

## ARTIGO DE DIVULGAÇÃO

### POR QUE AS PLANTAS TRANSPIRAM?

Victor José Mendes Cardoso<sup>1</sup> e Felipe André Ponce de Leon da Costa

<sup>1</sup> Instituto de Biociências, UNESP, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campus de Rio Claro, Departamento de Botânica, C.P. 199, Rio Claro, SP, Brasil.  
[victorjc@rc.unesp.br](mailto:victorjc@rc.unesp.br)

#### RESUMO

O objetivo deste artigo é dar uma visão panorâmica sobre o papel da transpiração sobre processos de transporte e balanço térmico das plantas, destacando também a importância da transpiração como forma de dissipação de energia. Dizer que a transpiração serve apenas para esfriar a folha talvez seja uma generalização por demais simplista, considerando-se os inúmeros fatores que afetam a manutenção de um balanço térmico favorável à planta em seu hábitat natural.

**Palavras-chave:** transpiração, temperatura, entropia

#### ABSTRACT

This aim of this article is to give an overview on the role of transpiration on transport processes and thermal balance of plants, highlighting the importance of transpiration as an energy dissipation mechanism. The statement that transpiration serves only to cool the leaf is perhaps a too simplistic generalization considering the many factors affecting the maintenance of a favorable plant thermal balance in the natural habitat.

#### INTRODUÇÃO

Em muitos livros-textos de fisiologia vegetal a transpiração ainda é tratada de um modo um tanto quanto ambíguo, tal como o personagem de um filme que não sabemos se é o herói ou o vilão. Longe de tomar partido ou rotular o processo, este artigo procura chamar a atenção para alguns fenômenos associados com a transpiração, especialmente o transporte de água e sais minerais e o equilíbrio térmico e dinâmico das plantas.

#### Transpiração e estômatos

A transpiração pode ser entendida como a eliminação de água, sob a forma de vapor, através da superfície de um organismo. As plantas em geral possuem uma relação superfície:massa relativamente elevada, o que pode ser justificado pela necessidade de interceptar eficientemente a luz, fonte de energia para a fotossíntese. Ao mesmo tempo, as plantas desenvolveram uma morfologia tal que a superfície por onde a água efetivamente evapora fica "embutida" na folha. Assim, a maior parte da água que sai da planta o faz através dos estômatos,

estruturas que estão distribuídas pela superfície das folhas, principalmente na face inferior.

O estômato é formado por uma abertura denominada ostíolo, situada entre duas células epidérmicas diferenciadas conhecidas como células-guarda. É através dos estômatos que a maioria das traqueófitas – designação que inclui, entre outras, as plantas floríferas, as gimnospermas e as samambaias – troca gás carbônico e oxigênio com o meio. É também pelos estômatos que a água descarregada pelo feixe vascular do xilema deixa a folha. Nesse processo, uma vez liberada pelo xilema, a água irá preencher os espaços intercelulares e hidratar as paredes celulares do mesofilo, tecido foliar situado imediatamente abaixo da epiderme e que entremeia as nervuras. Do mesofilo a água evapora para um minúsculo espaço denominado câmara subestomática, situado imediatamente abaixo do ostíolo, praticamente saturando-o de umidade. Dependendo do grau de abertura do ostíolo – controlada pelas células-guarda – e da umidade do ar, o vapor d'água deixa a câmara e vai para a atmosfera. As células-guardas funcionam como válvulas hidráulicas, ganhando ou perdendo água em resposta a determinados sinais. A entrada de água aumenta o turgor das células-guarda, resultando na abertura do ostíolo, enquanto que a diminuição da turgescência leva ao fechamento. A concentração de vapor d'água nos espaços existentes na câmara subestomática é em geral muito superior à concentração observada no ar exterior; desse modo, as moléculas de água tendem a sair pelos poros por simples difusão, um processo totalmente espontâneo, ou seja, que não depende diretamente de energia.

A transpiração decorre, portanto, de um fenômeno físico – a evaporação –, o qual, por sua vez, é conseqüência da diferença de energia livre entre as fases líquida e gasosa da água. Mas se a evaporação é um fenômeno puramente físico, a transpiração é um fenômeno essencialmente biológico, sujeito a mecanismos de controle. No caso das plantas, a transpiração é controlada – como mencionado acima – pelos estômatos. Assim, o ritmo da movimentação das moléculas de água dentro do corpo da planta pode ser ajustado, às vezes de modo bastante rápido e preciso. Esse controle é essencial para uma planta vivendo num ambiente terrestre, no qual a água é um recurso muitas vezes escasso. Além disso, mesmo num ambiente seco, as plantas não podem simplesmente bloquear a transpiração fechando completamente seus estômatos, uma vez que a superfície através da qual a água evapora é a mesma por onde o gás carbônico atmosférico penetra na folha e vai alimentar o processo da fotossíntese após difundir-se para o mesofilo através da superfície molhada da câmara subestomática.

Em suma, como a planta não pode evitar a evaporação, ela tratou de confiná-la nas câmaras subestomáticas, exercendo seu controle sobre a saída do vapor dessas câmaras (transpiração), através dos estômatos. Desse modo a planta passa a, digamos assim, “administrar” a perda de água de seus tecidos

sem comprometer o suprimento interno de gás carbônico, matéria prima da fotossíntese.

## **Transpiração e transporte**

O xilema é a via de transporte ascendente da água, desde o sistema radicular até o ápice do sistema caulinar. Mas como será que a água absorvida pelas raízes consegue atingir, no caso das árvores muito altas, folhas situadas a dezenas de metros acima do nível do solo? De acordo com a hipótese mais aceita atualmente, a força motriz responsável por esse movimento de ascensão é a pressão negativa gerada no interior das folhas pela transpiração. Em resumo, ocorreria o seguinte: a evaporação da água do mesófilo para a câmara subestomática causa a formação de pequenos meniscos ou curvaturas na superfície da fase líquida da água que permeia as fibras das paredes celulares adjacentes à câmara, o que gera forças capilares extremamente fortes, capazes de tracionar a coluna de água desde as raízes até as folhas. Entretanto, a transpiração aparentemente não é condição necessária para o deslocamento da água e solutos através da planta, ou seja, sob esse aspecto uma planta viveria normalmente sem transpirar. Por outro lado, as pressões negativas produzidas no xilema pela transpiração poderiam levar as células dos tecidos adjacentes a se desidratarem, mas isso não ocorre devido às elevadas concentrações intracelulares de solutos, que tendem a atrair e reter água na célula. Nesse sentido, a transpiração seria um empecilho ao crescimento celular, cuja força motriz é a pressão hidrostática intracelular. Em outras palavras, uma célula vegetal precisa acumular grandes quantidades de soluto para crescer, principalmente se a planta estiver transpirando ativamente.

Certamente o transporte de íons desde o solo até as folhas, através do xilema, deve ser favorecido pela corrente transpiratória, mas aparentemente ela também não é essencial para o transporte iônico na planta, considerando-se o movimento ascendente de água e minerais em certas árvores caducifólias antes do surgimento de novas folhas, em que pese o fato dos caules jovens apresentarem alguma transpiração (ainda que muito pequena comparada com a transpiração após a expansão foliar). Do mesmo modo, à noite ou em atmosfera saturada de umidade, quando a transpiração atinge níveis muito baixos, a absorção de íons parece não ser afetada.

## **Transpiração e balanço térmico da planta**

A remoção do excesso de calor é sem dúvida uma consequência importante da transpiração. Isso decorre de uma propriedade importante da água: seu calor de vaporização. São necessários, por exemplo, 580 kcal para evaporar 1 kg de

água 30 °C. No caso das folhas de uma planta, isso implica em uma perda considerável de calor.

A capacidade da transpiração foliar produzir trabalho – no caso, o transporte ascendente da água mencionado acima – depende portanto da absorção de calor pela planta, caso contrário a planta iria se resfriando gradativamente, de modo que os processos de transporte interno de água e solutos seriam inibidos. Dessa maneira, para produzir trabalho, as plantas não usam o calor diretamente, à maneira de uma máquina térmica convencional, mas sim de um modo indireto: compensando o calor perdido pela transpiração. Em outras palavras, a perda de energia decorrente da evaporação é compensada pelo influxo de calor a partir de uma fonte externa.

A transpiração não é o único modo de as folhas perderem calor. A energia também pode ser dissipada pela emissão de radiação – uma função da temperatura do corpo – que ocorre pela troca direta (condução térmica) entre a planta e o meio externo. No caso específico da transpiração, a remoção de calor envolve a mudança de fase da água (passagem de líquido para gasoso), que é um processo dissipativo relativamente mais eficiente do que a condução. De acordo com a teoria cinética, as partículas estão em constante movimento em temperaturas acima do zero absoluto (-273 °C), sendo que a velocidade de uma partícula individual num meio homogêneo pode variar em relação à velocidade média. As moléculas de água que primeiro escapam da fase líquida são as mais rápidas ou 'energéticas', o que leva, portanto, a uma redução da energia cinética média das moléculas restantes na fase líquida, ou seja, o líquido fica mais frio. Essa é a razão pela qual a evaporação é um processo resfriante.

Diversas pesquisas mostram que folhas que transpiram mais são mais frias do que folhas com menor taxa de transpiração, sendo que em alguns casos essa diferença pode chegar a 10 °C ou mais. Entretanto, essa não é uma relação simples, dependendo de fatores como a disponibilidade hídrica no solo, temperatura do ar, irradiância e morfologia da folha. Assim, considerando-se a profusão de materiais e métodos empregados, não há uma unanimidade na literatura científica a respeito da necessidade da transpiração para a folha manter sua temperatura dentro dos limites adequados aos processos fisiológicos.

## **A transpiração e entropia**

Para manter-se, a planta, como todo sistema vivo, consome e libera energia. Por outro lado, a 'qualidade' da energia consumida e liberada não é a mesma. Por definição, a energia consumida – como luz ou alimento – é mais "organizada", com maior capacidade de produzir trabalho, enquanto que a energia liberada – calor ou dejetos, por exemplo – é mais desorganizada, menos capaz de executar trabalho. Diz-se que a primeira tem baixa entropia e a

segunda alta entropia (grandeza termodinâmica que mede, entre outras coisas, o grau de “desordem” do sistema), o que vale dizer que o ser vivo mantém-se organizado (isto é, com baixa entropia) dissipando entropia no meio.

Consideremos agora o fenômeno da transpiração. A cada estado físico da água é associado um valor diferente de entropia e, considerando-se que o vapor tem mais entropia do que a água líquida, a evaporação leva a um aumento da entropia. Assim, quando a planta absorve água líquida (com baixa entropia) e libera vapor d’água (alta entropia), o ‘enriquecimento’ em entropia na água liberada deve-se ao fato de que o processo de evaporação na câmara subestomática retira uma quantidade considerável de calor da planta, calor esse que corresponde a uma energia “usada” ou mais entrópica. Em outras palavras, a transpiração, mais do que simplesmente remover calor, remove entropia da planta.

### **Considerações finais**

De um modo geral, parece que o papel da transpiração assume um peso maior no equilíbrio térmico em condições específicas, como seria o caso de uma folha larga, não suculenta, sob regime de altas irradiâncias e temperaturas elevadas (por exemplo, acima de 35 °C). Situações como essa são relativamente comuns em habitats tropicais com boa disponibilidade de água no solo, de modo que a transpiração não é afetada e a planta mantém um balanço térmico adequado. Quando a água escasseia, as plantas ainda conseguem encontrar outras soluções para evitar o sobreaquecimento, como a produção de folhas menores e mais recortadas, pilosidade, estômatos em concavidades e superfície foliar com maior capacidade refletiva.

Algumas plantas tropicais, por exemplo, fecham seus estômatos durante o dia e os abrem somente à noite. Para evitar o sobreaquecimento no período diurno – quando a transpiração praticamente cessa – e um resfriamento excessivo à noite, quando a perda de calor pela transpiração não é reposta pela radiação solar, tais plantas costumam possuir folhas suculentas (carnosas) com alta capacidade de armazenar água. O caráter suculento evita que – devido às propriedades da água – a folha se aqueça rápido demais durante o dia e esfrie rápido demais à noite.

Finalmente, olhando as plantas como sistemas abertos que dependem da dissipação de entropia para manter sua organização interna, e considerando-se que a transpiração é uma forma de dissipação de energia, é possível associar a complexidade de um sistema – o que, num ecossistema, corresponderia à sua biodiversidade – à capacidade de transpiração, o que pode ser corroborado pela forte relação entre a distribuição biogeográfica global de abundância de espécies e o potencial de evapotranspiração anual.

## Bibliografia

- Gates, D.M. (1968) Transpiration and leaf temperature. *Annual Review of Plant Physiology* 19, 211-238.
- Hylmo, B. (1953). Transpiration and ion absorption. *Physiologia Plantarum* 6(2), 333-405.
- Kay, J.J. e Schneider, E.D. (1997) Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica. In: Murphy, M.P. e O'Neill, L.A.J. *O Que é Vida, 50 Anos Depois*. São Paulo, Editora Unesp. pp 187-201.
- Ksenzhek, O.S. e Volkov, A.G. (1998) *Plant Energetics*, San Diego, Academic Press. 389p.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia Vegetal*, São Carlos, Rima. 531p.
- Mohr, H., Schopfer, P. (1995). *Plant Physiology*, Heidelberg, Springer-Verlag. 629p.
- Pimenta, J.A. (2008) Relações hídricas. In: Kerbauy, G.B. (Ed.). *Fisiologia Vegetal*, 2a. Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp. 1-32.
- Salisbury, F.B. e Ross, C.W. (1992) *Plant Physiology*, 4a. Edition. Belmont: Wadsworth. 682p.
- Saupe, S.G. Gas Exchange/Tranpiration. *Plant Physiology* (Biology 327). Disponível em <http://employees.csbsju.edu/ssaupe/biol327/lecture/transpiration.htm>. Acesso em 30 de Agosto, 2012.
- Schrodinger, E. (1967) *What is Life?* Cambridge, Cambridge University Press. 184p.
- Taiz, L. e Zeiger, E. (2009). *Fisiologia Vegetal*, 4a. Edição. Porto Alegre: ArtMed. 819p.
- Trentin, R., Zolnier, S., Ribeiro, A. e Steidle Neto, A.J. (2011) Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. *Engenharia Agrícola – Jaboticabal* 31, 1085-1095.



Naturalia – eISSN:2177-0727 - ISSN: 0101-1944 - UNESP, Rio Claro, SP, Brasil  
Licenciada sob [Licença Creative Commons](#)