



2025/2026

# Biologia Florestal

Maria Conceição de Brito Caldeira  
(caldmaria@edu.ulisboa.pt)

Sumário

Potencial de água  
Como é que a água se movimenta  
Gradiente SPAC  
Exercícios

# Estrutura e propriedades da água

Revisão da aula anterior

3

**1.** A geometria da molécula de água é:

- A) Linear
- B) Angular
- C) Tetraédrica
- D) Planar

**2.** A polaridade da água resulta principalmente de:

- A) Massa molecular baixa
- B) Distribuição desigual de cargas e geometria angular
- C) Ligações iónicas
- D) Simetria da molécula

**3.** Cada molécula de água pode formar, no máximo:

- A) 2 ligações de hidrogénio
- B) 3 ligações de hidrogénio
- C) 4 ligações de hidrogénio
- D) 6 ligações de hidrogénio

4

1. A geometria da molécula de água é:

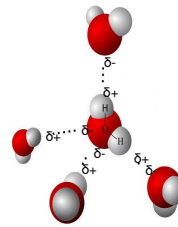
- A) Linear
- B) Angular**
- C) Tetraédrica
- D) Planar

2. A polaridade da água resulta principalmente de:

- A) Massa molecular baixa
- B) Distribuição desigual de cargas e geometria angular**
- C) Ligações iónicas
- D) Simetria da molécula

3. Cada molécula de água pode formar, no máximo:

- A) 2 ligações de hidrogénio
- B) 3 ligações de hidrogénio
- C) 4 ligações de hidrogénio**
- D) 6 ligações de hidrogénio



5

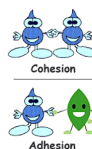
4. O elevado calor específico da água deve-se:

- A) À sua baixa densidade
- B) À necessidade de quebrar ligações de hidrogénio**
- C) À ausência de polaridade
- D) À sua estrutura linear

5. A tensão superficial da água resulta principalmente de:

- A) Interações com o ar
- B) Ligações iónicas
- C) Coesão entre moléculas**
- D) Baixa viscosidade

6. Distinga coesão de adesão



**Elevada coesão e adesão** - moléculas de água exercem uma atracção **mútua entre si** (coesão) e **com moléculas de natureza diferente** (de fase sólida) (adesão), p. ex., parede celular dos vasos xilema

6

## Como se move a água numa planta?

- Como sobe a água contra a gravidade?
- O que determina a direção do fluxo?

7

A água move-se ao longo de gradientes de potencial hídrico ( $\Psi_w$ )

- de maior  $\rightarrow$  menor  $\Psi_w$
- processo espontâneo

8

O potencial da água: energia livre da água, isto é a sua capacidade para reagir quimicamente, ou movimentar-se quando comparada com a água pura (Joules per mole de água comparada com a água pura livre à pressão atmosférica e à temperatura de 298 Kelvin ( $\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),

0,1 MPa  $\sim$  1 bar  $\sim$  1 atm (unidades de pressão)

O potencial (químico) da água pura em condições padrão de pressão e temperatura é definido como **zero** e é utilizado como referência.

9

## O potencial da água

- energia livre da água
- relativo à água pura ( $\Psi_w = 0$ )
- Unidades: MPa

10

Conceito unificador que descreve o estado hídrico do solo, planta e atmosfera

## POTENCIAL DE ÁGUA

$$\Psi_w$$

11

## Equação geral do potencial de água

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

decomposição física do sistema

$\Psi_s$  ou  $\Psi_\pi$  = potencial osmótico ou de soluto

$\Psi_p$  = turgescência ou potencial de pressão

$\Psi_g$  = potencial gravitacional

12

## Potencial osmótico

$\Psi_s$  ou  $\Psi\pi$  (osmótico)

- efeito dos solutos
- reduz energia livre
- sempre negativo

$$\Psi_s = -RTc_s \quad (\text{eq. De Van 't Hoff})$$

13

O  $\Psi_s$  ou  $\Psi\pi$  resulta dos solutos dissolvidos e da menor actividade da água perto de superfícies com carga.

- Os solutos reduzem a energia livre da água por diluirem a água

$$\Psi_s = -RTc_s \quad (\text{eq. De Van 't Hoff})$$

R: constante universal dos gases ( $8.32 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )

T: temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

$C_s$ : concentração do soluto na solução ( $\text{mol l}^{-1}$ )

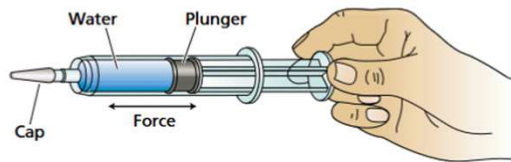
14

## Potencial de pressão

### $\Psi_p$ ou P (pressão)

O potencial de pressão (ou pressão hidrostática) é medido como desvio da pressão ambiente em que a água têm  $\Psi_p=0$  MPa

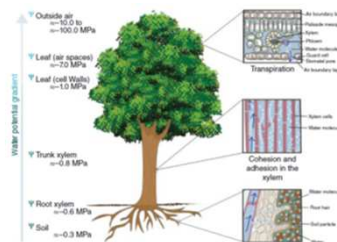
- positivo -> turgescência
- negativo -> tensão no xilema



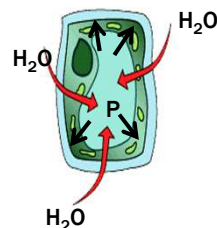
15

## Potencial de pressão $\Psi_p$ ou P

O  $\Psi_p$  no xilema é negativo (tensão xilémica) causado pela evaporação água

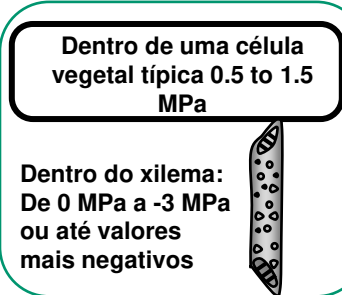
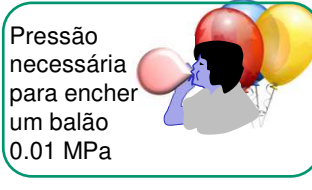
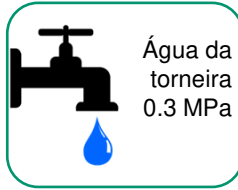


E nas células é **positivo** e resulta da pressão positiva dentro das células resultante da pressão da água nas paredes celulares.



16

## A pressão pode ser positiva ou negativa



\* Estes valores são relativos à pressão atmosférica (0.1 MPa), e não absoluta

Michele: Image 14869 CDC/ Natsheka Powell

Um planta murcha quando  $\Psi_p$  se aproxima de 0.

**Plasmólise:** a membrana celular afasta-se da parede celular.



## Potencial gravitacional

$\Psi_g$

$$\Psi_g = -\rho_w g h$$

h - altura acima do estado referência a que se encontra

$\rho_w$  - densidade da água (997 kg/m<sup>3</sup>)

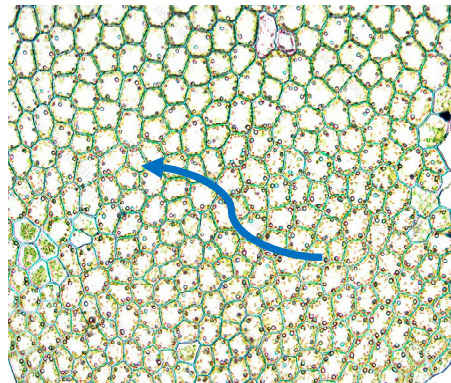
g - aceleração devido à gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>)

- relevante em árvores altas
- ~ 0.1 MPa por 10 m

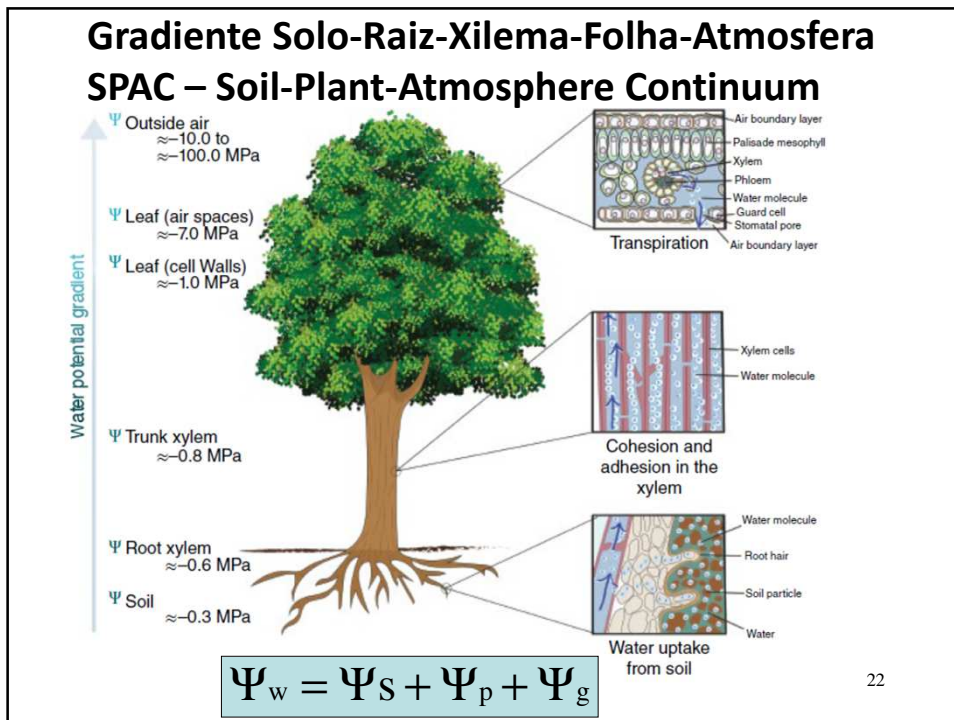
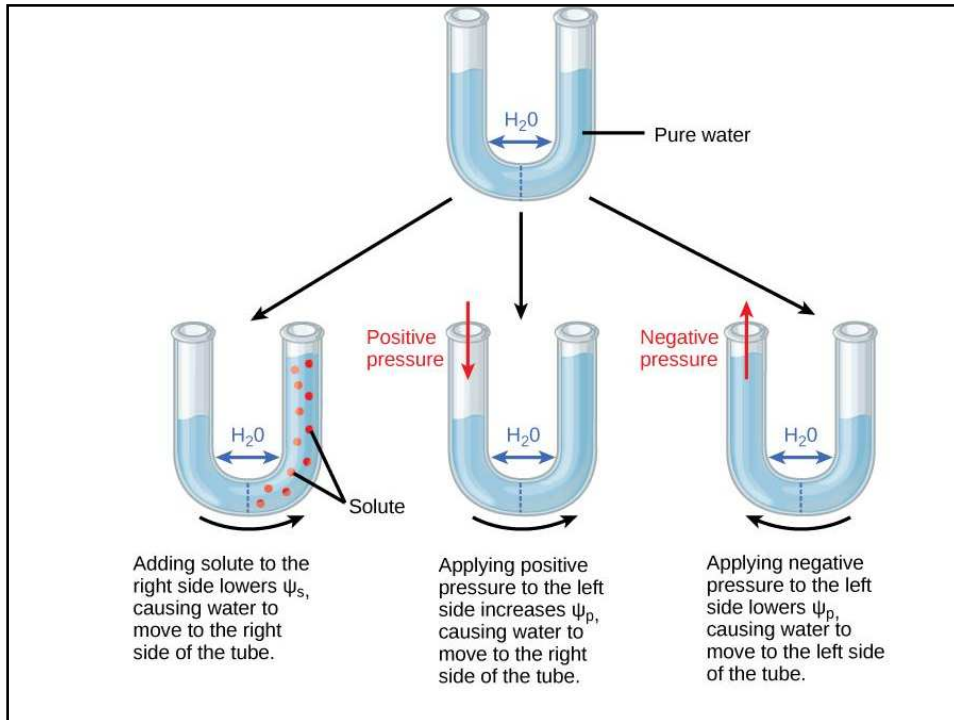
19

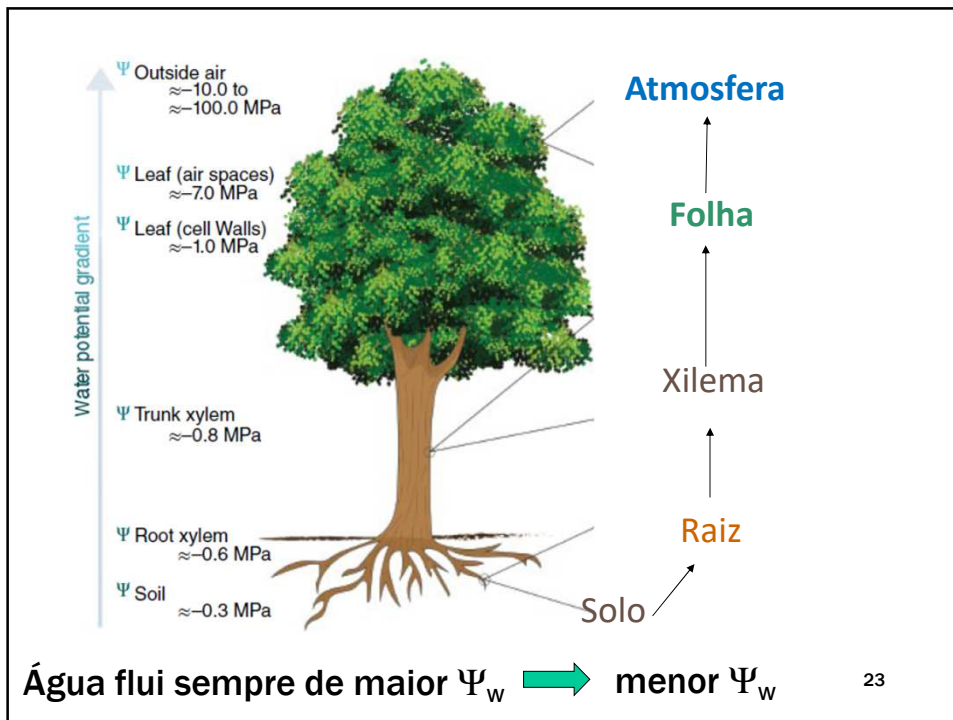
Na maioria dos sistemas celulares  $\Psi_g$  é desprezável

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$$

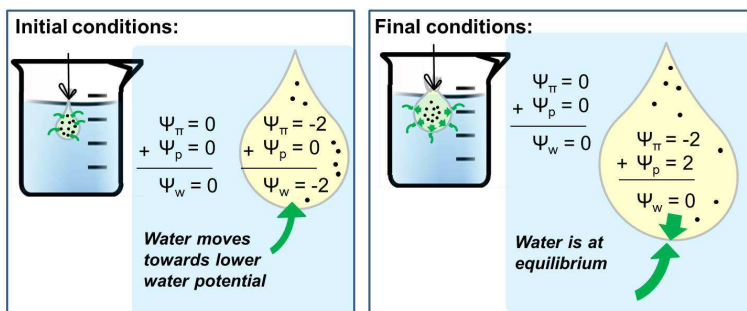


20





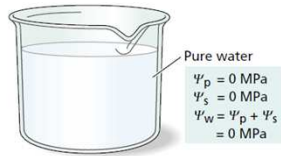
A água flui de potenciais de água mais elevados para mais baixos



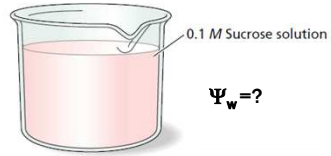
Expressa-se em unidades de energia por unidade de volume, i.e. unidades de pressão (bares, Pascal)

# Exercícios

(A) Pure water

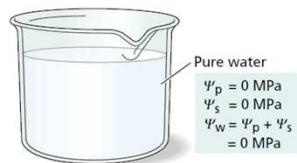


(B) Solution containing 0.1 M sucrose

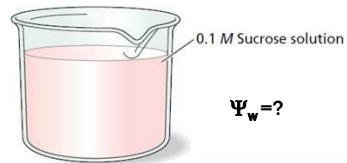


# Exercícios

(A) Pure water



(B) Solution containing 0.1 M sucrose



$$\Psi_s = -RTc_s \quad (\text{eq. De Van 't Hoff})$$

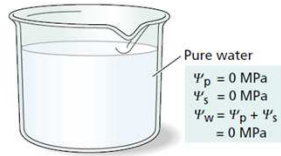
R: constante universal dos gases ( $0.00832 \text{ MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )

T: temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

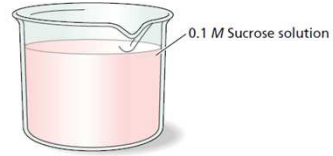
$C_s$ : concentração do soluto na solução ( $\text{mol l}^{-1}$ )

# Exercícios

(A) Pure water



(B) Solution containing 0.1 M sucrose



$$\Psi_s = -(0.00832)(298)(0.1)$$

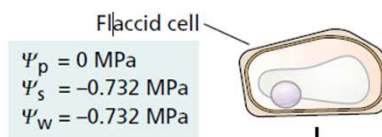
$$\Psi_s \approx -0.248 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = 0 + (-0.244) = -0.244 \text{ MPa}$$

# Exercícios

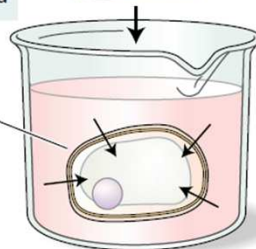
(C) Flaccid cell dropped into sucrose solution



Solução com concentração de 0.1 MPa de sacarose

Cell after equilibrium

?



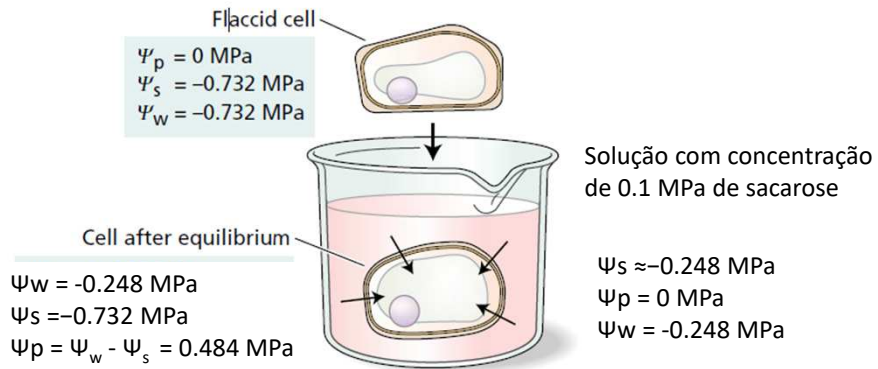
$$\Psi_s \approx -0.248 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = -0.244 \text{ MPa}$$

## Exercícios

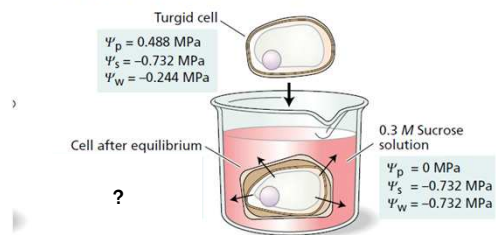
(C) Flaccid cell dropped into sucrose solution



29

## Exercícios

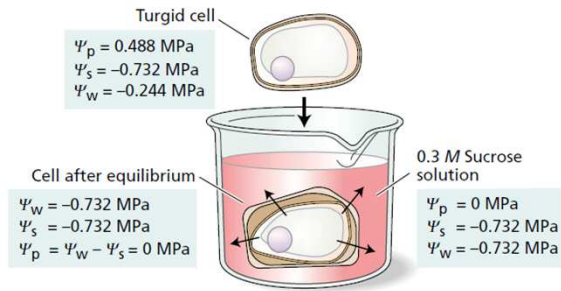
(D) Concentration of sucrose increased



30

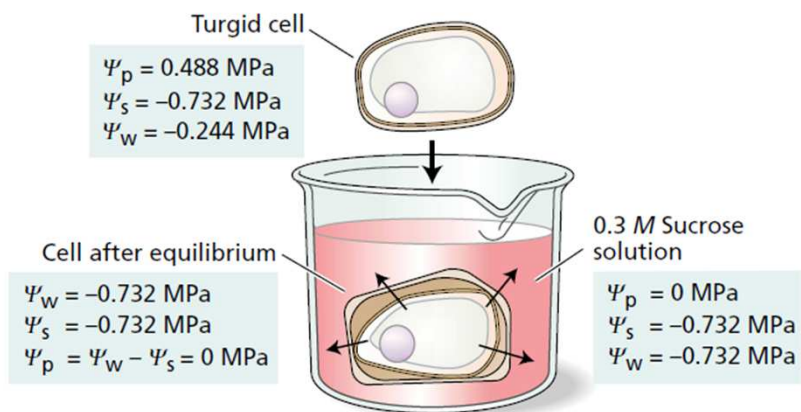
## Exercícios

(D) Concentration of sucrose increased



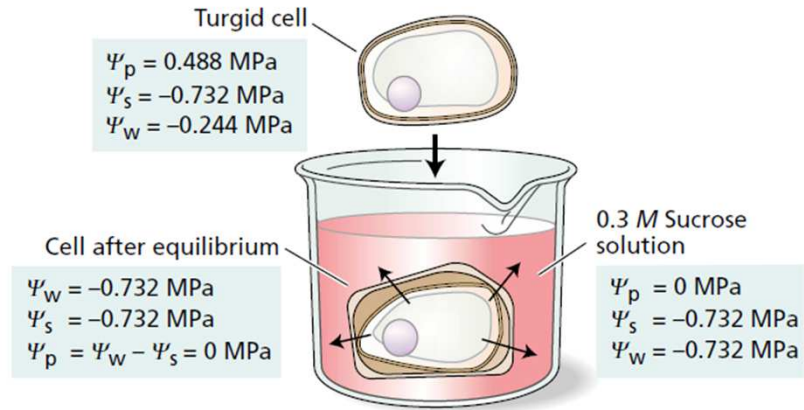
31

(D) Concentration of sucrose increased



32

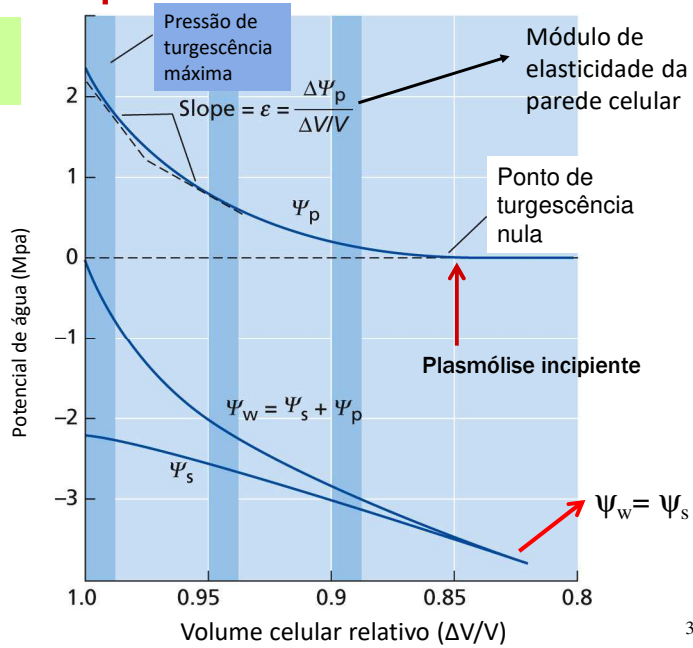
(D) Concentration of sucrose increased



33

**Curvas pressão-volume ao nível das células**

Diagrama de Höfler



34

PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 3.10 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

## Elasticidade celular

### Parede celular

- Define resposta à perda de água
- Influência  $\Psi_p$

35

### Modulo de elasticidade volumétrico da parede celular

$$\epsilon = \frac{\Delta\Psi_p}{\Delta V/V}$$

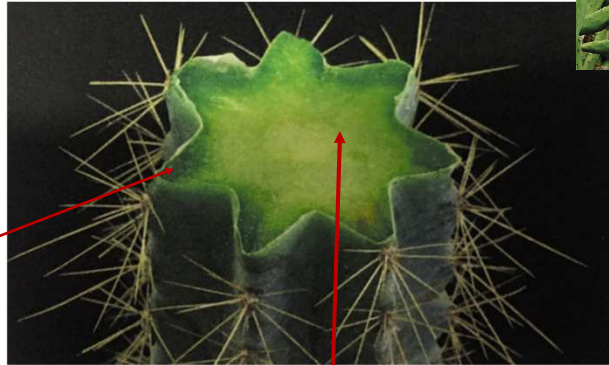
**alteração de  $\psi_p$**  para uma dada alteração do volume relativo em água

Células com  $\epsilon$  mais elevado têm paredes celulares mais rígidas e têm maiores alterações de pressão de turgescência para a mesma alteração de volume celular que células com  $\epsilon$  mais baixo e paredes mais elásticas

$\epsilon$  não é constante mas decresce à medida que a célula perde turgescência mas geralmente **calcula-se na zona de turgescência máxima.**

36

Por exemplo, na *Opuntia ficus-indica*



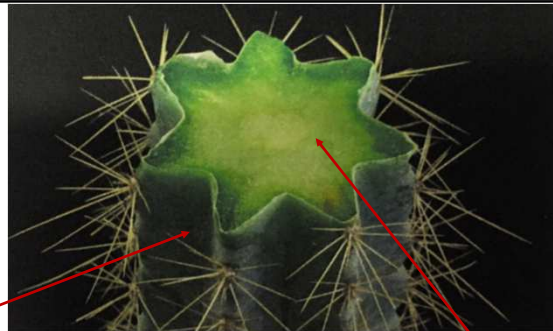
Células fotossintéticas (camada mais externa)

Camada de tecidos não fotossintéticos que servem como reservatórios de água (camada mais interna)

Durante a seca, a água é preferencialmente perdida das células interiores, apesar do **potencial de água dos dois tipos de células se manter em equilíbrio**. Como é que isto é possível?

37

$$\epsilon = \frac{\Delta\Psi_p}{\Delta V/V}$$



Células fotossintéticas (camada mais externa)

Células que armazenam água (camada mais interna)

As células de **armazenamento de água** são **maiores** e têm **paredes celulares mais finas** que as células fotossintéticas e por isso são **mais flexíveis/elásticas (menor  $\epsilon$ )**.

Para um dado decréscimo do potencial de água, as células de armazenamento de água conseguem perder uma maior fracção de água que as células fotossintéticas mantendo o potencial de pressão e o potencial de água em equilíbrio com o das células fotossintéticas.

38

## Elasticidade da parede celular

- **A longo prazo**, as plantas podem ajustar o potencial de água ao alterarem **a elasticidade** das paredes celulares das células vivas
- A extensão até à qual as células podem diminuir em volume e por isso a extensão a que o potencial de água diminui até atingirem o ponto de perda de turgescência ( $\Psi_p=0$ ) depende da **elasticidade das paredes celulares**.

39

## Elasticidade da parede celular

- As células com paredes mais elásticas (menor módulo de elasticidade) têm mais água na turgescência máxima.

**Table 5.4** The elastic modulus of 1-year old leaves of three Mediterranean evergreen, sclerophyllous trees, growing in the same Mediterranean environment, but at locations differing in water availability\*.

Species	Elastic modulus, $\epsilon$ at full turgor (MPa)	
	Wet season	Dry season
<i>Olea oleaster</i>	19.5	19.3
<i>Ceratonia siliqua</i>	20.5	24.5
<i>Laurus nobilis</i>	28.1	40.7

Source: Lo Gullo and Salleo (1988)

\**Olea oleaster* (olive) is the most desiccation-tolerant, followed by *Ceratonia siliqua* (carob); *Laurus nobilis* (laurel) grows at somewhat wetter locations, near river banks. The elastic modulus was determined at full turgor, in both May (wet season) and September (dry season). Additional information about these trees is included in Figs 5.9 and 5.29

Espécies adaptadas a zonas secas como a ***Olea oleaster*** têm paredes com maior elasticidade (menor  $\epsilon$ ) em comparação com espécies de zonas húmidas (***Laurus nobilis***), o que implica que as suas células podem perder mais água antes de alcançar o ponto de turgescência nula ( $\Psi_p=0$ ). Ou seja, têm células que podem “encolher” mais durante os períodos de seca sem sofrerem danos no citoplasma

## Elasticidade da parede celular

Módulo de elasticidade determinado para uma folha (e não ao nível celular)

$1/\Psi$  versus o conteúdo relativo em água

Conteúdo relativo em água – conteúdo em água do tecido relativamente à hidratação total

41

As células vivas têm que manter uma pressão hidrostática **positiva** (i.e., túrgidas) para serem fisiologicamente ativas

**Ajustamento do potencial de água das células relativamente a alterações no meio exterior**

- **Ajustamento osmótico**

(aumento da concentração de solutos na célula  
=> afecta o  $\psi_s$ )

- **ajustamento de curto prazo**, em poucas horas

- Diminui o  $\Psi_s$

- **Modificação da elasticidade da parede celular**

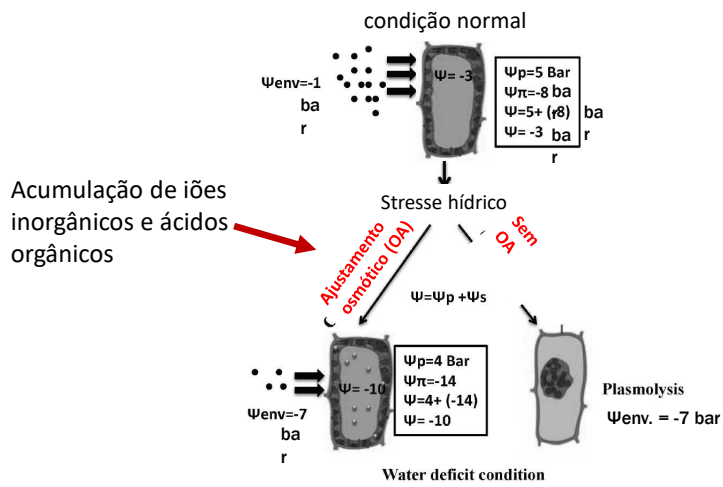
(afecta o  $\psi_p$ )

- ajustamento de longo prazo-

$\Psi_p$

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$$

## Ajustamento osmótico (AO)



- À medida que o solo seca, o potencial de água do solo ( $\psi_{env.}$ ) diminui, e as células vivas podem ajustar o seu potencial de água ao acumular compostos osmoticamente activos que reduzem o potencial osmótico, e assim, também o potencial de água (e aumenta o potencial de pressão ou hidrostático).<sup>43</sup>