

R · E · V · I · S · T · A

# Indústria da água

## **PONTO DE VISTA**

**GESTÃO DE SISTEMAS DE ÁGUAS  
DE ABASTECIMENTO E DE ÁGUAS RESIDUAIS:  
OBJECTIVOS E RESPONSABILIDADES  
DA IPE-ÁGUAS DE PORTUGAL, SGPS, S.A.**

*Eng.º Mário Lino Correia*

## **AMBIENTE**

**A ÁGUA E A BIOSFERA: (I)  
O CICLO BIOGEOQUÍMICO DA ÁGUA**

*Prof. Dr. Adélio A. S. C. Machado*

# A ÁGUA E A BIOSFERA: (I) O CICLO BIOGEOQUÍMICO DA ÁGUA

Adélio A. S. C. Machado  
LAQUIPAI, Departamento de Química  
Faculdade de Ciências do Porto, P4050 Porto

A água condensou e constituiu a hidrosfera da Terra muito antes de terem surgido as primeiras formas, incipientes, de vida. As propriedades da água desempenharam um papel importante no aparecimento dos organismos vivos: a substância serviu de meio para a ocorrência natural de uma sucessão de reacções químicas de síntese, cada vez mais elaboradas, que, a partir de substâncias inorgânicas constituídas por pequenas moléculas (água, monóxido de carbono, cianeto de hidrogénio, amoníaco, etc.), acabaram por originar as substâncias complexas que intervêm nas reacções bioquímicas que são o fundamento da vida, tais como as proteínas e os ácidos nucleicos; e, numa fase seguinte, foi na água que ocorreu a agregação das macromoléculas das substâncias bioquímicas e a sua organização em sistemas com capacidade de autosustentação e de reprodução espontânea, os primeiros organismos vivos (o conhecimento actual sobre esta última fase é meramente especulativo: o processo ainda não foi reproduzido em laboratório!). As propriedades da água condicionaram, também, a evolução da vida desde estes primeiros sistemas vivos, monocelulares, muito simples, para as formas sucessivamente mais complexas que hoje se conhecem, e que vão desde os procaríotes (certas bactérias e algas monocelulares sem núcleo bem definido) até aos mamíferos, dos quais o Homem é o expoente máximo. Por isso, não espanta que a água seja uma substância essencial para a existência da vida animal e vegetal, desde logo porque é a componente principal dos tecidos constituintes dos seres vivos: o conteúdo global de água nos organismos vivos varia entre 96-97%, em certos invertebrados marinhos, e menos de 50%, em certas bactérias monocelulares. O citoplasma das células é um gel aquoso, pelo que a água desempenha um papel importante como meio onde ocorrem as reacções bioquímicas da vida, tal como esta existe actualmente. Em suma, quando se considera a biosfera, é impossível deixar de se lhe associar desde logo a água, como condição essencial não só do seu aparecimento e evolução mas também da sua manutenção.

Este artigo tem como objectivo ilustrar a importância da água para a biosfera e as relações entre a água e o reino vegetal (ou *fitosfera*). Começa-se por uma discussão do envolvimento da água nas reacções químicas fundamentais de sustentação da vida, a oxidação da glicose e a fotossíntese. Segue-se uma análise da influência da fotossíntese (melhor, do crescimento da vegetação) no ciclo global da água, que

conduz ao conceito de *ciclo biogeoquímico* da água. Finalmente, apresentam-se alguns aspectos gerais das relações entre a vegetação e o ciclo da água a nível regional e local, e das interacções solo - vegetação - atmosfera à superfície da Terra.

## A ÁGUA E AS REACÇÕES FUNDAMENTAIS DA VIDA

Em termos esquemáticos simples, pode dizer-se que a vida é fundamentalmente mantida à custa de duas reacções químicas, esquematizadas na Fig. 1: a oxidação (ou combustão) da glicose ("respiração") e a fotossíntese. A figura mostra dois factos importantes: (I) a água intervém nas duas reacções, sendo um produto da oxidação da glicose e um reagente da fotossíntese; e (II) as duas reacções estão relacionadas entre si, mais precisamente, são inversas uma da outra (os produtos da segunda são os reagentes da primeira).

**A oxidação da glicose (carboidratos).** A reacção de oxidação da glicose é fortemente exotérmica (calor libertado:  $\Delta H = -2,9 \text{ MJ/mol}$  de glicose ou  $\Delta H = -0,47 \text{ MJ/mol}$  de água), e proporciona a energia para os processos vitais dos animais, que são seres *heterótróficos*, isto é, sem capacidade de sintetizarem as macromoléculas bioquímicas a partir de pequenas moléculas inorgânicas e absorverem energia directamente do exterior. De facto, é a oxidação da glicose ou, mais precisamente, dos carboidratos (substâncias constituídas por carbono, hidrogénio e oxigénio, de fórmula empírica  $(\text{CH}_2\text{O})_x$ , tal como a glicose), ingeridos nos alimentos, que proporciona a energia necessária ao funcionamento dos sistemas muito complexos que são os corpos dos animais e, também, a energia mecânica necessária para a sua movimentação, realização de trabalho mecânico, etc.. Por isso, a reacção de oxidação dos carboidratos é uma das reacções fundamentais da vida.

No presente contexto interessa realçar que, além de energia, a reacção produz água. Mais precisamente, dá origem a 2,12 mol ou 38,3 g de água por MJ de energia produzida.

**A fotossíntese.** A fotossíntese, realizada pelas plantas, por exemplo pelas plantas verdes terrestres, realiza a redução do carbono, da forma



oxidada em que ocorre no dióxido de carbono atmosférico, à forma reduzida de carboidratos em que existe nos tecidos das plantas. Como é a inversa da combustão, a reacção é endotérmica, isto é, requer energia. A reacção ocorre porque o reino vegetal desenvolveu um mecanismo que permite às plantas absorver energia da radiação solar e fixar carbono da atmosfera, por reacção do dióxido de carbono com água, para produzir glucose ou, melhor, carboidratos (os organismos com esta capacidade são chamados *autotróficos*). A produção de glucose forma tecido vivo (*biomassa*), ou seja, promove o crescimento das plantas. Nesta reacção, as plantas utilizam água como redutor do carbono: o consumo de água é de 1,5 g por g de carbono fixado. O oxigénio da água é oxidado a oxigénio molecular e libertado sob esta forma para a atmosfera.

Directa ou indirectamente, a fotossíntese fornece a energia necessária à existência de todas as outras formas de vida. Embora a fotossíntese ocorra apenas nas plantas, é essencial para a manutenção da vida animal e humana, já que a alimentação dos animais é constituída fundamentalmente por tecidos vegetais (os animais que servem de alimentos a outros animais, e em particular ao homem, alimentam-se de plantas!). O reino vegetal é, portanto, em última análise, a fonte de alimentação - e através desta, de energia - do homem e dos outros animais. Os tecidos vegetais são constituídos fundamentalmente por carboidratos, nomeadamente por celuloses e amidos. Estas substâncias são polímeros formados com base na unidade estrutural constituída pela glucose, pelo que a reacção de fotossíntese desta substância é o ponto de partida para a respectiva síntese. As celuloses constituem as paredes das células e os tecidos fibrosos de suporte das plantas (a madeira é constituída por celulose; o algodão é celulose quase pura, cerca de 98%). Os materiais celulósicos não são assimiláveis pelo Homem, mas sim por certos animais, os ruminantes (não obstante não terem valor nutritivo, a ingestão de materiais celulósicos - fibras vegetais - é essencial para o funcionamento do aparelho digestivo humano). Os amidos, porém, são assimilados pelo Homem e constituem um dos elementos fundamentais da sua alimentação: existem, por exemplo, nos cereais e batatas, que constituem uma parte importante desta. Em suma, a síntese fotoquímica da glucose é uma segunda reacção fundamental da vida: é a reacção essencial da vida vegetal e, embora indirectamente, é tão importante para a vida animal como a reacção de combustão da mesma substância.

**A fotossíntese e o funcionamento da Terra.** Além de ser uma reacção fundamental para a manutenção da vida, a fotossíntese determina também muitos aspectos da evolução, funcionamento actual e "personalidade" global do planeta Terra. Na realidade, por exemplo, o crescimento do reino vegetal teve uma influência decisiva na evolução da composição da atmosfera terrestre e influi na sua composição actual; influencia o desenvolvimento dos solos; e afecta a movimentação da água no respectivo ciclo. A fotossíntese está, portanto, relacionada com

vários aspectos do funcionamento da Terra como um sistema dinâmico estacionário.

Aliás, a fotossíntese é a razão fundamental das diferenças entre a Terra e os outros planetas do Sistema Solar. A Terra (mais precisamente, a superfície da Terra, incluindo a atmosfera) é um sistema que funciona, em estado estacionário, com base num desequilíbrio fundamental provocado pela fotossíntese (ver Fig.2). Esta reacção produz continuamente carboidratos, que são compostos oxidáveis, isto é, produz um combustível (e, simultaneamente, oxigénio, o oxidante!), aumentando a energia do sistema e diminuindo a sua entropia (desordem); a energia requerida para este processo é proporcionada pela radiação solar. A oxidação dos carboidratos na decomposição dos resíduos vegetais, na combustão dos combustíveis fósseis, na respiração dos animais, etc., faz baixar a energia e aumenta a entropia, contrariando os efeitos da fotossíntese. A fixação do carbono do dióxido de carbono atmosférico pela fotossíntese, sob a forma de carbono orgânico, induz, portanto, uma movimentação global do carbono, o chamado *ciclo do carbono*, que se propaga a outros elementos (obviamente, ao oxigénio, também ao azoto, mas não só!). Em suma, os ciclos globais do carbono, do azoto e dos outros elementos essenciais à vida, são movimentações complexas e inter-relacionadas que têm como força motriz a fotossíntese. Nos outros planetas do Sistema Solar, em que não há vida, as movimentações de substâncias à superfície são muito mais simples. Diz-se, por isso, que a Terra é um sistema *biogeoquímico*, enquanto os outros planetas são sistemas estritamente *geoquímicos*.

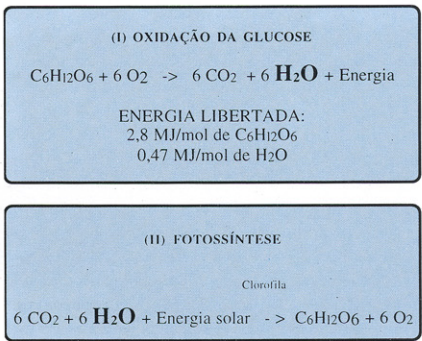


Fig. 1 - A água intervém nas duas reacções fundamentais que suportam a vida na Terra: (I) - oxidação da glucose e (II) - fotossíntese.

**O CICLO BIOGEOQUÍMICO DA ÁGUA**

Vai-se agora mostrar que o ciclo biogeoquímico do carbono afecta o ciclo global da água em resultado de esta substância ser usada na reacção de fotossíntese como reagente. Para isso, vai-se usar o conceito de *produção primária* terrestre global do planeta Terra: trata-se da

quantidade de carbono global fixado da atmosfera pela fotossíntese e acumulada como carboidratos nos tecidos das plantas terrestres, por unidade de tempo.

Calcula-se que a produção primária terrestre global do planeta Terra seja da ordem de  $4 \times 10^{15}$  mol/ano de carbono (ou  $48,3 \times 10^{12}$  kg C/ano), consumindo igual número de moles de água, isto é, cerca de  $7,2 \times 10^{13}$  kg/ano de água. Este caudal é enorme, mas pequeno quando comparado com os caudais do ciclo da água, que são da ordem de  $10^{16}$ - $10^{17}$  kg/ano (ver a Fig. 1 do artigo *A água na Terra (I)*, RIA (Revista da Indústria da Água), número 10, Janeiro/Março de 1994, p.8). No entanto, para obter este caudal de água nos sítios onde ocorre a fotossíntese (as folhas), as plantas desenvolveram um mecanismo complexo, a chamada *transpiração*, em que absorvem do solo uma quantidade de água muito superior à que utilizam na fotossíntese, que evaporam na sua quase totalidade para a atmosfera, pelas folhas. Na fotossíntese, as plantas só gastam fracção ínfima do caudal absorvido, da ordem do 0,1% - por outras palavras, o rendimento deste processo é muito baixo! Por isso, o caudal total de água movimentado pelas plantas terrestres do solo para a atmosfera é cerca de mil vezes superior aos  $7,2 \times 10^{13}$  kg/ano usados na fotossíntese, isto é, da ordem de  $10^{16}$ - $10^{17}$  kg/ano, e, portanto, não desprezável relativamente aos outros caudais do ciclo da água. O caudal transpirado pelas plantas corresponde a cerca de 4% do caudal anual de precipitação sobre os continentes da Terra, de 15% do caudal anual total dos rios e de 20% da quantidade total de humidade no solo. As florestas, nomeadamente, desempenham um papel importante na movimentação da água por transpiração: por exemplo, uma árvore média absorve do solo e transpira para a atmosfera cerca de 190 dm<sup>3</sup>/dia. Note-se que, se se atender a que, frequentemente, as plantas vivem em condições em que a água é o factor limitante do seu crescimento, o facto de terem desenvolvido um mecanismo tão pouco eficiente para a utilização da água na fotossíntese pode considerar-se estranho (resulta, provavelmente, de a vida ter surgido e evoluído em situações em que a água era abundante).

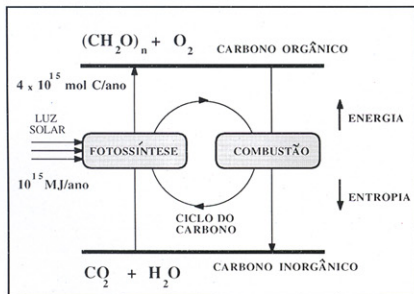


Fig. 2 - A fotossíntese aumenta continuamente a energia da Terra (e diminui a sua entropia) e é responsável pelo ciclo global do carbono, que se fecha pela oxidação (combustão) dos carboidratos ("respiração").

Em consequência da grande quantidade de água movimentada pela transpiração das plantas, a biosfera tem uma contribuição não desprezável para o ciclo da água, que deve ser considerado um *ciclo biogeoquímico*, e não um simples *ciclo geoquímico*. Na Fig. 3 põe-se em evidência o papel da biosfera na movimentação da água: para isso, incluem-se os subciclos biológicos no ciclo da água e apresenta-se o chamado *ciclo biogeoquímico da água*. Em contraste com o diagrama do ciclo global da água apresentado num artigo anterior (ver o já citado artigo *A água na Terra (I)*, RIA, número 10, Janeiro/Março de 1994, p.8), em que se incluem quantidades e valores numéricos dos caudais, o presente diagrama é apenas qualitativo. Este facto decorre de o conhecimento actual sobre os fluxos de e para compartimentos referentes aos animais e às plantas ser ainda limitado e inseguro, o que resulta da diversidade e complexidade da biosfera.

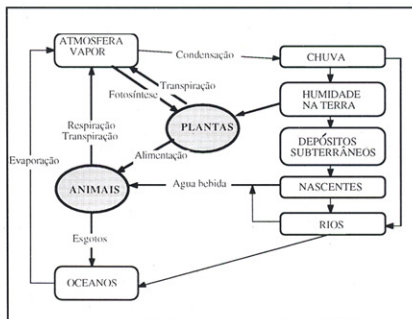


Fig. 3 - O ciclo biogeoquímico da água (qualitativo) na Terra, pondo em evidência os subciclos em que intervém a biosfera.

Em rigor, deve-se reconhecer que o ciclo global da água envolve dois componentes fundamentais, um de natureza geoquímica outro de natureza biogeoquímica. O primeiro diz respeito ao movimento da água entre os oceanos e os continentes, no sistema de circulação global proporcionado pela atmosfera; a intervenção da fitosfera neste processo é praticamente nula, pelo que a sua natureza é fundamentalmente *geoquímica*. O segundo é constituído por subciclos internos nos continentes, em que a água evaporada da superfície terrestre volta a esta como chuva e neve. Estes subciclos são determinados pelas transferências de energia e água à superfície terrestre e sua relação mútua, e variam com o modo como se utiliza e gere o solo, em particular são muito afectados pela vegetação que nele se desenvolve naturalmente ou é cultivada pelo homem. Em contraste com o ciclo originado nos oceanos, estes subciclos são de natureza *biogeoquímica*.

Finalmente, não se deve esquecer que as plantas marinhas, nomeadamente os microrganismos que constituem o fitoplâncton, sintetizam uma quantidade de carboidratos da mesma ordem de grandeza que as plantas terrestres. Por esta razão, o mar é considerado um potencial



fornecedor de carboidratos para alimentação humana, a explorar, e que pode vir a ser muito importante de futuro. Calcula-se que a produtividade primária dos oceanos seja da ordem dos  $2,1 \times 10^{15}$  mol/ano de carbono (ou  $24,9 \times 10^{12}$  kg C/ano), a que corresponde um fluxo absorvido de  $3,7 \times 10^{13}$  kg/ano de água. Como, porém, as plantas marinhas vivem na água e têm acesso directo à substância, não precisam de um mecanismo tão elaborado como a transpiração das plantas terrestres para fazer chegar água aos locais onde realizam a fotossíntese e, portanto, o caudal que mobilizam é desprezável face aos envolvidos no ciclo da água e irrelevante para este.

Deve referir-se, também, que à produção primária terrestre corresponde a absorção na fotossíntese de uma quantidade de energia enorme, da ordem dos  $10^{15}$  MJ/ano (mais do que toda a energia gasta a movimentar todas as numerosas e variadas máquinas construídas pelo homem e a funcionar presently, que se calcula ser da ordem dos  $10^{15}$  MJ/ano!). No entanto, esta enorme quantidade de energia é apenas uma pequena fracção, cerca de 0,1%, da energia radiante que chega do Sol à Terra, que é da ordem dos  $10^{18}$  MJ/ano. Em florestas, o rendimento deste processo de absorção da radiação solar é algo mais elevado, mas não ultrapassa 1%. Em suma, a biosfera terrestre é suportada por processos de absorção de energia e de água muito pouco eficientes!

**A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E A ÁGUA**

A relação íntima entre a fitosfera e a movimentação da água no respectivo ciclo pode ser evidenciada se se considerar as variações da extensão da fotossíntese de região para região, a qual depende do tipo de vegetação e do clima. Para este fim, interessa considerar o conceito de *produtividade primária*, que é a velocidade de fixação de carbono pelas plantas operada pela fotossíntese (quantidade de carbono acumulado nos tecidos vegetais por unidade de área de solo e por unidade de tempo, expressa, por exemplo, em g C/m<sup>2</sup>ano). O produto da produtividade primária média de uma região pela respectiva área é a produção primária total dessa região.

A produtividade primária depende de muitos factores. Os mais importantes são a intensidade da iluminação solar, a quantidade de água disponível e a quantidade de nutrientes existentes no solo, que são introduzidos nas plantas em solução na água absorvida (as plantas absorvem, também, nutrientes directamente da atmosfera).

A produtividade primária terrestre varia muito de região para região, com a natureza da respectiva vegetação típica. Na Tabela 1 apresentam-se valores médios desta grandeza para os diversos tipos de vegetação. A tabela mostra que nas regiões desérticas e, principalmente, nas regiões cobertas de gelo, a produtividade primária é muito baixa, enquanto nas florestas tropicais húmidas atinge o seu valor máximo, da ordem de 1 kg/m<sup>2</sup> ano de carbono fixado (os pântanos têm um valor ainda mais elevado, mas o processo de produção de biomassa em meio aquoso não pode ser comparado exactamente ao terrestre). Quanto à

influência do clima, os dados apresentados na tabela mostram, por exemplo, que a produtividade primária das florestas decresce com o aumento da latitude, sendo máxima para as florestas tropicais húmidas, onde a radiação solar é intensa durante períodos longos, a temperatura é elevada, e a humidade é abundante.

Estudos da variação de produtividade primária com a precipitação anual média e a temperatura média (que está correlacionada com a intensidade média da radiação solar e determina a duração da estação de crescimento), baseados em valores para cerca de 50 regiões para as quais havia dados disponíveis, mostraram haver boas correlações entre aquela grandeza e estas duas variáveis. Na Fig.4 representa-se a relação encontrada entre a produtividade primária e a precipitação média anual, por ajuste dos valores experimentais, que mostra uma variação quase linear para baixas precipitações, mas que se atenua à medida que a precipitação cresce. Para a temperatura, a relação, embora diferente, apresenta estas mesmas características. Este e outros estudos sugerem que a intensidade da iluminação solar e a quantidade de água disponível são os factores mais importantes que afectam a produtividade primária, podendo qualquer deles constituir um factor limitante desta. Nas florestas tropicais, onde quer a radiação solar quer a humidade são abundantes, a correlação da produtividade primária com estas variáveis é baixa, e as características do solo que determinam a fertilidade adquirem importância. Semelhantemente, as variações de disponibilidade de nutrientes determinam as diferenças de produtividade encontradas para locais diferentes numa região em que os factores climáticos sejam aproximadamente constantes.

A Tabela 1 inclui também os valores da produção primária total (produto da produtividade primária média pela respectiva área) para as zonas com os diversos tipos de vegetação. O maior valor diz respeito às florestas tropicais húmidas, que só por si corresponde a cerca de 32% da produção primária terrestre total. O valor cumulativo da produtividade primária das florestas corresponde a 65% do total, embora estas ocupem apenas 32% da área total dos dois continentes. Se se atender à

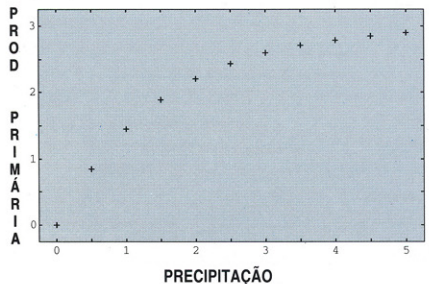


Fig. 4 - Variação da produtividade primária (em kg C/m<sup>2</sup> ano) com a precipitação anual média (em m/ano); função encontrada por ajuste dos valores obtidos em 52 estudos de campo pela expressão:  
**Produtividade primária = A [1-exp (-B x Precipitação)]**  
 que conduziu aos valores A = 3,0 kg C/m<sup>2</sup> ano e B = 0,664 ano/m

relação entre água efectivamente usada na fotossíntese e água transpirada, discutida atrás, estes números mostram a importância das florestas na transferência de água do solo para a atmosfera.

Em conclusão, numerosos e variados estudos mostram que há uma relação íntima entre o crescimento das plantas e a movimentação da água, o que tem produzido um interesse profundo em investigar o modo como a vegetação afecta o ciclo da água, a nível global, regional e local.

**A ÁGUA E A INTERFACE SOLO - VEGETAÇÃO -  
- ATMOSFERA**

Os subciclos da água gerados em terra, que se sobrepõem ao ciclo gerado nos oceanos, são, de modo geral, mais eficientes que este no que respeita à movimentação da água entre o solo e a atmosfera. Cerca de 9% da água evaporada dos oceanos é transportada e cai sobre terra firme, mas apenas 40% desta quantidade volta aos oceanos no fluxo

**TABELA 1**  
**VALORES MÉDIOS DE PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA**  
**DOS DIVERSOS TIPOS DE VEGETAÇÃO TERRESTRE**

Tipo	Área	Produtividade primária	Produção primária
	10 <sup>6</sup> km = 10 <sup>12</sup> m	g C/m <sup>2</sup> ano	10 <sup>9</sup> kg C/ano
<b>Floresta tropical</b>			
Húmida	17,0	900	15,3
Sazonal	7,5	675	5,1
<b>Floresta de zona temperada</b>			
Folha permanente	5,0	585	2,9
Folha caduca	7,0	540	3,8
<b>Floresta setentrional</b>	12,0	360	4,3
<b>Matagal</b>	8,0	270	2,2
<b>Savana</b>	15,0	315	4,7
<b>Pradaria de zona temperada</b>	9,0	225	2,0
<b>Tundra</b>	8,0	65	0,5
<b>Áreas desérticas</b>	18,0	32	0,6
<b>Solo rochoso e gelado</b>	24,0	1,5	0,04
<b>Terra cultivada</b>	14,0	290	4,1
<b>Pântanos</b>	2,0	1125	2,2
<b>Lagos e rios</b>	2,5	225	0,6
<b>TOTAL TERRESTRE</b>	<b>149</b>	<b>324</b>	<b>48,3</b>
<b>OCEANOS</b>	<b>361</b>	<b>69</b>	<b>24,9</b>
<b>TOTAL GLOBAL</b>	<b>510</b>	<b>144</b>	<b>73,2</b>



constituído pelos rios. O caudal movimentado dos oceanos para a terra firme, mais o caudal evaporado desta, evapora-se e precipita repetidamente (calcula-se que o processo se repete, em média, 2,7 vezes, antes de a água voltar aos oceanos). Esta movimentação repetitiva em circuitos fechados é que disponibiliza água para a manutenção de humidade no solo, o crescimento da vegetação e o abastecimento dos aquíferos subterrâneos, processos que retêm 60% da água recebida dos oceanos.

Os subciclos originados em terra proporcionam variadas e complexas interações na interface solo - vegetação - atmosfera que constitui a superfície da Terra. Na Fig.5 apresenta-se um esquema simplificado das referidas interações, que procura evidenciar as várias maneiras pelas quais a vegetação influencia as transferências de água naquela interface. O processo inclui também, inevitavelmente, transferências de energia, que estão intimamente associadas com as da água, e são afectadas pela vegetação. Por exemplo, a estrutura e a cor da vegetação afectam a absorção de radiação solar e a sua reflexão (albedo). A vegetação afecta fortemente a transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, sob a forma de vapor, que é designada globalmente por *evapotranspiração*. A evapotranspiração é constituída por um conjunto complexo de fenómenos que ocorrem paralela-

mente: transpiração, respiração e evaporação a partir de superfícies (do solo, de água líquida, etc.). A vegetação, nomeadamente a arbórea, aumenta a fricção do vento na superfície terrestre e os respectivos movimentos turbulentos, o que facilita a remoção de vapor para a atmosfera. Além de proporcionarem a transpiração, as folhas e os ramos da cobertura vegetal intersectam parte da chuva e proporcionam a evaporação directa de parte desta para a atmosfera; esta interacção, designada por *intersecção*, é uma componente importante da evapotranspiração, porque as plantas aumentam significativamente a área a partir da qual se processa a evaporação. Por outro lado, a vegetação rasteira e os resíduos florestais sobre o solo (lixo vegetal) afectam o escorrimento de água à superfície e a sua penetração no solo. Por sua vez, o crescimento de raízes e o seu apodrecimento, bem como a decomposição dos resíduos orgânicos das plantas, por acção da fauna e micróbios, alteram a estrutura e a textura do solo, o que afecta a infiltração e a percolação de água para os aquíferos, bem como o seu escorrimento à superfície, e, ainda, a humidade retida no solo. Esta retenção é crítica para muitos processos, por exemplo, a transpiração pelas plantas, a infiltração, etc.; o modo de retenção de humidade no

solo varia muito no espaço e no tempo, em consequência da heterogeneidade da superfície terrestre e da sua cobertura vegetal, bem como das condições subsuperficiais, topografia, e distribuição irregular da chuva. Os efeitos conjuntos de todos estes processos (e outros!) determinam as proporções relativas da penetração da água no solo e do seu retorno à atmosfera, a partição da água entre os diversos reservatórios disponíveis (água de superfície, humidade no solo, água de profundidade, gelo e neve) e os fluxos de água, que transportam nutrientes e outras substâncias.

O diagrama da Fig.5 é esquemático e ignora muitos aspectos das interações à superfície terrestre que têm importância menos global. Por exemplo, a proporção de precipitação sob a forma de neve pode ser muito importante, a nível local ou regional. A queda de neve aumenta o albedo. A sua manutenção como sólido proporciona o armazenamento, durante vários meses, de água precipitada sazonalmente, o que pode ter implicações ecológicas. Em muitas regiões secas, a fusão da neve é o único processo que proporciona humidade no solo na estação vegetativa, ocorrendo então uma correlação elevada entre a produtividade primária e a quantidade de neve caída durante o Inverno. Nas regiões de clima muito frio, a neve tem também um efeito protector da vegetação

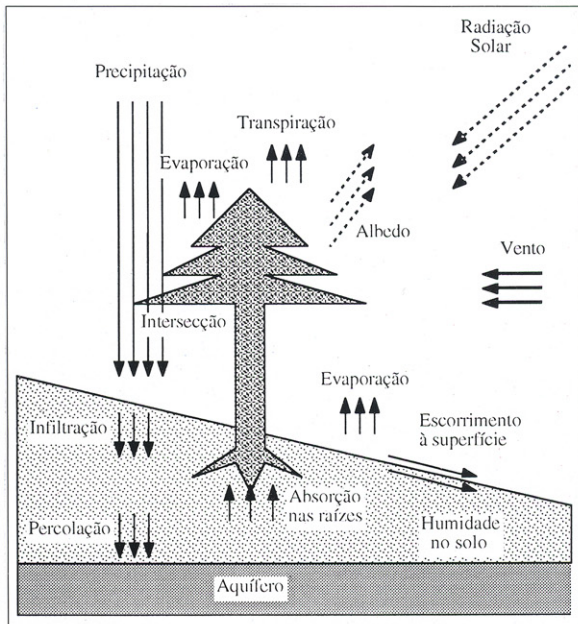


Fig. 5 - Esquema das interações na interface solo - vegetação - atmosfera: a vegetação desempenha um papel importante nos complexos processos de transferência de água (e energia) à superfície da Terra.

arbórea durante o inverno, embora, em climas menos severos, atrase o desenvolvimento vegetativo.

Em suma, a presença e natureza da vegetação tem uma enorme influência nas interações na interface solo - vegetação - atmosfera, que determinam a partição da água entre os reservatórios que intervêm no seu ciclo. Essas interações são a chave do conhecimento da influência da vegetação no ciclo da água, pelo que se tem feito um esforço muito grande para as compreender. No entanto, elas são tão complexas que esse conhecimento é ainda muito incompleto e sectorizado.

## CONCLUSÕES

A água desempenha um papel activo nas reacções fundamentais da vida, a combustão da glucose e a fotossíntese, e o facto de ser um reagente desta última reacção tem fortes implicações quanto ao funcionamento global do planeta Terra. A biosfera terrestre é suportada pela fotossíntese, cujo rendimento quanto à utilização de água é muito baixo (o mesmo sucede com o rendimento de absorção de energia solar). O facto de a utilização da água pela fitosfera ser pouco eficiente provoca a ocorrência de caudais elevados de transpiração de água do solo para a atmosfera, a qual tem forte influência no ciclo da água. O conheci-

mento desta influência passa pela análise e compreensão das interações na interface solo - vegetação - atmosfera, que são numerosas e complexas.

Nos artigos seguintes desta série vão-se tratar com mais pormenor algumas destas interações: no próximo, discutir-se-á a ocorrência da água nas plantas terrestres e o mecanismo pelo qual estas plantas mobilizam água do solo e a movimentam para a atmosfera pela transpiração.

## SUGESTÕES PARA LEITURA ADICIONAL

F. Franks, "Water: The Unique Chemical",  
Chem.Brit, 12, 278 (1976)

G. W. H. Schlesinger, "Biogeochemistry:  
An Analysis of Global Change", Academic, 1991