os países industrializados.

Rocha sedimentar

Tipo de rocha formada a partir da consolidação de fragmentos de outras rochas, podendo haver também contribuição de precipitação química ou acúmulos de detritos orgânicos.

Seqüestro de carbono

Processo pelo qual o **carbono** da **atmosfera** (na forma de **dióxido de carbono**) é removido e armazenado no tecido das plantas por meio da **fotossíntese**.