

Nº 12, dez/96, p.1-3

**REFORMULAÇÃO DAS DEDUÇÕES DE LOCKHART LEVANDO EM CONTA
A TURGESCÊNCIA E A SUCCÃO COMO FATORES DE CRESCIMENTO¹**José Dalton Cruz Pessoa²
Adonai Gimenez Calbo³

O reino vegetal é dividido em cinco filos incluindo o das plantas vasculares, que apresentam diferenciação de folhas, raízes e caule. Este filo por sua vez é subdividido em tres subfilos dos quais o Pterophytina, mais numeroso, é subdividido em cinco classes: samambaias, coníferas, cícadas, gínco e angiospermas, sendo esta última a que apresenta o maior número de espécies com valor nutritivo para o homem. Por este motivo tem-se estudado tanto os fundamentos como os comportamentos específicos do crescimento e da reprodução das espécies desta classe. O desenvolvimento de um representante das angiospermas, por exemplo, pode ser descrito pela variação temporal de sua massa seca ou altura, cujo comportamento pode ser sintetizado em uma função matemática. Uma descrição supostamente mais abrangente aborda o mesmo fenômeno a nível microscópico, descrevendo e caracterizando o crescimento celular. De uma forma geral podemos dizer que o crescimento celular passa por um aumento volumétrico reversível (crescimento elástico), seguido por uma variação plástica de volume (quando há produção de estruturas da parede celular), multiplicação e finalmente a diferenciação, quando a célula desenvolve algumas propriedades que caracterizam o tecido que vai compor.

As células possuem um citoplasma, líquido aquoso onde flutuam diversos corpos subcelulares, e uma parede, que retém o citoplasma em um volume restrito. Em artigo publicado no *Journal of Theoretical Biology* (v.8, p.264, 1965) Lockhart propôs que uma célula imersa em meio aquoso sofreria crescimento plástico quando a tensão na parede ultrapassasse um valor crítico e que esta tensão era causada pela pressão do citoplasma sobre a parede. O autor escreveu este conceito em termos da extensibilidade da parede ($m, s^{-1} \cdot MPa^{-1}$), do potencial crítico (Y, MPa), da pressão do citoplasma (P_s, MPa) e do volume celular (V, m^3):

$$\frac{dV}{Vdt} = m(P_s - Y) . \quad (1)$$

¹ Pesquisa realizada com recursos do projeto Embrapa SEP 12.0.96.051

² Físico, MSc, EMBRAPA-CNPDIA, Caixa Postal 741 CEP 13560-970 São Carlos, SP

³ Eng. Agrônomo, PhD, EMBRAPA- CNPH, Caixa Postal 218 CEP 70359-970, Brasília, DF

PA/12, CNPDIA, dez/96, p.2

Para simplificar suas deduções, o autor supôs uma célula cilíndrica de raio constante, livre de pressões ou compressões externas e temperatura constante.

Para estas condições Lockhart deduziu expressões para P_s e Ψ_w ('potencial total' ou 'potencial da água' do simplasma, MPa) como função do potencial osmótico ($\Delta\Psi_s$)¹ e dos parâmetros físico-hídricos da célula. Utilizou a lei de Hook, uma relação deduzida por ele para P_s e a equação (1) para obter a dinâmica de crescimento quando Ψ_s e "m" são função do tempo e/ou volume. Posteriormente outros autores aplicaram a equação proposta por Lockhart (1) em sistemas mais complexos, algumas vezes sem levar em conta as simplificações implícitas às deduções.

Para tornar o modelo menos restritivo e mais próximo às condições observadas em plantas multicelulares, como as angiospermas, Calbo & Pessoa publicaram na Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal (v.6, n.2, 1994) uma extensão da equação de Lockhart, entendendo que a sucção (P_a) também é causa de tensão na parede. Neste ponto de vista a variação volumétrica relativa foi reescrita da forma:

$$\frac{dV}{Vdt} = \Phi(P_a + \frac{P_s A_s}{A_a} - y), \quad (2)$$

onde A_s é a área transversal do simplasma (m^2), A_a a do apoplasma, Φ a extensibilidade intrínseca da parede ($s^{-1} \cdot MPa^{-1}$), P_a a pressão hidrostática da parede e y a tensão limite suportada pela parede (MPa^{-1}). Nesta proposta, portanto, o crescimento plástico é disparado quando o termo $P_a + A_s P_s / A_a$ é maior que "y".

Esta pesquisa prossegue com o objetivo de determinar os efeitos da sucção (P_a) nos demais potenciais e no crescimento da célula. Até agora foram determinados os efeitos de P_a sobre Ψ_w e P_s :

$$P_s = \frac{4\delta k}{\phi \cdot r^2 + 4\delta k} \Delta\Psi_s - \left[\frac{4\delta k}{\phi \cdot r^2 + 4\delta k} \left(1 - \frac{2\delta}{r}\right) + \frac{2\delta}{r} \right] P_a \quad (3)$$

$$\Psi_w = - \left(\frac{\phi \cdot r^2}{\phi \cdot r^2 + 4\delta k} \right) \Delta\Psi_s - \left[\frac{4\delta k}{\phi \cdot r^2 + 4\delta k} \left(1 - \frac{2\delta}{r}\right) + \frac{2\delta}{r} \right] P_a, \quad (4)$$

onde r- raio da célula (μm); k- permeabilidade hidráulica da parede celular ($m \cdot s^{-1} \cdot MPa^{-1}$); δ - espessura da parede (μm); ϕ - extensibilidade intrínseca ($MPa^{-1} \cdot hr^{-1}$). Os termos com P_a mostram explicitamente o efeito da sucção no comportamento destes potenciais, em adição às relações obtidas por Lockhart, que correspondem aos termos com $\Delta\Psi_s$.

¹ Para que os termos relativos a P_a pudessem ser devidamente comparados com as relações obtidas por Lockhart mantivemos a definição deste autor, onde $\Delta\Psi_s$ corresponde à pressão hidrostática necessária para manter um osmômetro com concentração iônica interna igual a da célula, em equilíbrio com o meio.

PA/12, CNPDIA, dez/96, p.3

Utilizando valores típicos para as grandezas físico-hídricas constata-se que os coeficientes de $\Delta\Psi_s$ e P_a (Eq. 3) são da mesma ordem de grandeza, demonstrando a importância relativa dos termos, e que o termo de sucção atua como redutor de P_s , justificado pela capacidade de armazenamento de água que a parede celular possui.

Na relação do potencial total do simplasma (Eq. 4), o coeficiente de $\Delta\Psi_s$ é aproximadamente 1,80 vezes menor que o de P_a , mas ambos contribuem para a redução do potencial total. Apesar da Eq. 4 ser uma dedução imediata da definição de potencial da água com aplicação da Eq. 3, a fórmula obtida para Ψ_w é curiosa por agrupar uma variável relativa ao simplasma ($\Delta\Psi_s$) com uma do apoplasma (P_a), sugerindo a interdependência destes compartimentos. Além disso, deve-se notar que o aumento de P_a reduz o potencial total do simplasma, indicando novamente a capacidade de armazenamento da parede em detrimento à diluição dos solutos no simplasma.

Com estas considerações espera-se acrescentar argumentos na discussão sobre o papel do apoplasma nas estratégias de sobrevivência das plantas (alguns autores tem sugerido que um alto conteúdo de água no apoplasma é uma característica de espécies adaptadas á seca, apesar de haverem resultados em híbridos de cana-de-açúcar indicando uma redução na fração de água apoplasmática em resposta ao estresse), nos mecanismos de crescimento sob estresse e nas relações água-planta, assuntos de imediata aplicação em agropecuária, botânica e ciências afins.

Os resultados aqui apresentados (equações 3 e 4) estão sendo utilizados em uma avaliação mais extensa do papel da sucção no crescimento vegetal, seus efeitos nas relações hídricas da célula com o meio e na avaliação das aproximações matemáticas utilizadas por Lockhart.